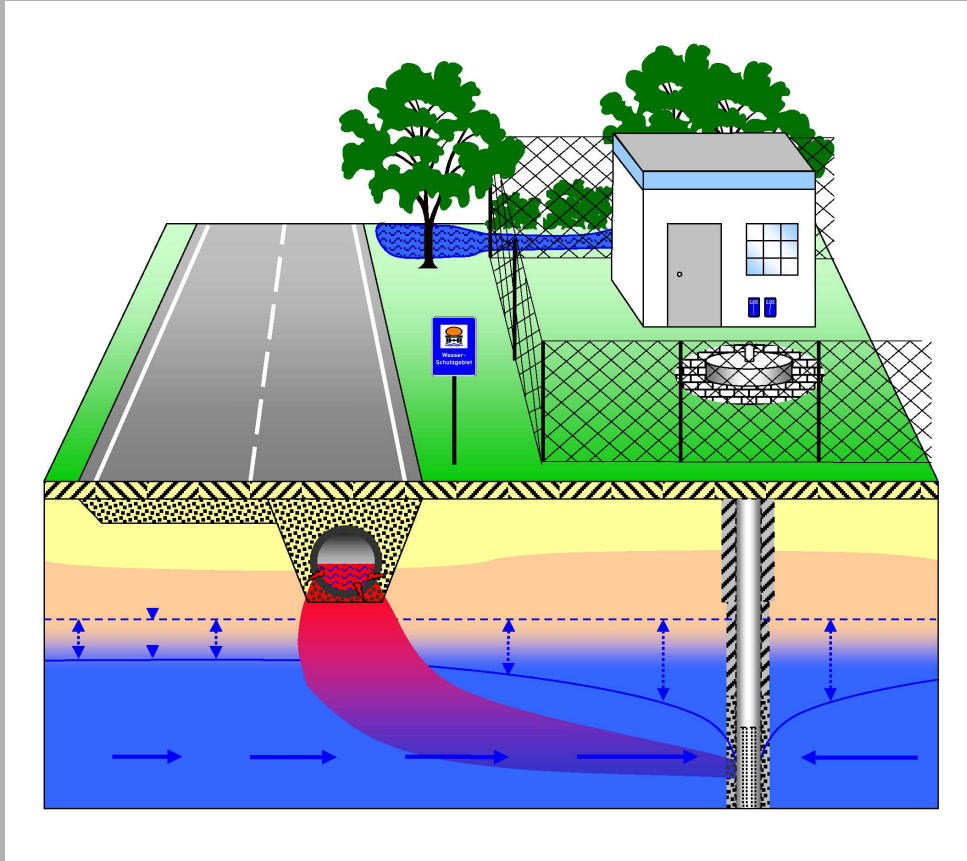




UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES



Patrik Wolf

**Entwicklung eines Expertensystems zur
Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials
von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten
als Entscheidungshilfe zur Absicherung und
Anpassung der Kanalbauplanung**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie
der Philosophischen Fakultäten der Universität des Saarlandes

Textband

Saarbrücken, 2009

Dekan der Philosophischen Fakultät III:

Prof. Dr. Jochen Kubiniok

Erstberichterstatter:

Prof. Dr. Jürgen Wagner

Zweitberichterstatter:

Prof. Dr. Jochen Kubiniok

Tag der Disputation:

02. November 2009

Vorwort

„Der Hauptunterschied zwischen etwas, was möglicherweise kaputt gehen könnte und etwas, was unmöglich kaputt gehen kann, besteht darin, dass sich bei allem, was unmöglich kaputt gehen kann, falls es doch kaputt geht, normalerweise herausstellt, dass es unmöglich zerlegt oder repariert werden kann.“

Douglas Adams

Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren immer stärker an Bedeutung gewinnenden Diskussion über die Erfordernisse und Möglichkeiten eines nachhaltigen Ressourcenschutzes stellt die langfristige Sicherung des Grundwassers als bevorzugtem Lieferant für Trinkwasser ein vornehmliches Ziel dar. Während die verfügbare Menge an Grundwasser in Deutschland und Europa nur in sogenannten Wassermangelgebieten ein Problem darstellt, zeigt sich die anthropogene stoffliche Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit und damit der Nutzbarkeit des Grundwassers weiträumig und vor allem in dichter besiedelten Gebieten und Räumen mit intensiver wirtschaftlicher Nutzung von Relevanz.

Stoffliche Einträge in das Grundwasser sind meist schleichend und in ihrer Bedeutung für Naturhaushalt und Wasserwirtschaft erst dann einzuordnen, wenn sie Wassergewinnungsanlagen oder Grundwasserüberwachungsstellen erreicht haben. Eine Sanierung von Grundwasserschäden ist, wenn überhaupt, meist nur mit großem technischen und finanziellen Aufwand möglich, weswegen dem vorsorgenden Grundwasserschutz besondere Priorität beizumessen ist. Qualitative Veränderungen des Grundwassers innerhalb von Wassergewinnungsgebieten bedingen oftmals eine aufwändige und damit kostenintensive Aufbereitung, damit das betroffene Grundwasser für Trinkwasserzwecke genutzt werden kann. Nicht selten sind anthropogen verursachte oder verstärkte Beschaffenheitsveränderungen Grund für die Aufgabe von Gewinnungsanlagen oder Gewinnungsgebieten.

Für die Möglichkeit, mit der vorliegenden Arbeit einen Beitrag zum präventiven Grundwasserschutz leisten zu können, möchte ich Herrn Prof. Dr. Jürgen Wagner danken, der mir das Thema

mit dem Wissen überließ, dass es meinem Interesse voll entsprechen würde, stets für konstruktive Diskussionen offen war und es mir ermöglichte, meine Promotion im Zuge meiner beruflichen Tätigkeit als wissenschaftlichem Mitarbeiter bei der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG im Rahmen eines zweiteiligen Forschungsprojektes anzugehen.

Diesbezüglich gilt mein Dank auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein von der Arbeitsgemeinschaft Leitungsbau und Leitungsinstandhaltung der Fakultät für Bauingenieurwesen der Ruhr-Universität Bochum, der als Projektpartner die beiden im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsprojekte mitleitete.

Besonderen Dank auch an Herrn Prof. Dr. Jochen Kubiniok vom Lehrstuhl für physische Geographie und Umweltforschung der Universität des Saarlandes, der ohne langes Zögern die Zweitbegutachtung der Arbeit übernahm, sowie an Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Krämer vom Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes und Herrn Dipl.-Ing. Thomas Kühne von der Gemeinde Wadgassen für die Informationen zum dargestellten Fallbeispiel.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie sowie den Freunden bedanken, die mich während der Erarbeitung der Dissertation unterstützt und ertragen haben, allen voran Ramona Caspers, Lisa Schäfer und Magnus Mauer. Ihnen gilt Dank für das akribische Aufspüren von Rechtschreibfehlern, das Entwirren von Sätzen und die zahlreichen Nachfragen.

Patrik Wolf

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	3
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Einleitung	10
1 Forschungsanlass, fachlicher Hintergrund und Ziel der Arbeit.....	13
1.1 Räumliche Überlagerungen zwischen Grundwassergewinnung und Siedlungs- entwässerung als raum- und umweltplanerischer Zielkonflikt	13
1.2 Rechtliche Zulässigkeiten und technisch-bauliche Anforderungen an eine Ab- wasserkanalisation in Wasserschutzgebieten	19
1.3 Zustand der Abwasserkanalisation in Deutschland und zukünftig erforderlich werdende Kanalsanierungen und -neubauten in Wassergewinnungsgebieten.....	28
1.4 Erfordernis einer differenzierten, fallspezifischen Betrachtung des Gefährdungs- potenzials geplanter Abwasserkanalbaumaßnahmen	34
1.5 Ziel und Schwerpunkt des der Arbeit zugrunde liegenden Forschungsansatzes und Anwendungsbereich des entwickelten Expertensystems	54
2 Theoretisch-struktureller Ansatz des entwickelten Expertensystems.....	58
2.1 Grundsätzliches zur Aufgabe, Bedeutung und Funktion von Expertensystemen als Hilfsinstrument zur Entscheidungsfindung	58
2.2 Anforderungen an ein Expertensystem zur Einschätzung des Grundwasserge- fährdungspotenzials von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten	64
2.3 Abwägung verschiedener Analyse- und Bewertungsmethoden im Hinblick auf deren Eignung als strukturelle Grundlage für ein Expertensystem zur vorliegen- den Thematik	66
2.4 Auswahl und Anpassung eines zielführenden Analyse- und Bewertungsansat- zes sowie dessen immanente Charakteristiken und anwendungsspezifische Möglichkeiten	79

3	Methodik zur Entwicklung des Expertensystems zur fallspezifischen Grundwassergefährdungseinschätzung	83
3.1	Übersicht über die Arbeitsbausteine zur Entwicklung des Expertensystems und den methodischen Ablauf	83
3.2	Arbeitsbaustein 1: Erarbeiten der fachlich-wissenschaftlichen Grundlagen und Definieren einfluss- und bewertungsrelevanter Kriterien zur Beurteilung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation.....	86
3.3	Arbeitsbaustein 2: Analysieren der ausgewählten Abwägungskriterien und deren Ausprägungen hinsichtlich im Expertensystem abzubildender entscheidungsrelevanter Wirkungsverknüpfungen.....	92
3.4	Arbeitsbaustein 3: Aufstellen eines systemspezifischen Analyse- und Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und Zuweisung von Handlungsempfehlungen.....	97
3.5	Arbeitsbaustein 4: Formulieren von Textbausteinen zur deskriptiven Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation sowie der resultierenden Ergebnisaussagen.....	101
3.6	Arbeitsbaustein 5: Verifizieren des Analyse- und Bewertungsalgorithmus und der Ergebnisfindung des Expertensystems anhand von Fallbeispielen	103
4	Fachlich-wissenschaftliche Grundlagen und Abwägungskriterien zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials eines geplanten Abwasserkanals	104
4.1	Definierte Kriteriengruppen und diesen zugeordnete einfluss- und bewertungsrelevante Abwägungskriterien	104
4.2	Wirkungseinfluss und Differenzierung der einfluss- und betrachtungsrelevanten Ausprägungskriterien.....	105
4.3	Resultierende Checklisten zur fallspezifischen Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation	208
4.4	Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der angestrebten Kanalbauplanung.....	215
5	Entscheidungsbedeutsames Wirkungsgefüge zwischen den einfluss- und bewertungsrelevanten Abwägungskriterien und deren Ausprägungen	218
5.1	Abzubildende Wirkungsverknüpfungen zwischen den ausgewählten Abwägungskriterien mit Bedeutung für die Zielaussage	218
5.2	Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen zwischen Kriteriumsausprägungen als Ausgangspunkt einer fallindividuellen Planungsbewertung	224

6	Analyse- und Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und Zuweisung von Handlungsempfehlungen	232
6.1	Zuordnen resultierender Handlungsempfehlungen zu bedingenden Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen	232
6.2	Kombination von Schlüsselausprägungen zur Abwägung von Risiken und Sensibilitäten und Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials	236
7	Textbausteine als deskriptive Elemente zur Darstellung der Ergebnisaussagen und der diesen zugrunde liegenden Ausgangs- und Planungssituation.....	250
7.1	Textbausteine zur Beschreibung der zu bewertenden fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation.....	250
7.2	Textbausteine zur Erläuterung des Grundwassergefährdungspotenzials und diesbezüglicher Risiken und Sensibilitäten	257
7.3	Textbausteine zur Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und gegebenenfalls Modifikation der Kanalbauplanung	260
8	Fallbeispiel zur Erläuterung der systematischen Anwendung und Entscheidungsfindung des Expertensystems GRABWAS	264
8.1	Räumliche und planerische Ausgangssituation im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritte Bauphase)	264
8.2	Anwendung und fallspezifische Entscheidungsfindung des Expertensystems im betrachteten Planungsbeispiel.....	274
8.3	Bewertung der vom Expertensystem gelieferten Ergebnisse im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten	289
	Abschlussbetrachtung und Fazit.....	292
	Literaturverzeichnis.....	295
	Lebenslauf des Verfassers.....	310
	Anlagenband.....	Bd. 2

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Titelbild Siedlungsentwässerung und Grundwassergewinnung (eigener Entwurf)	1
Abb. 1 Arten von Abwasserkanalsystemen (eigener Entwurf)	21
Abb. 2 Mineralische Kapselung (eigener Entwurf in Anlehnung an DWA 2004)	21
Abb. 3 Altersverteilung der Abwasserkanäle in Deutschland (eigener Entwurf in Anlehnung an BERGER 2004)	29
Abb. 4 Schadensverteilung an Abwasserkanälen in Deutschland (eigener Entwurf in Anlehnung an BERGER 2004)	30
Abb. 5 Verteilung der Sanierungsverfahren an Abwasserkanälen in Deutschland (eigener Entwurf in Anlehnung an BERGER 2004)	32
Abb. 6 Retardierungswirksame Deckschichten mit räumlich begrenzter Verbreitung (eigener Entwurf)	42
Abb. 7 Retardierungswirksame Deckschichten mit weiträumiger Verbreitung, jedoch starker fazieller Differenzierung (eigener Entwurf)	44
Abb. 8 Retardierungswirksame Deckschichten mit weiträumiger Verbreitung, jedoch bereichsweise natürlich oder anthropogen bedingtem Deckschichtenabtrag (eigener Entwurf)	46
Abb. 9 Verschiedene Kanalbettungstiefen im Hinblick auf etwaig aus der Schutzzonendimensionierung abzuleitende Sicherheitsreserven (eigener Entwurf)	51
Abb. 10 Aufbau und strukturelle Module eines Expertensystems (eigener Entwurf in Anlehnung an NIKOLOPOULOS 1997)	61
Abb. 11 Methodischer Ablauf der Entwicklung des Expertensystems (eigener Entwurf)	85
Abb. 12 Karte zum Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten mit Verlauf der Abwasserkanaltrasse (eigener Entwurf auf Grundlage der TK 25 Blatt 6706 Ludweiler-Warndt 2001)	265
Abb. 13 Karte zum Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten mit Lage der Brunnen und Verlauf der Wasserschutzzonen (ohne Schutzzonen I) (eigener Entwurf auf Grundlage der TK 25 Blatt 6706 Ludweiler-Warndt 2001 sowie Schutzgebietskatasterdaten des MfU Saarland 2007)	267
Abb. 14 Geologische Karte zum Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (eigener Entwurf auf Grundlage der TK 25 Blatt 6706 Ludweiler-Warndt 2001 und der GK 25 Blatt 6706 Ludweiler-Warndt 1983)	269
Abb. 15 Blick vom östlichen Ortsrand von Differten nach Südwesten auf den innerhalb der Wasserschutzzone III errichteten Hauptsammler (erster Bauabschnitt) (eigene Fotoaufnahme November 2008)	271
Abb. 16 Blick vom Ende der Mittelwiesenstraße nach Südwesten auf die breitflächig vernässte Gewässeraue und die zentrale Wasserschutzzone II (eigene Fotoaufnahme November 2008)	271
Abb. 17 Blick vom westlichen Rand der Ortsbebauung nach Norden in die Bistau (eigene Fotoaufnahme November 2008)	271

Abb. 18	Exemplarische Aufnahme einer der Start- bzw. Zielgruben für den grabenlosen Leitungsbau (eigene Fotoaufnahme November 2008)	272
Abb. 19	Blick in eine der Start- und Zielgruben (eigene Fotoaufnahme November 2008)...	272
Abb. 20	Baustelleneinrichtung im Umfeld einer Baugrube im Bereich des Festplatzes westlich der Denkmalstraße (eigene Fotoaufnahme November 2008)	272
Abb. 21	Aufnahme der im zweiten Bauabschnitt zum Einsatz gekommenen Rohrvortriebsmaschine (eigene Fotoaufnahme November 2008).....	273
Abb. 22	Blick in südliche Richtung auf die Baustelle in Höhe des Festplatzes und den Ortskern von Differten (eigene Fotoaufnahme November 2008)	273
Abb. 23	Nahaufnahme eines der zum Einsatz kommenden Zwei-Schicht-Stahlbetonrohres mit Korrosionsschutz (eigene Fotoaufnahme November 2008)	273
Abb. 24	Risiken und Sensibilitäten im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt) (eigener Entwurf)	290

Tabellenverzeichnis

	Seite	
Tab. 1	Dimensionierungsindizes zur Berechnung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung (eigener Entwurf in Anlehnung an BOLSENKÖTTER 1984, verändert).....	48
Tab. 2	Ratingskalen zur graduellen Abstufung bzw. Gewichtung von Handlungsempfehlungen (eigener Entwurf).....	98
Tab. 3	Gewählte dreistufige Ratingskala zur graduellen Abstufung der Dringlichkeit auszusprechender Handlungsempfehlungen (eigener Entwurf).....	98
Tab. 4	Mindestüberdeckungshöhen ausgewählter, steuerbarer Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus (eigener Entwurf in Anlehnung an STEIN 2003, verändert)	109
Tab. 5	Vor- und Nachteile der Misch- und Trennkanalisation in Wasserschutzgebieten (eigener Entwurf in Anlehnung an GRÜNING 2003, verändert)	120
Tab. 6	Checklisten zur fallspezifischen Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation (eigener Entwurf).....	209
Tab. 7	Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen zwischen Abwägungskriterien (Kriterienverknüpfungstabelle) (eigener Entwurf)	219
Tab. 8	Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen zwischen Kriteriumsausprägungen (Ausprägungsverknüpfungstabelle) (eigener Entwurf).....	226
Tab. 9	Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen zugeordnete Handlungsempfehlungen (Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen) (eigener Entwurf)	233
Tab. 10	Zuordnungsmatrix zur gesamtheitlichen Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials (eigener Entwurf).....	238
Tab. 11	Kombination von Schlüsselausprägungen zur Einschätzung des Grundwasserfährdungspotenzials (Zuordnungstabelle Gefährdungseinschätzung) (eigener Entwurf).....	239

Tab. 12	Textbausteine zur Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation (Textbausteine Situationsbeschreibung) (eigener Entwurf)	250
Tab. 13	Textbausteine zur Erläuterung des Grundwassergefährdungspotenzials und diesbezüglicher Risiken und Sensibilitäten (Textbausteine Gefährdungseinschätzung) (eigener Entwurf).....	258
Tab. 14	Textbausteine zur Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und gegebenenfalls Modifikation der Kanalbauplanung (Textbausteine Handlungsempfehlungen) (eigener Entwurf)	261
Tab. 15	Ausgangs- und Planungssituation im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (eigener Entwurf).....	275
Tab. 16	Übersicht über die zutreffenden Kriteriumsausprägungen im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (eigener Entwurf)	281
Tab. 17	Schrittweise Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (eigener Entwurf)	281
Tab. 18	Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (eigener Entwurf)	286
Tab. 19	Abschließendes Kurzgutachten für das Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten mit Zusammenstellung der Ergebnisaussagen des Expertensystems (eigener Entwurf).	287

Abkürzungsverzeichnis

Br.	Brunnen
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWA (ATV-DVWK) ¹	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Kap.	Kapitel
WSG	Wasserschutzgebiet
WSZ	Wasserschutzzone

¹ Seit Mitte 2004 firmiert die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. unter dem Kürzel „DWA“, das die vorangegangene Kurzbezeichnung „ATV-DVWK“ ablöst, was sich entsprechend auf die Benennung technischer Regeln und Arbeitsgruppen der jüngeren Vergangenheit auswirkt. In der vorliegenden Arbeit wird zur Vereinheitlichung auch bei technischen Regeln, welche vor dem Stichtag der Änderung erschienen sind, die neue Kurzbezeichnung verwendet.

Einleitung

Vor allem innerhalb von Verdichtungsräumen, jedoch auch in ländlich strukturierten Gebieten, kommt es aufgrund eines zumeist historisch bedingten Nebeneinanders zur konkurrierenden Überlagerung von Raumnutzungen. Landwirtschaft, produzierendes Gewerbe, Industrie und Rohstoffgewinnung wie auch Wohnnutzung und mit Siedlungstätigkeiten einhergehende Verkehrs-, Ver- und Entsorgungsinfrastruktur sowie Begleitnutzungen wie u.a. Freizeitanlagen und Friedhöfe stehen dabei dem Schutz des Grundwasser und der Gewinnung von Wasser zur öffentlichen Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser gegenüber.

Zwar wird der nachhaltigen Entwicklung natürlicher Ressourcen und damit auch dem Schutz und des Grundwassers in den umweltrelevanten Gesetzen auf europäischer und nationaler Ebene wie u.a. der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und deren Tochterrichtlinie Grundwasser, dem Wasserhaushaltsgesetz, dem Bundesnaturschutzgesetz und den darauf aufbauenden Gesetzen der Bundesländer als vordringlichem Ziel besondere Bedeutung beigemessen, allerdings ist durch räumliche, technische und rechtliche Zwangspunkte ein Verhindern von Raumnutzungskonflikten nicht immer möglich.

So zeigt sich, dass in Gebieten, die für die Gewinnung von Grundwasser zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden, auf Abwasserleitungen und -kanäle nicht immer verzichtet werden kann. Ist ein räumliches Nebeneinander von Siedlungsentwässerung und Trinkwassergewinnung nicht zu vermeiden, muss die Abwasserkanalisation so angelegt und betrieben werden, dass einer Verunreinigung oder sonstigen nachteiligen Veränderungen des Grundwassers wirksam vorgebeugt wird und Präventivmaßnahmen getroffen werden, welche einen adäquaten Grundwasserschutz sicherstellen. Dies gilt sowohl für Einzugsgebiete von Wassergewinnungen, die per Verordnung rechtskräftig als Wasserschutzgebiete ausgewiesen sind, als auch für solche, die (noch) keinen festgesetzten Schutzstatus besitzen.

Grundwasser ist als allgemeines Schutzgut zwar auch außerhalb von Wassergewinnungsgebieten durch eine adäquat ausgeführte und instand gehaltene Abwasserkanalisation vor stofflichen Beeinflussungen zu schützen, jedoch kommt dieser Aufgabe innerhalb entsprechender Räume eine besondere Bedeutung zu. Bei der Planung einer neuen Abwasserkanalisation in trinkwasserwirtschaftlich genutzten Gebieten stellt sich daher die Frage, in welcher Art und Weise Abwasserkanäle baulich auszuführen sind und welche Vorsorge- und Sicherungsmaßnahmen im Hinblick auf den Bau und späteren Betrieb zu berücksichtigen sind, um einerseits das Grundwasser effektiv zu schützen und andererseits eine ökonomische Realisierung der Kanalbaumaßnahme zu ermöglichen und Baukosten zu reduzieren.

In der Vergangenheit wurde häufig die Verwendung kostenträchtiger doppelwandiger Rohrsysteme als einzig vertretbar und sinnvoll erachtet, um den Anforderungen des Grundwasserschutzes in Wassergewinnungsgebieten ausreichend gerecht zu werden. In Abhängigkeit von der räumlichen, insbesondere der geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation im von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wassergewinnungsgebiet sowie der baulichen Realisierung des Abwasserkanals und der Umsetzung der Baumaßnahme erscheint in verschiedenen Fällen eine teure Maximallösung jedoch nicht zwingend erforderlich. Auch weniger kostenintensive Alternativen können von Fall zu Fall ausreichen, ohne dass aus ihnen ein erkennbar höheres Gefährdungspotenzial für das Grundwasser resultiert.

Wann bei einem geplanten Abwasserkanal welche Bauausführung zu empfehlen ist, muss objektiv ermittelt werden. Hierzu erscheint ein Expertensystem prädestiniert, das den Planungsbeteiligten Entscheidungshilfen bei der Beurteilung der potenziellen Grundwassergefährdung gibt und der Absicherung, Überprüfung und Modifikation der Kanalbauplanung dient. Ein solches Expertensystem hat Informationen zur

vorgesehenen Bauausführung und zu gebiets- und untergrundspezifischen Gegebenheiten im betroffenen Gewinnungsgebiet zu erheben, mit Hilfe derer eine repräsentative Wiedergabe der Ausgangssituation im Planungsraum möglich ist. Diese dient als Grundlage für die sachliche Beurteilung der beabsichtigten Kanalbaumaßnahme sowie der komplexen räumlichen Situation im Hinblick auf die Erfordernisse des Grundwasserschutzes.

Durch eine Abwägung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation werden Aussagen zu Risiken und Sensibilitäten und damit zur potenziellen Grundwassergefährdung möglich und Handlungsempfehlungen ableitbar, welche eine an die räumlichen Erfordernisse angepasste Objektplanung unterstützen. So können der technische Aufwand und der Einsatz finanzieller Mittel zur Realisierung des Kanalbauvorhabens gegebenenfalls reduziert werden, ohne dass sich dies nachteilig auf den Schutz des Grundwassers und die Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung auswirkt.

Zur Entwicklung eines entsprechenden Expertensystems ist die Schaffung umfangreicher theoretischer Grundlagen erforderlich, die dem wissenschaftlichen aktuellen Kenntnis- und Meinungsstand entsprechend, Fachliteratur berücksichtigen und nachvollziehbare Begründungen für systemimmanente Entscheidungen und Argumentationen liefern. Sie sind Voraussetzung für das Definieren geeigneter Abwägungskriterien, aus deren Erhebung die fallspezifischen Gegebenheiten bezüglich Planungsraum und Kanalbaumaßnahme hervorgehen, die den Ausgangspunkt für ein Entscheidungshilfesystem darstellen.

Um dem relevanten fachinhaltlichen Zusammenhängen gerecht zu werden, ist die Entwicklung eines angepassten Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser bei der Errichtung von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten notwendig, aus dem konkrete Entscheidungshilfen für die Planung der Kanalbaumaßnahme hervorgehen können. Hierzu sind als bedeutsam eingestufte Beurteilungskriterien fachlich im Sinne eines Wirkungskomplexes miteinander zu

verknüpfen und entscheidungsbedeutsame Interaktionen abzubilden, aus denen sich fallspezifische Risiken und Sensibilitäten ableiten lassen, die zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von Bedeutung sind, und aus denen Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Kanalbauplanung resultieren können.

Mit der vorliegenden Dissertationsschrift wird die Entwicklung eines programmierfertigen Expertensystems zur Entscheidungshilfe vorgenommen, erläutert und dokumentiert, welches basierend auf der Erhebung einzelfallspezifischer Gegebenheiten bezüglich geplantem Abwasserkanal und von der Maßnahme betroffenem Wassergewinnungsgebiet, eine objektive Bewertung der potenziellen Grundwassergefährdung und Aussagen zu dem zu empfehlenden Ableitungssystem ermöglicht. Damit soll ein Beitrag zu der in der Fachwelt geforderten fallspezifisch differenzierten Betrachtung der potenziellen Grundwassergefährdung und der dadurch bedingten baulichen Ausführung von Abwasserkanälen bei deren Neuerrichtung in Wasserschutzgebieten geleistet werden.

Anders als in vielen Dissertationen gebräuchlich erfolgt die Behandlung und Diskussion des Standes der Wissenschaft und die Bearbeitung der Literatur in der vorliegenden Arbeit nicht separat zu Beginn und damit separiert von den nachfolgenden Kapiteln, sondern ist in diese integriert². Dieses Vorgehen erwies sich als notwendig und zielführend, da die Entwicklung und der Aufbau des Expertensystems und dabei insbesondere die Auswahl und Begründung der diesem zugrunde liegenden Bewertungsaspekte unmittelbar aus dem fachlich-wissenschaftlichen Meinungsbild hervorgehen bzw. durch dieses begründet werden. Eine getrennte Behandlung wäre methodisch nicht sinnvoll umsetzbar gewesen und hätte der Transparenz der Systementwicklung entgegengewirkt.

Die vorliegende Arbeit wurde vom Verfasser im Rahmen eines zweiteiligen Forschungs- und Entwicklungsprojektes angegangen, das vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirt-

² vgl. vor allem, jedoch nicht nur Kap. 1., 2 und 4

schaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen finanziert wurde. Die Leitung der Projekte lag auf Seiten der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG, Neunkirchen, bei Prof. Dr. J. Wagner und dem Verfasser, auf Seiten der Arbeitsgruppe Leitungsbau und Leitungsinstandhaltung (AGLL) der Fakultät für Bauingenieurwesen der Ruhr-Universität Bochum bei Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein.

Der erste Teil des F+E-Projektes „Entwicklung eines computerbasierten Expertensystems zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser und der Auswahl der fachlich geeigneten Vorgehensweise bei der Verlegung

von Abwasserleitungen und -kanälen in Wasserschutzgebieten“ (Förderkennzeichen IV-9-042 387) wurde zwischen Mai und November 2003 ausgearbeitet, der aufbauende zweite Teil „Weiterentwicklung eines Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser bei Bau und Betrieb von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten sowie als Entscheidungshilfe für die Auswahl des Ableitungssystems“ (Förderkennzeichen IV-9-042 387 0010) zwischen April 2005 und Dezember 2006. Die Ergebnisse beider Projekte stellen integrale Bestandteile der vorliegenden Arbeit dar, welche die dortigen Betrachtungen erweitert, intensiviert und abschließt.

1 **Forschungsanlass, fachlicher Hintergrund und Ziel der Arbeit**

1.1 **Räumliche Überlagerungen zwischen Grundwassergewinnung und Siedlungsentwässerung als raum- und umweltplanerischer Zielkonflikt**

Stellenwert des Grundwassers

Grundwasser als „unterirdisches Wasser, das Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird“ (DIN 4049-3, 1994), stellt weltweit die wichtigste Naturressource dar. Global besitzt es den höchsten Stellenwert aller für die Gewinnung von Trinkwasser herangezogenen Wasservorkommen, was auf seine im Vergleich zu Oberflächenwässern oft günstigere Beschaffenheit, das im Regelfall natürliche Fehlen gesundheitsgefährdender Inhaltsstoffe und die Abschirmung vor unmittelbaren Verunreinigungen durch überlagernde Gesteins- und Bodenschichten zurückzuführen ist. Es verdient „für die Trinkwassernutzung den Vorzug gegenüber jedem anderen Wasser“ (DVGW 1995).

Das im globalen hydrosphärischen Kreislauf befindliche Wasserdargebot der Erde wird auf rd. 1,4 Mrd. km³ geschätzt, von denen allerdings mit 97,5 % der deutlich größte Teil salziges Meer- oder Brackwasser und nur 2,5 % Süßwasser darstellen. Von diesem sind wiederum etwa 68,7 % in Eis und Schnee und rd. 1,2 % in Seen (0,26 %), Flüssen (0,006 %), Feuchtgebieten (0,03 %) und dem Permafrost (0,86 %) gebunden. Der Anteil des Grundwassers am weltweiten Süßwasserdargebot beträgt somit rd. 30,1 %, der am globalen Gesamtwasserdargebot nur rd. 0,75 % (HÖLTING 2005).

In Deutschland steht nach unterschiedlichen Angaben jährlich ein nutzbares Wasserdargebot an Grund- und Oberflächenwasser zwischen 182 und 188 Mrd. m³ zur Verfügung (BMU 2004, KARGER 2005). Durch regional variierende hydrogeologische, hydrologische und hydrochemische Verhältnisse kommt es zu Unterschieden in der räumlichen Verteilung und Beschaffenheit des Grundwassers. Etwa 49 % der bundesdeut-

schen Landesfläche weisen Porengrundwasserleiter auf, etwa 12 % werden von Klufftgrundwasserleitern und etwa 6 % von Karstgrundwasserleitern eingenommen. Etwa ein Drittel Deutschlands verfügt nur über geringe, zumeist nur lokal ausgebildete Grundwasservorkommen (BGR 2007). Abgesehen von räumlichen Ausnahmen in Wassermangelgebieten bestehen hinsichtlich der verfügbaren Grundwassermengen in der Bundesrepublik keine Probleme (UBA 2006a).

Die Norddeutsche Tiefebene stellt das größte zusammenhängende Gebiet mit bedeutenden Grundwasserressourcen dar. Besonders innerhalb der Urstromtäler und den tieferen glazialen Rinnen bilden abgelagerte Lockersedimente ergiebige Grundwasservorkommen. Die quartären und tertiären Sande und Kiese des Alpenvorlandes und des Oberrheingrabens sind ebenfalls als ausgezeichnete Porengrundwasserleiter einzustufen. In der Niederrheinischen Tiefebene bilden mitunter mächtige, sich in Stockwerken überlagernde Lockersedimente einige der am stärksten genutzten Vorkommen Deutschlands.

Innerhalb der Mittelgebirge finden sich regional bedeutende Karstgrundwasservorkommen in den Formationen des Schwäbischen und Fränkischen Juras sowie Thüringens, im Muschelkalk zwischen Schwarzwald und Main sowie in der Kreide Ostwestfalens. Wichtige klufftdominierte Grundwasserleiter bilden die mächtigen Sandsteine des Pfälzerwaldes, des Schwarzwaldes, des Spessarts und des Sollings sowie der Basalt des Vogelsberges.

Andere Mittelgebirge wie das Rheinische Schiefergebirge, der Harz, der Thüringer und der Bayerische Wald, das Erzgebirge und der Hochschwarzwald bauen sich größtenteils aus nur gering wasserführenden Tonschiefern, kristallinen Schiefen und Tiefengesteinen auf. Lokal

können hier sandig-kiesige Talfüllungen und Schuttfächer am Gebirgsrand relevante Wasservorkommen aufweisen. Im Rheinischen Schiefergebirge kommt es bereichsweise zu eingelagerten Vorkommen an verkarsteten Kalk- und Dolomitgesteinen, welche reich an Karstgrundwasser sein können (BGR 2007).

Vom verfügbaren Wasserdargebot werden in Deutschland derzeit rd. 38 Mrd. m³ genutzt. Dabei stellen Wärmekraftwerke, die Wasser zu Kühlzwecken fast ausschließlich aus Oberflächengewässern entnehmen, mit jährlich rd. 24,8 Mrd. m³ den größten Abnehmer dar, gefolgt von Bergbau, Industrie und Großgewerbe, welche pro Jahr rd. 7,8 Mrd. m³ benötigen. Die verbleibenden rd. 5,4 Mrd. m³ jährlich werden von der öffentlichen Wasserversorgung, die vor allem Haushalte und Kleingewerbe mit Trinkwasser beliefert, genutzt. Der Anteil der öffentlichen Wasserversorgung am gesamten Wasserdargebot der Bundesrepublik beträgt demnach rd. 3 % (BMU 2004, KARGER 2005).

Mit knapp 3,5 Mrd. m³ entfallen etwa 64 % der Wasserförderung öffentlicher Unternehmen in Deutschland auf echtes Grundwasser. Zusammen mit der Menge an Quellwasser von rd. 0,5 Mrd. m³ pro Jahr wird ein Wert von knapp 4,0 Mrd. m³ erreicht, was über 73 % der Trinkwasserförderung zur öffentlichen Versorgung entspricht. Bundesländer wie u.a. das Saarland beziehen ihr Trinkwasser ausschließlich aus Grundwasser³, während der Förderanteil des Grundwassers z.B. in Nordrhein-Westfalen infolge der dort zahlreichen Trinkwassertalsperren bei unter 44 % liegt. Absolut gesehen wird das meiste Grundwasser³ mit jährlich 454 Mio. m³ dennoch in Nordrhein-Westfalen gefördert, gefolgt von Bayern mit 427 Mio. m³ und Niedersachsen mit 415 Mio. m³ (BGW 2003a).

In Ländern wie z.B. Dänemark, Litauen und Österreich greift die öffentliche Wasserversorgung ausschließlich auf Grundwasser zurück (BGR 2007). Global wird von einem Anteil des Grundwassers an der Gesamtwasserförderung von rd. 55 % (LECHER 2001) ausgegangen, wobei in vielen Fällen nicht die vorhandene bzw.

förderbare Grundwassermenge, sondern die Wasserqualität limitierenden Einfluss besitzt und die Nutzbarkeit des Grundwassers einschränkt.

Grundwasser muss nach den Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) einen guten chemischen und einen guten mengenmäßigen Zustand sowie eine Wasserqualität erreichen, von der keine signifikanten Auswirkungen und Risiken für den menschlichen Gebrauch und die Umwelt ausgehen. Derzeit ist abschätzbar, dass in Deutschland trotz bedeutender Wasserentnahmen der mengenmäßige Zustand des Grundwassers nur bei etwa 5 % der Grundwasserkörper beeinträchtigt ist. Dagegen ist es, wie aus dem systematischen Monitoring der Bundesländer hervorgeht, nach heutigem Stand für etwa 52 % der Grundwasserkörper in Deutschland unsicher oder unwahrscheinlich, dass diese ohne weitere Maßnahmen bis Ende 2015 den geforderten guten chemischen Zustand erreichen werden (BGR 2007).

Um den Forderungen der Wasserrahmenrichtlinie gerecht zu werden, sind von den Mitgliedsstaaten Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne zu entwickeln, welche den guten Zustand des Grundwassers herbeiführen sollen. Wo dieser bereits gegeben ist, ist sein Erhalt zu sichern. Qualitative Verschlechterungen in einem Grundwasserkörper sind nachhaltig zu vermeiden. Für stark veränderte Grundwasserkörper und geogen erhöhte Stoffkonzentrationen im Grundwasser, welche nicht auf menschliche Einflussnahmen zurückzuführen sind, gelten gesonderte Anforderungen.

Genauere verfahrens- und maßnahmenspezifische Vorgaben und konkrete Ziele im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung formuliert die von Seiten der Europäischen Union erarbeitete „Tochtrichtlinie Grundwasser“ zur Wasserrahmenrichtlinie (GWRL 2007). Die darin bislang nicht berücksichtigte Forderung nach einem ebenfalls guten ökologischen Zustand des Grundwassers mit Betonung des Lebensraums Grundwasser und deren Integration in die deutsche und europäische Umweltgesetzgebung wird derzeit diskutiert (DWA 2007b).

³ Grundwasser (ohne Uferfiltrat) und Quellwasser

Grundwassergefährdungspotenziale

Vor dem Hintergrund der Diskussion über den nachhaltigen Umgang mit Naturressourcen, allen voran dem Wasser als Grundvoraussetzung für Leben und Wirtschaft, besitzt die langfristige Sicherung von Grundwasser in ausreichender Menge, vor allem aber guter Beschaffenheit eine vordringliche Bedeutung. Das Wohl der Allgemeinheit verlangt, Grundwasser vor Verunreinigungen und nachhaltig negativen Beeinträchtigungen zu bewahren und es im Interesse der Gesundheit der Bevölkerung sowie als integraler Bestandteil des Naturhaushaltes flächendeckend zu schützen.

Dem hohen Stellenwert des Grundwassers steht eine Qualitätsminderung durch direkte und indirekte stoffliche Einträge über Luft, Boden und Wasser gegenüber. Durch Zielkonflikte zwischen Raumnutzung, Ressourcensicherung und -nutzung ist vor allem in verdichteten Siedlungsgebieten ein optimierter und zukunftsorientierter Grundwasserschutz erforderlich. Von der Tochterrichtlinie Grundwasser zur EU-Wasserrahmenrichtlinie wird Grundwasser als das empfindlichste Süßwasservorkommen innerhalb der Europäischen Union eingestuft (GWRL 2007).

Nicht immer ist ein Nebeneinander von Grundwasserschutz und anderen Nutzungsinteressen problemlos und möglich, da physikalische, chemische, biologische und mikrobiologische Beeinträchtigungen das Grundwasser qualitativ verändern können und Grundwasserentnahmen zu einer quantitativen Beeinflussung führen. Dies gilt im Besonderen für Bereiche, die zur Trinkwassergewinnung herangezogen werden.

In einigen Regionen Deutschlands, darunter u.a. in Teilen Nordrhein-Westfalens oder im Saarland, existieren mitunter historisch bedingt scharfe raumnutzungsspezifische Konkurrenzen zum Grundwasserschutz, welche raum- und umweltplanerisch besondere Anforderungen stellen. Als besondere Gefahrenpotenziale für das Grundwasser und damit auch für die Trinkwassergewinnung sind u.a. folgende Raumnutzungen anzuführen, welche als punktuelle, lineare oder diffuse Eintragsherde in Erscheinung treten können (DVGW 2006):

- Industrie und Gewerbe,
- Siedlung und Verkehr,
- Landwirtschaft, Forstwirtschaft und gärtnerische Nutzung,
- Ablagerungen, Aufschüttungen, Abgrabungen,
- Abfallentsorgung und -verwertung,
- Abwasserableitung, -beseitigung und -behandlung.

Das DVGW-Arbeitsblatt W 101 „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ (2006) stellt diesbezüglich einen detaillierten Katalog potenzieller Gefährdungen für das Grundwasser zusammen.

Neben direkten stofflichen Einflüssen durch die angeführten und weitere Nutzungen können auch Grundwasserentnahmen und damit einhergehende veränderte Reaktionsverhältnisse im Grundwasserleiter Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Grundwassers haben. So kommt es z.B. innerhalb der Niederrheinischen Tiefebene nördlich von Euskirchen durch die weitreichenden Sumpfungsmaßnahmen des Braunkohlentagebaus und dem damit verbundenen flächigen Absinken des Grundwasserspiegels zu aeroben Umwandlungsprozessen, die einen markanten Anstieg der Sulfatkonzentration in einzelnen Grundwasserstockwerken der südlichen Erftscholle bedingen (WOLF 2004).

Betrachtungen zeitlicher Trends der hydrochemischen Entwicklung des Grundwassers geben Anlass zu der Annahme, dass in verschiedenen intensiv genutzten Verdichtungsräumen in mehr oder minder ferner Zukunft enorme finanzielle Anstrengungen zur Aufrechterhaltung bzw. Wiedererlangung einer guten Wasserqualität bzw. für eine angepasste Trinkwasseraufbereitung unternommen werden müssen, sofern den sich andeutenden Entwicklungen nicht durch geeignete Maßnahmen entgegengewirkt wird. Die früher vielfach vertretene Meinung, Grundwasser sei durch seine unterirdische Lage und seine natürliche Überdeckung grundsätzlich und ausreichend geschützt und könne daher direkt und weitgehend uneingeschränkt für die Trinkwas-

erversorgung verwendet werden, kann derart verallgemeinert nicht aufrechterhalten werden (STEIN 1998). Schutz- und Reinigungswirkung grundwasserüberlagernder Deckschichten können je nach deren Aufbau stark differieren und wurden in der Vergangenheit vor allem in Bezug auf das Verhalten wassergefährdender Stoffe mitunter überschätzt (DVGW 1995; DVGW 2006).

Je dichter die Besiedlung und je intensiver vorzufindende Raumnutzungen, desto eher ist von potenziellen und akuten Grundwassergefährdungen auszugehen. In Anbetracht der zahlreichen Stoffimmissionen in das Grundwasser, u.a. durch Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen, Altablagerungen oder den Einsatz von Dünge-, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln in der Landwirtschaft, sowie der verschiedentlich hohen Sensibilität des Grundwassers gegenüber Einträgen wie z.B. in Karstgebieten können die Qualität und damit die Nutzbarkeit des Grundwassers örtlich entscheidend eingeschränkt sein. Stoffliche Einträge in das Grundwasser erfolgen dabei oft schleichend und werden in vielen Fällen erst dann erkannt oder im Ausmaß deutlich, wenn sie sich bereits ausgebreitet haben und Beschaffenheitsveränderungen an Grundwasserbeobachtungsstellen oder Wassergewinnungsanlagen nachweisbar sind. Grundwasserschäden sind dann abhängig von der eingetragenen Stoffart und Stoffmenge oft Langzeitschäden.

Räumliche Überlagerungen zwischen Wassergewinnung und Siedlungsentwässerung stellen somit einen besonderen raum- und umweltplanerischen Zielkonflikt im Hinblick auf einen nachhaltigen Grundwasserschutz und die Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung dar. Eine Durchleitung von Abwasser durch ein Wassergewinnungsgebiet ist grundsätzlich als potenzielle Gefährdung für das Grundwasser anzusehen. Im Hinblick auf die real ausgehende Gefährdung ist nach Angaben von EISWIRTH (2002) eine allgemeine „Beurteilung der von undichten Abwasserkanälen ausgehenden Gefahren [...] schwierig. In der Regel sind Aussagen über die von defekten Kanälen ausgehende tatsächliche Gefährdung für die Schutzgüter Boden und Grundwasser [...] nicht möglich.“

Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) lassen allerdings vermuten, dass von defekten Abwasserkanälen und -leitungen mitunter beträchtliche Gefährdungen für das Grundwasser ausgehen (vgl. Kap. 1.3). Das österreichische Umweltbundesamt führt an, dass undichte Abwassersammelsysteme europaweit mit als Ursache für bereichsweise festzustellende und für die Wassergewinnung relevante Belastungen des Grundwassers mit Nitrat, Chlorid aber auch organischen Substanzen und Bakterien zu sehen sind (ÖUBA 2004).

Grundwassersicherung und Vorsorgeschutz

Für einen adäquaten und langfristigen Schutz des Grundwassers ist das Vermeiden, zumindest jedoch das Verringern anthropogener Belastungen zur Wahrung der natürlichen Beschaffenheit und der Nutzbarkeit des Wassers von großer Bedeutung. In Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungen sind zur Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung über die allgemeinen Schutz- und Entwicklungsforderungen der raumordnungs- und naturschutzrelevanten Gesetzgebung hinsichtlich eines flächendeckenden Grundwasserschutzes hinaus zusätzliche Vorkehrungen zu treffen, welche die Unversehrtheit des Grundwassers nachhaltig gewährleisten sollen.

Hierzu werden gemäß § 19 WHG und den Landeswassergesetzen der Bundesländer Raumteile als Wasserschutzgebiete für Grundwasser festgesetzt, in denen die Ressourcensicherung des Grundwassers Priorität vor anderen Raumnutzungen besitzt. DIN 4046 (1983) definiert ein „Wasserschutzgebiet“ dabei als „Einzugsgebiet oder Teil eines Einzugsgebietes einer Wassergewinnungsanlage, das zum Schutz des Wassers Nutzungseinschränkungen unterliegt“. Es stellt einen durch Rechtsverordnung festgelegten Raumbereich dar, innerhalb dessen bestimmte Eingriffe, Handlungen, Nutzungen und Einrichtungen verboten oder nur eingeschränkt zulässig sind, wenn von ihnen nachteilige Auswirkungen auf das Wasser ausgehen können. Die Festsetzungen einer Schutzgebietsverord-

nung in Bezug auf Ge- und Verbote sind an die lokale Situation im betreffenden Wasserschutzgebiet angepasst.

Die Ausweisung eines Wasserschutzgebietes mit der Zuweisung und Abgrenzung von Wasserschutzzonen ist als formaler Akt zu sehen. Durch eine Einstufung als Wasserschutzgebiet und die damit implizierte Grundwasserüberwachung soll in einem zur Trinkwassergewinnung herangezogenen Raum dem Eintrag von Stoffen und Organismen in den Untergrund, welche zu einer Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit führen können, vorgebeugt und die Entstehung neuer Risiken für das Grundwasser verhindert werden (DVGW 2006).

Nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU 2006a) waren im Jahr 2004 bundesweit 13.428 Wasserschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von rd. 43.100 km² rechtlich festgesetzt. Dies entspricht einem Flächenanteil von rd. 12 % Deutschlands. Infolge der ungleichen Verteilung der Grundwasservorkommen schwanken die Anteile der als Wasserschutzgebiet ausgewiesenen Flächen in den einzelnen Bundesländern. In Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen als Beispiel sind rd. 11,5 % der Landesfläche als Wasserschutzgebiete deklariert, was etwa dem bundesdeutschen Durchschnitt entspricht (LUA NRW 2004, MUFV RLP 2007). Im Saarland liegt der Flächenanteil mit rd. 17,0 % merklich höher (LUA SL 2006). Durch zukünftig geplante Neuausweisungen werden im gesamten Bundesgebiet die diesbezüglichen Flächenanteile weiter anwachsen.

Ein Wasserschutzgebiet umfasst in der Regel das Einzugsgebiet einer oder mehrerer Wassergewinnungsanlagen. Den Gefährdungsrisiken für das Grundwasser muss dabei durch eine räumliche Gliederung in Schutzzonen mit angemessenen Nutzungsrestriktionen begegnet werden. Üblicherweise erfolgt eine Gebietsaufteilung in die drei Bereiche:

- Wasserschutzzone I,
- Wasserschutzzone II und
- Wasserschutzzone III,

mit denen den zum Ort der Grundwasserentnahme hin wachsenden Anforderungen an den Grundwasserschutz im Einzugsgebiet einer Wassergewinnung Rechnung getragen wird.

Für die einzelnen Schutzzonen formuliert das DVGW-Arbeitsblatt W 101 „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ (2006), das als Grundlage und Handlungsrahmen für die Ausweisung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser dient, als technische Regel Vorgaben und Hinweise zur Gliederung, Bemessung und Festsetzung der Schutzzongrenzen sowie zu Gefährdungen für das Grundwasser einschließlich Handlungen, Einrichtungen und Vorgängen mit Prüfungs- und Regelbedarf im Hinblick auf deren etwaige Zulässigkeit innerhalb eines Wasserschutzgebietes sowie Hinweisen zu Schutz- und Überwachungsmaßnahmen.

Die Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes beruht auf den Ergebnissen einer gebietsspezifischen gutachtlichen Betrachtung und Abwägung der örtlichen physisch-geographischen, hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Situation. Zur Bemessung der Wasserschutzzonen sind neben dem in der Vergangenheit mehrfach fortgeschriebenen und erweiterten DVGW-Arbeitsblatt W 101 im Laufe der Zeit verschiedene Fachbeiträge veröffentlicht worden, welche das technische Regelwerk ergänzen und zusätzliche Empfehlungen und Hinweise zur Umsetzung dessen Forderungen geben, von denen besonders die von BOLSENKÖTTER (1984) und ECKL (1995, 1999) sowie u.a. die von NÖRING (1973) und HAGELSKAMP (1972) zu nennen sind.

Bei der Dimensionierung der Wasserschutzzonen sind die morphologischen, geologischen und hydrogeologischen sowie die hydrologischen und hydraulischen Verhältnisse im Betrachtungsraum zu berücksichtigen und in einer hydrogeologischen Modellbetrachtung des Untersuchungsgebietes zusammenzuführen. Diese schließt explizit auch die Berücksichtigung der grundwasserüberlagernden Deckschichten mit ein (vgl. Kap. 1.4). Ebenso sind die wasserrechtlich genehmigte Grundwasserentnahme der von der Schutzgebietsausweisung betroffenen Gewinnungsanlagen sowie etwaige Grundwasser-

nutzungen durch Dritte zu beachten. Trotz unterschiedlicher hydrogeologischer Ausgangssituationen sollte nach Forderung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 bei der Bemessung von Schutzzonen für Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter möglichst nach „einheitlichen Kriterien“ vorgegangen werden (DVGW 2006).

Die **Wasserschutzzone III** hat als Weitere Schutzzone „den Schutz vor weitreichenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen und vor radioaktiven Verunreinigungen [zu] gewährleisten“ Die Ausdehnung der Wasserschutzzone III legt die Außengrenze des Wasserschutzgebietes fest und „reicht in der Regel bis zur Grenze des unterirdischen Einzugsgebietes der Wassergewinnungsanlage [...]. Oberirdisch dort hinein entwässernde Flächen können zusätzlich einbezogen werden“ (DVGW 2006). In bestimmten, vom DVGW-Arbeitsblatt W 101 definierten Fällen, kann die Weitere Schutzzone in eine Schutzzone III A und eine Schutzzone III B unterteilt und Nutzungseinschränkungen entsprechend abgestuft werden.

Wo sich infolge komplexer topographischer oder hydrogeologischer Gegebenheiten besonders ausgedehnte Einzugsgebiete ergeben, deren Ausweisung im Gesamten als Wasserschutzgebiet nicht umsetzbar erscheint oder in Fällen, in denen wie z.B. im Karst die Gesamtausdehnung des Einzugsgebietes einer Wassergewinnung nicht ermittelbar ist, kann sich ein Wasserschutzgebiet auf begründete Teile des Gesamteinzugsgebietes beschränken (DVGW 2006).

Die **Wasserschutzzone II** hat als Engere Schutzzone zur Aufgabe, „den Schutz vor Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen (z.B. Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier) sowie vor sonstigen Beeinträchtigungen [zu] gewährleisten, die bei geringer Fließdauer und -strecke zur Trinkwassergewinnungsanlage gefährlich sind“. Ihre Bemessung richtet sich nach Verlauf und Lage der 50 Tage-Fließzeitisochrone, bis zu der die Engere Schutzzone reichen muss, d.h. der Linie, von der aus das genutzte Grundwasser 50 Tage bis zur Grundwasserentnahme benötigt (vgl. Kap. 1.4). Diese Zeit reicht nach allgemein anerkannter

Fachmeinung zur Elimination von Krankheitserregern im Untergrund aus. Eine Berücksichtigung der Dispersion bei der Bemessung der Engeren Schutzzone wird nicht erforderlich. In den Vorgängerfassungen des DVGW-Arbeitsblattes W 101 war das heute als Muss-Forderung formulierte Einhalten dieser Fließzeitforderung lediglich als Soll-Bestimmung berücksichtigt, welche „etwa“ (DVGW 1975) bzw. „in der Regel“ (DVGW 1995) einzuhalten war.

Eine Mindestreichweite der Wasserschutzzone II von 100 m zur Fassung sollte nur in begründeten Ausnahmefällen mit günstiger Ausbildung der grundwasserüberlagernden Deckschichten mit geringen Durchlässigkeiten und vom DVGW-Arbeitsblatt W 101 vorgegebenen Mindestmächtigkeiten unterschritten und auf bis zu 50 m reduziert werden. In besonderen Einzelfällen mit sehr gering durchlässiger Grundwasserüberdeckung kann bei einer entsprechenden Mächtigkeit dieser auf die Ausweisung einer Engeren Schutzzone auch ausnahmsweise verzichtet werden (DVGW 2006; ECKL 1995).

Bei Karst- und Kluftgrundwasserleitern mit hohen Abstandsgeschwindigkeiten gelten gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 bei der Bemessung der Wasserschutzzone II besondere Richtlinien, da die 50-Tage-Fließzeitforderung als Grenzkriterium nicht umsetzbar erscheint. Die Ausdehnung der Engeren Schutzzone sollte dort mindestens 300 m betragen und mindestens die Raumabschnitte einzuschließen, in denen von einer besonders hohen Grundwassersensibilität auszugehen ist wie z.B. Dolinen, Karstwannen, und Trockentäler, Grundwasserblänken oder Bereiche mit geringer oder deutlich verringerter Deckschichtenmächtigkeit. Dadurch kann es z.B. auch bei nur einer Wassergewinnung je nach lokalen Untergrundgegebenheiten zur Ausweisung mehrerer, räumlich voneinander getrennter Engerer Schutzzonen kommen.

Der **Wasserschutzzone I** kommt als Fassungs-bereich der Wassergewinnung die Funktion zu, „den Schutz der Trinkwassergewinnungsanlage und ihrer unmittelbaren Umgebung vor jeglichen Verunreinigungen und Beeinträchtigungen [zu] gewährleisten“. Ihre Ausdehnung „muss von einem Brunnen allseitig mindestens 10 m, von

einer Quelfassung oder Sickerleitung in Richtung des zuströmenden Grundwassers mindestens 20 m betragen“ (DVGW 2006). Damit wurden Forderungen früherer Fassungen des Arbeitsblattes verschärft. In der Fassung von 1975

war auf quantitative Angaben für die Ausdehnung des Fassungsgebietes noch gänzlich verzichtet worden, in der Fassung 1995 wurden diesbezüglich lediglich Soll-Angaben gemacht (DVGW 1975; DWGW 1995).

1.2 Rechtliche Zulässigkeiten und technisch-bauliche Anforderungen an eine Abwasserkanalisation in Wasserschutzgebieten

Zulässigkeit in einzelnen Wasserschutzzonen

Zwar ist „bei konkurrierenden Nutzungsansprüchen [...] der Trinkwasserversorgung grundsätzlich Vorrang einzuräumen“ (DVGW 1995) und durch die Ausweisung von Wasserschutzzonen eine Konzentration gefährdender Einrichtungen oder Nutzungen im Einzugsgebiet von Wassergewinnungsanlagen zu vermeiden (vgl. Kap. 1.1), jedoch zeigt die Praxis, dass das Fernhalten risikobehafteter Einrichtungen oder Handlungen von einem Wassergewinnungsgebiet nicht immer zu realisieren ist. Dies gilt im Besonderen für Abwasserkanäle, deren Verlauf als Entwässerungseinrichtungen mit der Aufgabe, Abwasser vom Ort dessen Anfalls zur Kläranlage zu transportieren, an räumliche, technische und rechtliche Zwangspunkte gebunden ist.

Abwasserkanäle stellen innerhalb von Wasserschutzgebieten in jedem Fall eine potenzielle Grundwassergefährdung dar, deren Maß und Zulässigkeit sich von den im Einzelfall gegebenen untergrund- und bauwerkspezifischen Gegebenheiten abhängig gestaltet. Bereits im Vorwort des DVGW-Arbeitsblattes W 101 wird betont, dass „die Aufstellung eines Kataloges von Ge- und Verboten [...] den jeweiligen örtlichen Verhältnissen entsprechend differenziert und angepasst werden [muss]“ (DVGW 2006).

Muss eine Abwasserkanalisation aufgrund zwingender örtlicher Gegebenheiten durch ein Wasserschutzgebiet geführt werden, so ist der hierzu erforderliche Umfang der Maßnahme „auf das im öffentlichen Interesse notwendige Maß zu beschränken“ (DWA 2002a). Je nach geologischem Aufbau des Untergrundes muss das

„notwendige Maß“ dabei z.B. nicht unbedingt mit der kürzesten Strecke gleichzusetzen sein. Bei der Ausbildung geologischer Fenster ist der Fall denkbar, bei dem eine im übrigen Gewinnungsgebiet ausgebildete grundwasserüberlagernde Deckschicht mit besonderer Bedeutung für die Grundwasserabschirmung bereichsweise nicht oder in relevant geringerer Mächtigkeit ausgebildet ist. Würde eine Abwasserdurchleitung auf kürzestem Weg diese Schichtunterbrechung queren, könnte dies gegebenenfalls ein höheres Gefährdungspotenzial für das Grundwasser bedeuten, als eine längere Durchleitung des Wassergewinnungsgebietes, bei der die Kanaltrasse das geologische Fenster jedoch umgeht.

Die grundsätzliche Zulässigkeit des Durchleitens von Abwasser durch ein Wasserschutzgebiet wird durch das angeführte DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) geregelt. Demnach sind Abwasserkanäle innerhalb einer Wasserschutzzone I keinesfalls zulässig und auch im Ausnahmefall nicht statthaft. Sollte infolge von Zwangspunkten die Verlegung einer Abwasserkanalisation durch eine Wasserschutzzone I im öffentlichen Interesse sein und umgesetzt werden müssen, ist die betreffende Wassergewinnung dauerhaft stillzulegen und die Wasserversorgung anderweitig sicherzustellen, da eine Vereinbarkeit von Siedlungsentwässerung und Trinkwassergewinnung innerhalb des Fassungsgebietes einer Wassergewinnungsanlage nicht gegeben ist (DWA 2002a).

Innerhalb einer Wasserschutzzone II sind Abwasserkanäle und -leitungen in der Regel nicht tragbar. In begründeten Fällen kann ein Kanalverlauf innerhalb einer Engeren Schutzzone

geduldet werden, wenn eine solche Trassenführung aufgrund der räumlichen Gegebenheiten erforderlich erscheint und Vorsorgemaßnahmen zum präventiven Grundwasserschutz beim Bau und Betrieb der Abwasserkanalisation berücksichtigt werden, welche das Risikopotenzial für das Grundwasser wirksam herabsetzen. In einer Wasserschutzzone III ist eine Abwasserkanalisation grundsätzlich zulässig, wenn diese „in angemessenen Zeitabständen durch Inspektion auf Schäden überprüft“ wird und somit der Ist-Zustand der Kanalisation regelmäßigen Kontrollen unterliegt (DWA 2002a). Auch innerhalb einer Wasserschutzzone II haben entsprechende Inspektionen im Form von optischen Kontrollen (Sichtprüfungen) sowie Dichtheitsprüfungen regelmäßig zu erfolgen.

Für die Abwasserkanalisation in einer Wasserschutzzone II wird eine erste Wiederholung der Dichtheitsprüfung nach zwei Jahren, weitere in der Regel nach fünf Jahren angesetzt. Bei einer Wasserschutzzone III erhöht sich dieses Intervall in der Regel auf 15 Jahre. Zwischen zwei Dichtheitsuntersuchungen haben bei der Durchleitung einer Engeren Schutzzone eine, bei der Durchleitung einer Weiteren Schutzzone zwei optische Kontrollen zu erfolgen, welche durch Dichtheitsprüfungen ersetzt werden können. In Abhängigkeit von Art und Belastung der Kanalisation können kürzere Inspektionsabstände erforderlich werden (DWA 2002a). Die Prüfmodalitäten regelt das DWA-Merkblatt M 143 Teil 6 „Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen“ (DWA 1998b). Zeitabstände für die Kontrolle von Grundstücksentwässerungsanlagen gibt die DIN 1986-30 „Entwässerungsanlagen für Grundstücke“ (2003) vor.

Bauliche Ausführung von Abwasserkanälen

Kommt es zu einem Nebeneinander bzw. Überlagern von Siedlungsentwässerung und öffentlicher Trinkwassergewinnung müssen Abwasserkanäle so errichtet und betrieben werden, dass eine Verunreinigung oder sonstige nachteilige Veränderung des Grundwassers innerhalb des Wassergewinnungsgebietes vorsorglich und wirksam vermieden wird.

Bei der Neueinrichtung von Abwasserkanälen gilt es daher, Eingriffe in den Untergrund gemäß des Minimierungsgrundsatzes auf ein Mindestmaß zu reduzieren und vermeidbare Beeinträchtigungen zu unterlassen. Jeder Eingriff in den natürlichen Untergrund stellt zumindest eine potenzielle Erhöhung der Gefährdung für das Schutzgut Wasser dar. Während der Planungen für den Bau einer Abwasserkanalisation sind daher die Ansprüche eines nachhaltigen Boden- und Grundwasserschutzes zu berücksichtigen.

Bei der Auswahl des Entwässerungssystems ist größte Sorgfalt anzuwenden. Im Hinblick auf die Materialwahl ist den im Einzelfall veränderlichen örtlichen Randbedingungen Rechnung zu tragen. Dabei sind Kriterien wie u.a. Anforderungen bezüglich der Verlegetechnik, Korrosionsbeständigkeit, Nutzungsdauer, Abwinklungsfähigkeit, Bruch- und Verformungsverhalten mit in die einzelfallspezifischen Entscheidungen einfließen zu lassen. Je nach örtlichem Grundwassergefährdungsrisiko sind hinsichtlich des Ableitungssystems innerhalb eines Wasserschutzgebietes grundsätzlich verschiedene Lösungen denkbar (DWA 2002; STEIN 1999):

- einwandige Rohrsysteme,
- einwandige Rohrsysteme mit erhöhtem Sicherheitsniveau,
- doppelwandige Rohrsysteme,
- Vakuumsysteme.

Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung der baulichen Gestaltung ein- und doppelwandiger Rohrsysteme.

Anders als einfache **einwandige Rohrsysteme** bieten einwandige Rohrsysteme mit erhöhtem Sicherheitsniveau, d.h. z.B. solche mit einer mineralischen Kapselung (vgl. Abb. 2), mit Muffenüberwachung oder Rohren in semidoppelwandiger Ausführung, ebenso wie doppelwandige Rohrsysteme als „redundante Kanalsysteme“ bei auftretenden Rohrschäden zusätzliche Sicherheiten, die verhindern, dass unbemerkt und über einen längeren Zeitraum Abwasser aus dem defekten Kanal austritt und in den Untergrund respektive das Grundwasser übergeht.

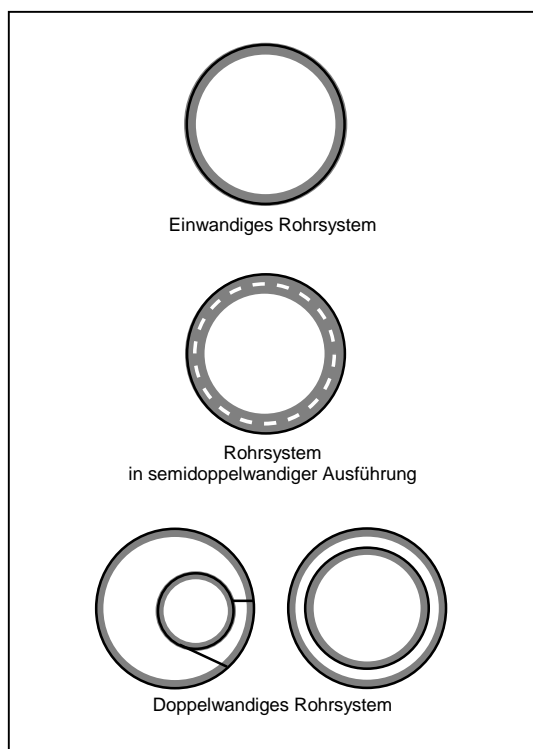


Abb. 1: Arten von Abwasserkanalsystemen

Die Sicherheit einwandiger Rohrsysteme kann erhöht werden, indem ein Mineralgemisch als Kapselung in die Leitungszone eingebracht wird, das durch einen besonderen Kornaufbau aus Kies, Sand und Bentonit eine hohe Abdichtwirkung besitzt und durch Minimierung des Porenvolumens und die Sorptionseigenschaften des Bentonits den Schadstoffrückhalt begünstigt. Vorrichtungen zur Leckagenüberwachung, z.B. über eine Detektionsschicht zwischen Rohr und dessen Schutzummantelung bei PE-HD-Rohren, ermöglichen das frühzeitige Erkennen von Leckagen (DWA 2004; STEIN 1999).

Erhöhten Schutz bieten auch Rohre, die **semi-doppelwandig** ausgeführt sind und damit doppelwandigen Systemen ähneln. Beim semidoppelwandigen System verfügt die Rohrwand des Abwasserkanals zwischen innerem und äußerem Sicherheitsmantel über eine aus verbundenen Hohlkammern bestehende Mittelschicht, welche der Leckwachung dient. Die Hohlkammern stehen unter Druck, so dass es bei einer Beschädigung der Innen- oder Außenschicht zu einer Druckveränderung in der Mittelschicht kommt, welche registriert wird und einen Alarm auslöst, so dass es zu keiner unerkannten Undichtigkeit kommen kann (DWA 2004).

Vakuumsysteme als besondere Bauform von Schmutzwasserkanälen im Trennsystem repräsentieren einen ebenfalls hohen Sicherheitsstandard. Durch den anliegenden Unterdruck im System werden Undichtigkeiten im Kanalverlauf unmittelbar an einer Druckveränderung und einer Erhöhung der Pumpenlaufzeiten zur Unterdruckerzeugung erkannt. Eine Exfiltration von Abwasser ist somit nicht möglich (DWA 2004).

Im Vorfeld der Planung ist daher grundsätzlich ein Standortgutachten zur Beurteilung des Grundwassergefährdungspotenzials einzuholen, das ganzheitliche Überlegungen zu den räumlichen, geologischen, hydrogeologischen und entwässerungstechnischen Gegebenheiten anstellt und vor dessen Hintergrund verschiedene Planungs- und Umsetzungsszenarien und Ausführungsvarianten geprüft und gegeneinander abgewägt werden. Für alle Ableitungssysteme gilt es die Leitungstrasse so zu wählen, dass ungünstige Gelände- und Untergrundverhältnisse nach Möglichkeit vermieden werden.

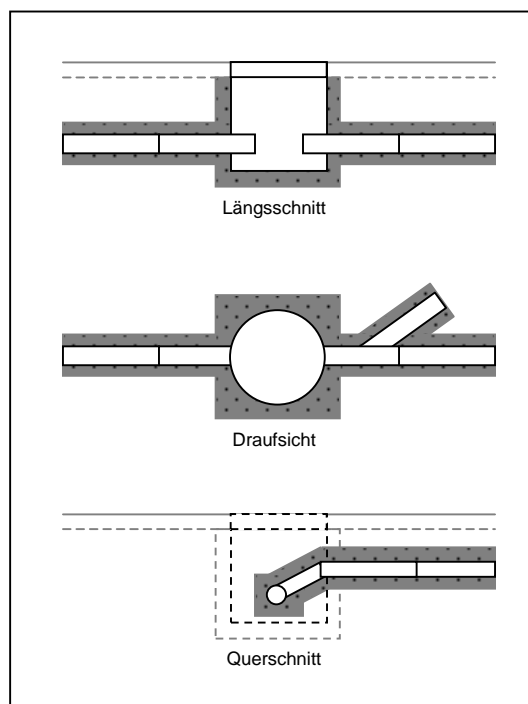


Abb. 2: Mineralische Kapselung

Dabei ist u.a. auch darauf zu achten, dass während der Durchführungsphase der Kanalbaumaßnahme zum Einsatz kommende Stoffe nicht durch unsachgemäße Handhabung in den Untergrund gelangen und Wartungs- und Repara-

turarbeiten an Maschinen und Gerätschaften sowie Lagerhaltung gemäß den gesetzlichen Forderungen aus den Wasserschutz-zonen ausgelagert werden. Unfällen und Havarien muss ausreichend vorgebeugt werden, Sofortmaßnahmen bei möglichen Unfällen sind einzuplanen. Dies gilt u.a. auch für einen etwaigen Zutritt verschmutzter Oberflächengewässer, flüssiger oder gelöster Abfallstoffe, Fäkalien oder durch ein Einwirken Dritter verursachte Verunreinigungen, welche über die Baugrube bzw. den offenen Leitungsgraben in den Untergrund und damit das Grundwasser gelangen können.

Deckschichtenabträge sind grundsätzlich zu minimieren, da ihnen eine besondere Bedeutung bei der Abschirmung des Grundwassers zukommt. Bautechnische Sicherheitsmaßnahmen für die Zeit des Baus und des späteren Betriebes sind zudem zu beachten. Der Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Instandhaltung kommt vor dem Hintergrund der Gefährdungsprävention ebenfalls eine besondere Bedeutung zu. Für die spätere Betriebsphase sind die möglichen Auswirkungen etwaiger Kanalleckagen und damit unter Umständen in den Untergrund exfiltrierenden Abwassers zu bedenken. Dies gilt im Besonderen für mögliche Stoffdrainagen, die beim Bau innerhalb oder im Übergangsbereich des Leitungsgrabens zum gewachsenen Untergrund entstehen können.

Technisches Regelwerk

Aufgrund der großen Tragweite der Thematik liegen Planung, Bauausführung und Instandhaltung von Abwasserkanälen in Wasserschutz- bzw. Wassergewinnungsgebieten in den letzten Jahren besonders im Interessenfeld des geo- und ingenieurwissenschaftlichen Interesses.

Die gewachsene Aufmerksamkeit bezüglich der Fragestellung einer aus Sicht der Investitionskosten und des Grundwasserschutzes effizienten Realisierung von Abwasserleitungen in Wasserschutzgebieten war u.a. Anlass zur Bildung der DWA-Arbeitsgruppe ES 5.6 „Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten“, welche sich mit der Über- bzw. Neuarbeitung des technischen Regelwerks in Form des DWA-Arbeitsblattes A

142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ (2002) sowie des DWA-Merkblattes M 146 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele“ (2004) beschäftigte.

Diesbezüglich kam es auch zu inhaltlichen Ergänzungen des vom „Projektkreis Wasserschutzgebiete“ im DVGW/DWA-Technischen Komitee „Grundwasser und Ressourcenmanagement“ in Zusammenarbeit mit der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) überarbeiteten DVGW-Arbeitsblattes W 101 „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ (2006) sowie zur Herausgabe verschiedener Verfahrensanweisungen und Anforderungsprofile auf Länderebene wie u.a. den „Regeln für die Ausführung und Kontrolle von Abwasseranlagen in Wasserschutzgebieten“ des Landes Nordrhein-Westfalen oder den „Anforderungen an Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten – Engere Schutzzone (Zone II)“ des Landes Baden-Württemberg (STEIN 1999).

Das technische Regelwerk des DEUTSCHEN VEREINS DES GAS- UND WASSERFACHES (DVGW), der DEUTSCHEN VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (DWA), des DEUTSCHEN INSTITUTS FÜR NORMUNG (DIN) u.a. befasst sich mit Empfehlungen und technischen Vorschlägen, welche der Umsetzung der (allgemein) anerkannten Regeln der Technik dienen. Diese stellen Regeln dar, welche sich in der Wissenschaft und Praxis als theoretisch richtig etabliert haben und durch Fortschreibung den neusten, praxisgeeigneten Erkenntnisstand repräsentieren. Sie formulieren (Minimal-)Anforderungen für den Sollzustand einer baulichen Ausführung oder Umsetzung.

Technische Regeln stellen keine Rechtsnormen dar und haben somit nicht zwangsläufig den Charakter gesetzlicher Vorschriften, können jedoch z.B. durch bauaufsichtliche Einführung Gesetzeskraft erlangen. Als Soll-Bestimmungen sind sie umzusetzen, wenn sie umgesetzt werden können. Werden technische Regeln eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass die Umsetzung z.B. eines Abwasserkanals dem Stand der Technik entspricht.

Nachfolgend werden die Kerninhalte und Entwicklungen des aktuellen technischen Regelwerks des DVGW und der DWA hinsichtlich der betrachteten Thematik erörtert.

DVGW-Arbeitsblatt W 101

Wie die mehrfache Fortschreibung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ seit 1953 belegt, haben sich im Laufe der Zeit die Anforderungen an den Grundwasserschutz innerhalb von Wassergewinnungsgebieten erhöht und konkretisiert. Zunehmend wurde stärker betont, dass die von Fall zu Fall mitunter sehr unterschiedlichen räumlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Schutzzonenbemessung und die Zulässigkeit potenziell grundwassergefährdender Handlungen, Einrichtungen und Vorgänge innerhalb des Einzugsgebietes einer Wassergewinnung eine differenzierte, einzelfallabwägende Risikobetrachtung zwingend erfordern und nicht pauschal betrachtet werden können.

Wird sich in der Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 aus dem Jahr 1975 in Bezug auf risikoträchtige Gefahrenherde für das Grundwasser noch auf eine recht allgemeine Aufzählung beschränkt, versuchen die Überarbeitungen der Jahre 1995 und 2006 durch zunehmend detailliertere Zusammenstellungen potenziell grundwassergefährdender Handlungen, Einrichtungen und Vorgänge dem Erfordernis einer differenzierten Betrachtung innerhalb eines Wasserschutzgebietes gerecht zu werden. Die Wasserschutzzone I bleibt bei den differenzierten Betrachtungen aus den angeführten Gründen (vgl. Kap. 1.1), dass im Fassungsbereich einer Wassergewinnung eine Abwasserableitung mit den Bedürfnissen des Grundwasserschutzes unvereinbar und aus Sicherheitsgründen zu keiner Zeit statthaft ist, unberücksichtigt.

Das DVGW-Arbeitsblatt W 101 in der Fassung von 1975 führt an, dass „Betriebe und Anlagen, besonders solche mit Abstoß [...] wassergefährdender Stoffe (aus Abwasser [...])“ sowie „Abwassersammlung“ als Gefahrenherde innerhalb eines Wasserschutzgebietes zu sehen sind. Das

Durchleiten von Abwasser wird explizit jedoch nur innerhalb der Wasserschutzzone II als „gefährlich“ und „in der Regel nicht tragbar“ eingestuft. Im Hinblick auf entsprechend einzuordnende Handlungen und Einrichtungen innerhalb der Wasserschutzzone III wird zwar u.a. Bezug auf Fernleitungen für wassergefährdende Stoffe, die Versickerung oder Versenkung von Abwässern sowie Kläranlagen genommen, nicht aber auf die Ableitung von Abwasser als solche. Diese wird in der Arbeitsblattfassung von 1975 somit innerhalb der Weiteren Schutzzone nicht als entsprechend einzustufende Gefährdung angesehen und war demnach seiner Zeit ohne besondere Auflagen statthaft (DVGW 1975).

Dies änderte sich mit der Überarbeitung des Jahres 1995, der zu Folge Abwasserkanäle in einer Wasserschutzzone III dann eine Gefährdung darstellen, „sofern diese nicht in angemessenen Zeitabständen durch Inspektion auf Schäden überprüft werden“. Das Durchleiten von Abwasser durch die Weitere Schutzzone wurde damit insofern eingeschränkt, als dass betont wurde, dass die Unversehrtheit und Dichtheit entsprechender Kanäle und Leitungen regelmäßig zu überprüfen sind, damit etwaige Leckagen und Schadstellen frühzeitig erkannt werden können. In der Wasserschutzzone II wurde das Durchleiten von Abwasser weiterhin als grundsätzliche Gefährdung angesehen, die „in der Regel nicht tragbar“ ist und damit auf Fälle mit besonderer Erfordernis einer Abwasserdurchleitung durch die Wasserschutzzone II zu beschränken war (DVGW 1995).

Um einen Bewertungsspielraum bei der Gefährdungseinschätzung einer Abwasserkanalbau- maßnahme fernab der alleinig an der betroffenen Wasserschutzzone festgemachten Festlegung zu ermöglichen, verweist das DVGW-Arbeitsblatt W 101 in der Fassung von 1995 auf das DWA-Arbeitsblatt A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“. Zudem wird auf den damaligen DWA-Hinweis H 146 „Ausführungsbeispiele zum Arbeitsblatt A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten““ (1990) als Vorläufer des heute gültigen DWA-Merkblattes M 146 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele“ (2004) Be-

zug genommen, welcher Angaben zu einer einzelfallspezifischen Situationsbetrachtung macht.

Die aktuelle Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 vom Juni 2006 ordnet in seinem überarbeiteten und im Umfang erneut ergänzten Katalog zu Handlungen, Einrichtungen und Vorgängen mit Prüfungs- und Regelungsbedarf innerhalb eines Wasserschutzgebietes dem Bau und Betrieb von Abwasserkanälen und -leitungen zunächst pauschalisiert ein „sehr hohes Gefährdungspotenzial“ innerhalb der Wasserschutzzone II sowie ein „hohes Gefährdungspotenzial“ innerhalb der Wasserschutzzone III zu. Diese Zuweisung ist als grundsätzlicher Tenor zu sehen, der jedoch nicht unreflektiert auf jeden Betrachtungsfall bezogen werden darf, ohne dass vorher lokale Gegebenheiten wie z.B. die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung mit in die situationsspezifische Betrachtung eingeschlossen werden.

Aus diesem Grund wird von der aktuellen Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 auf das DWA-Arbeitsblatt A 142 verwiesen, welches Näheres im Hinblick auf ein im Einzelfall mögliches Abweichen von der verallgemeinerten Gefährdungszuweisung regelt und somit als Ausführungs- und Handlungsergänzung zum Arbeitsblatt W 101 zu sehen ist. Mit diesem Verweis wird dem im DVGW-Arbeitsblatt W 101 angeführten „Prüfungs- und Regelungsbedarf“ Rechnung getragen. Das derzeitige DVGW-Arbeitsblatt W 101 räumt bei der Formulierung von Ge- und Verboten innerhalb eines Wasserschutzgebietes demnach explizit einen „Ermessensspielraum“ ein, wonach unter „Beachtung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes“ fachlich zu prüfen ist, ob von den angeführten potenziellen Gefährdungen mit Prüfungsbedarf in Trinkwasserschutzgebieten im Einzelfall eine wirkliche Gefährdung ausgeht, welche ein Verbot oder eine Beschränkung notwendig werden lässt (DVGW 2006).

DWA-Arbeitsblatt A 142

Aufgrund der Komplexität der Thematik der Bewertung des Gefährdungspotenzials von Abwasserkanälen für das Grundwasser wird sich in

den Betrachtungen des DWA-Arbeitsblattes A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ in der aktuellen Fassung vom November 2002 (DWA 2002a) weitgehend auf generelle Angaben und Forderungen bezüglich Planung und Errichtung von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten beschränkt. Allgemeine Planungsgrundsätze und Anforderungen an Kanäle und Schächte in Wassergewinnungsgebieten sowie deren Ausführung, Herstellung, Prüfung und Inspektion innerhalb der Wasserschutzzonen II und III werden formuliert.

Gegenüber der früheren Fassung aus dem Jahr 1992 enthält das derzeit gültige DWA-Arbeitsblatt A 142 eine inhaltliche Erweiterung im Hinblick auf die Risikobewertung für die Schutzgüter Grundwasser und Boden sowie erweiterte Angaben zu den grundsätzlichen Anforderungen an die konstruktive Gestaltung von neu zu verlegenden oder zu sanierenden Abwasserkanälen innerhalb von Wassergewinnungsgebieten. Es stellt damit eine wichtige Ergänzung zum DVGW-Arbeitsblatt W 101 dar, da es zum einen räumliche, insbesondere untergrundspezifische sowie planungs- und bauausführungsspezifische Faktoren anführt, welche Einfluss auf die Gefährlichkeit einer Abwasserdurchleitung durch ein Wassergewinnungsgebiet besitzen und daher mit bei der standortspezifischen Bewertung des Gefährdungspotenzials einer Abwasserdurchleitung zu berücksichtigen sind, zum anderen bauliche Anforderungen an Abwasserkanäle und -leitungen definiert, die zu stellen sind, wenn diese durch Wasserschutzzonen geführt werden sollen.

Vor Veröffentlichung des DWA-Arbeitsblattes A 142 waren die behördlichen und technischen Vorgaben an Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten in der Praxis zumeist wenig konkret. Es wurde in vielen Fällen lediglich pauschal von einem „höherwertigen Baumaterial“, „Doppelpandrohren“ und „regelmäßigen Dichteproofungen“ als Erfordernissen bei Abwasserkanälen und -leitungen in Nähe von Wassergewinnungsanlagen gesprochen (SCHWARZ 2004).

Als zentraler Punkt wird vom DWA-Arbeitsblatt A 142 die Beurteilung des von einem Abwasserkanal oder einer Abwasserleitung ausgehenden

Gefährdungspotenzials für Untergrund und Grundwasser innerhalb des betroffenen Wassergewinnungsgebietes angeführt. Diesbezüglich wird eine Kategorisierung des Gefährdungspotenzials in die Klassen „sehr hoch“, „hoch“ und „weniger hoch“ vorgeschlagen, von der die aus Schutzgründen erforderliche bauliche Ausführung des zum Einsatz kommenden Rohrsystems abgeleitet werden soll. Eben diese Einordnung hat sich in der Praxis allerdings als äußerst schwierig herausgestellt, da sie ein hohes Maß an Expertenwissen in den Fachgebieten Geologie, Hydrogeologie, Bauverfahrens- und Umwelttechnik erfordert und damit auf einer gesamtheitlichen Betrachtung zahlreicher Beurteilungskriterien fußen muss.

Zwar führt das DWA-Arbeitsblatt A 142 eine Auflistung von „Einzelfaktoren“ an, welche bei der Beurteilung des Grundwassergefährdungspotenzials von Abwasserkanälen und -leitungen von Relevanz sind, und betont, dass diese „mit sehr unterschiedlichen Risikokomponenten verbunden sind“, die „entsprechend den örtlichen Verhältnissen unterschiedlich wirken können“, jedoch werden keine Angaben zum Zusammenwirken und zur komplexen Vernetzung der einzelnen bewertungsrelevanten Faktoren gemacht, deren Aufzählung zudem nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Die Einschätzung genau dieses Zusammenwirkens im Hinblick auf die fallspezifischen Gegebenheiten und das daraus hervorgehende örtliche Grundwassergefährdungsrisiko stellt jedoch bei der Planung von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten eine Aufgabe höchster Wichtigkeit dar. Sie ist Grundlage für eine objektive Bewertung verschiedener baulich-konstruktiver Lösungsansätze in Bezug auf die komplexen bauwerks- und untergrundspezifischen Randbedingungen. Dem Ingenieur und Planer ist es jedoch auch unter Zuhilfenahme des DWA-Arbeitsblattes A 142 bislang kaum möglich, die an die bauliche Lösung gestellten Planungs- und Ausführungsanforderungen im Interesse des Auftraggebers und des Allgemeinwohls gleichsam zu optimieren und damit einen effizienten Grundwasserschutz wie auch die Wirtschaftlichkeit der Kanalbaumaßnahme gleichzeitig zu garantieren.

Dem DWA-Arbeitsblatt A 142 fehlt eine konkrete Entscheidungshilfe zur individuellen, fallspezifischen Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser im Form eines gebrauchsfertigen Bewertungssystems, welche das methodische wie auch inhaltliche Vorgehen bei der fachlichen Bewertung örtlicher Gegebenheiten festlegt und damit die vom Arbeitsblatt selbst geforderte „nachvollziehbare, begründete Einstufung des Gefährdungspotenzials“ für das Grundwasser ermöglicht (DWA 2002a).

Die Folge hieraus sind oftmals trotz der für die Maßnahmenplanung und -ausführung wichtigen Aspekte des Arbeitsblattes im Hinblick auf die Bewertung des Gefährdungsrisikos von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten weiterhin Planungsergebnisse, welche zur sichersten, jedoch meist gleichzeitig auch teuersten Lösung führen. Diese erfordern hohe Investitionssummen, obwohl aus geowissenschaftlicher Sicht zur Gewährleistung eines adäquaten Grundwasserschutzes im Einzelfall auch weniger kostenintensive Alternativen ausreichend wären, ohne dass durch sie die potenzielle Grundwassergefährdung relevant erhöht würde.

DWA-Merkblatt M 146

Zur Konkretisierung der inhaltlich-methodischen Ansätze des DWA-Arbeitsblattes A 142 im Hinblick auf die Umsetzbarkeit einer situationsangepassten Bewertung des Grundwassergefährdungsrisikos sowie eine darauf aufbauende Entscheidung zur baulichen Gestaltung des Kanalbauwerks in Wassergewinnungsgebieten wurde im Mai 2004 das DWA-Merkblatt M 146 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele“ veröffentlicht. Dieses enthält Ausführungsbeispiele zum DWA-Arbeitsblatt A 142, die im Besonderen auf die Wasserschutzzone II abzielen, bei besonderer Untergrundsensibilität und dadurch erhöhtem Sicherheitsanspruch an das Kanalbauwerk jedoch auch innerhalb einer Wasserschutzzone III denkbar sind.

Das DWA-Merkblatt M 146 umfasst inhaltlich zwei Schwerpunkte. Zum Einen macht es Vorschläge, wie die geforderte Beurteilung des Ge-

fährdungspotenzials von Abwasserkanälen und Abwasserleitungen methodisch angegangen werden kann, um der erforderlichen situationsangepassten Fallbewertung gerecht zu werden, zum Anderen nimmt es Bezug zu der auf der Gefährdungseinschätzung gründenden Wahl des Ableitungssystems im von einer Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet.

Hierbei werden derzeit auf dem Markt verfügbare Ableitungssysteme mit erhöhtem Sicherheitsstandard und deren Ausführungsmöglichkeiten vorgestellt wie sie in Wassergewinnungsgebieten bei sehr hohem und hohem Gefährdungspotenzial notwendig erscheinen und Hinweise zur Bauausführung und Qualitätssicherung sowie zur Kontrollmöglichkeit und Schadensortung gegeben. Auf Ableitungssysteme, die bei weniger hohem Gefährdungsrisiko zum Einsatz kommen können, geht das Merkblatt nicht ein, da diese den auch außerhalb von Wassergewinnungsgebieten üblicherweise verwendeten einwandigen Ableitungssystemen entsprechen (vgl. Kap. 1.1).

Hinsichtlich der Beurteilung des Gefährdungspotenzials von Abwasserkanälen für die Schutzgüter Boden und Grundwasser empfiehlt das DWA-Merkblatt M 146 aufbauend auf den Betrachtungen des DWA-Arbeitsblattes A 142 ein Vorgehen in vier Teilschritten.

Zunächst soll im ersten Teilschritt auf Grundlage aller verfügbaren oder recherchierbaren Quellen eine detaillierte Beschreibung der örtlichen Verhältnisse im Planungsgebiet in Bezug auf das Kanalbauvorhaben erfolgen, wobei u.a. auf Aspekte der Flächennutzung und Wassergewinnung im Betrachtungsraum, den Aufbau und die Eigenschaften des Untergrundes sowie die geplante Kanalbaumaßnahme (Neubau, Ersatz oder Sanierung) und deren baulich-technische Einzelheiten (z.B. Bauausführung, Maßnahmendauer) einzugehen ist. Im Hinblick auf die Erhebung der Untergrund- und Umfeldinformationen sind Quellen wie u.a. Kartenwerke, Schicht- und Bohrverzeichnisse oder Gutachten auszuwerten, die sachdienliche Hinweise über die Situation im Betrachtungsfall liefern können.

Basierend auf den zusammengestellten und geprüften lokalspezifischen Daten gilt es im

zweiten Teilschritt Lücken und Defizite im Informationsstand zu erkennen, deren Ausgleich für eine gesamtheitliche und fachlich abgesicherte Situationsbetrachtung unverzichtbar ist. Aus ihnen gehen die im dritten Teilschritt durchzuführenden ergänzenden, an die fallspezifischen Erfordernisse angepassten Untersuchungen zur Verbesserung und Erweiterung der Kenntnislage hervor. Auf Grundlage der recherchierten und ergänzend erhobenen Informationen zum betroffenen Wassergewinnungsgebiet und beabsichtigten Kanalbauvorhaben ist im vierten Teilschritt schließlich eine gesamtheitliche Dokumentation der standortindividuellen Gegebenheiten einschließlich einer Gefährdungsbewertung mit „qualifizierender Szenariobeschreibung“ unter Berücksichtigung verschiedener Einflüsse und Randbedingungen während des Baus und Betriebs des Abwasserkanals durchzuführen.

Das DWA-Merkblatt M 146 empfiehlt hierzu, das „Aufstellen einer Bewertungsmatrix [...], die in jedem Fall auf die jeweiligen Vor-Ort-Verhältnisse anzupassen ist“ und mit der die Gefährdungsklassen „sehr hoch“, „hoch“ und „weniger hoch“ zu verknüpfen sind. Hierzu werden im Merkblatt einige, jedoch keineswegs alle wichtigen, für die Grundwassergefährdung relevante Einflussgrößen aufgelistet und in einer beispielhaften Bewertungsmatrix zusammengeführt, welche sich in die Erhebungsbereiche „Kanäle/Leitungen/Abwasser“ und „Naturräumliche Verhältnisse/Untergrund“ aufgliedert.

Methodisch erscheint die vorgeschlagene Gefährdungseinschätzung mit Hilfe einer Bewertungsmatrix sinnvoll, da die Einstufung des Risikopotenzials einer geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme, anders als bei reinen verbalargumentativen Bewertungen, besser nachvollziehbar und überprüfbar wird, was im Hinblick auf eine transparente Entscheidungsfindung wünschenswert ist. Wie sich bereits nach der Entwurfspublikation des DWA-Merkblattes M 146 zeigte, ist der Vorschlag in der angeführten Form jedoch nicht gänzlich widerspruchsfrei und in der Praxis nicht ohne Weiteres anwendbar. Das methodische Vorgehen, wie es anhand einer Beispielmatrix dargestellt wird, birgt bei näherer Betrachtung verschiedene Kritikpunkte, welche die letztliche Nutzbarkeit des Bewer-

tungsansatzes in der angeführten Form für den praktischen Gebrauch einschränken.

Insbesondere erscheint diskussionswürdig, warum das Merkblatt M 146 nicht versucht, eine zumindest weitgehend allgemein anwendbare Bewertungsmatrix vorzugeben, welche in ihrer Ergebnisfindung abgesichert ist. Standortindividuelle Matrizen, wie sie vom Merkblatt vorgeschlagen werden, bergen die Gefahr, dass bei der Vielzahl zu berücksichtigender Einflussgrößen einzelne wichtige Einflussgrößen mit Relevanz für die Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials übersehen und daher nicht beachtet werden. Das Nichtberücksichtigen bewertungsrelevanter Einflussgrößen kann, auch wenn dieses unabsichtlich erfolgt, zu einer Gefährdungseinschätzung führen, welche die Situation im Wasserschutzgebiet im Hinblick auf Untergrund- und Grundwassersensibilität nicht richtig beurteilt. Hieraus kann unter Umständen eine bauliche Realisierung der Abwasserdurchleitung resultieren, welche ein signifikantes Risiko für das Grundwasser darstellt. Zudem besteht die Möglichkeit, dass durch ein gezieltes Verzicht auf bestimmte Einzelfaktoren ein Bewertungsergebnis geschönt wird.

Es bleibt damit die grundsätzliche Frage offen, welche Einflussgrößen bei der Gefährdungsbewertung zu betrachten sind. Die vom DWA-Merkblatt M 146 angeführte Auflistung bewertungsrelevanter Einzelfaktoren zeigt sich weder in der berücksichtigten Beispielmatrix noch in der dieser vorangehenden textlichen Auflistung erschöpfend. Es ist damit unklar, welche untergrund- sowie bauausführungs- und bauwerkspezifischen Gegebenheiten überhaupt Einfluss auf die Gefährdungseinschätzung besitzen und daher mit in die Gefährdungsbewertung und eine diesbezügliche Matrix einfließen müssen. Der Hinweis „Matrix gegebenenfalls um weitere Parameter zu ergänzen“ weist darauf hin, dass die angeführte Auflistung nur als Ansatz zu verstehen ist.

Als weiterer Kritikpunkt ist zu nennen, dass das DWA-Merkblatt M 146 keinerlei Angaben zur inhaltlichen Vernetzung der verschiedenen gefährdungsrelevanten Einflussgrößen macht. Wie die angeführte Beispielmatrix zeigt, werden die

Einflussgrößen als „Einzelfaktoren“, nicht aber in Kombination mit anderen betrachtet. Das Zusammenwirken der Einflussgrößen stellt sich erfahrungsgemäß als sehr komplex dar und ist von besonderer Bedeutung bei der gesamtheitlichen Bewertung des Gefährdungsrisikos für das Grundwasser. Da dieses im Besonderen das fächerübergreifende Wissen der planungsbeteiligten Geowissenschaftler und Ingenieure fordert, wäre es zielführend gewesen, zu beachtende fachinhaltliche Verknüpfungen im Merkblatt anzuführen, um die Handhabbarkeit des Bewertungsansatzes in der Praxis zu verbessern.

Darüber hinaus erscheint die im DWA-Merkblatt M 146 vorgeschlagene Ermittlung der Gesamtfährdungseinschätzung der Kanalbaumaßnahme auf Grundlage der „Zwischenwertungen“ bzw. „Gewichtungen“ der Einzelfaktoren der Bewertungsmatrix kritisierbar und methodisch in der Praxis so nicht ohne Weiteres umsetzbar. Sie basiert auf einer Vorgehensweise, die in Bewertungssystemen vielfach Anwendung findet und welche die Gefahr birgt, dass es zu einer einfachen mathematischen Verrechnung einzelner Bewertungsurteile und damit zu einer Austauschbarkeit von Wertungen kommt (vgl. Kap. 2.3). Diese Vorgehensweise erscheint nur dann statthaft, wenn eine Gewichtung und fachlich-inhaltliche Verknüpfung der einzelnen Wertungen untereinander erfolgt und diese wissenschaftlich abgesichert ist. Dies ist auf Grundlage des DWA-Merkblattes M 146 jedoch nicht gegeben, da keine allgemein anwendbare Bewertungsmatrix vorgegeben und keine Aussage zur Gewichtung der einzelnen bewertungsrelevanten Faktoren gemacht wird.

Zudem gestaltet sich die Erarbeitung eines Klassifizierungsschemas in der im Merkblatt angeführten Art bei einer größeren Anzahl zu berücksichtigender Einflussgrößen – im Merkblatt werden gerade einmal elf beurteilungsrelevante Sachverhalte als Beispiele berücksichtigt – als außerordentlich komplex und erfordert daher einen entsprechenden Bedarf an Zeit und fachlichem Wissen. Aufgrund der erforderlichen fall-spezifischen Anpassung bzw. Ergänzung der Matrix an die jeweilige Betrachtungssituation müsste die Urteilsfindung von Fall zu Fall ange-

passt, verifiziert und geeicht werden, was Nutzen und Belastbarkeit einer entsprechenden Entscheidungshilfe in Frage stellen würde.

Trotz der angeführten Kritikpunkte ist das DWA-Merkblatt M 146 als wichtiger Ansatz zur Inangriffnahme der betrachteten Fragestellung zu sehen. Da es die Komplexität der Thematik, insbesondere die vollständige Ermittlung der bewertungsrelevanten Einflussgrößen sowie deren fachinhaltliches Zusammenwirken jedoch nur streift, wird eine konkrete Anwendbarkeit in

der Praxis verhindert. Den am Planungsprozess beteiligten Personen kann es für eine eindeutige und nachvollziehbare Einschätzung des Gefährdungspotenzials bei der Errichtung von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten daher nur ergänzend dienen. Von direkter Bedeutung zeigt sich das Merkblatt im Hinblick auf Fragen der baulichen Gestaltung und Ausführung verschiedener Rohrsysteme mit erhöhtem Sicherheitsstandard, zu denen es detaillierte Angaben macht (vgl. Kap. 1.1).

1.3 Zustand der Abwasserkanalisation in Deutschland und zukünftig erforderlich werdende Kanalsanierungen und -neubauten in Wassergewinnungsgebieten

Abwasseraufkommen und -behandlung

Das jährliche Abwasseraufkommen in Deutschland betrug im Jahr 2004 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes rd. 9,4 Mrd. m³, was zum Vergleich etwa 20 % des Volumens des Bodensees entspricht. Täglich fallen damit in der Bundesrepublik rd. 25,7 Mio. m³ an. Mit rd. 5,1 Mrd. m³ besteht mehr als die Hälfte der jährlichen Abwassermenge aus häuslichem und gewerblichem Schmutzwasser, rd. 2,4 Mrd. m³ entfallen auf Niederschlagswasser sowie rd. 1,8 Mrd. m³ auf durch Undichtigkeiten in das Kanalsystem eingedrungenes Fremdwasser (DWA 2006b).

Der Abwasserbehandlungsgrad in Deutschland liegt derzeit bei über 95 % und hat sich damit seit Anfang der 1990er Jahre um rd. 10 % erhöht (BMU 2004, DWA 2006b). Im weltweiten Vergleich zeigt sich, dass der Anschlussgrad in Deutschland weit über dem Durchschnitt der Industriestaaten liegt, der von den „Key Environmental Indicators“ der OECD mit rd. 70 % angeführt wird (DWA 2006e). Damit verfügen rd. 5 % der deutschen Bevölkerung bislang über keinen Anschluss an die öffentliche Kanalisation und daran angebundene kommunale Kläranlagen. Sie führen ihr Abwasser in der Regel Kleinkläranlagen oder abflusslosen Gruben zu. Etwa 2 % haben Anschluss an eine Kanalisation ohne

Abwasserbehandlung oder an industrielle Abwasserbehandlungsanlagen (STATBA 2003).

Das in der öffentlichen Kanalisation anfallende Abwasser wird in den knapp 10.200 über das Bundesgebiet verteilten öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen zu fast 100 % mittels biologischer Verfahren gereinigt (DWA 2006b). Sofern eine separate Sammlung und Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswasser mittels Trennkanalisation erfolgt, wird versucht, Niederschlagswasser, das sich aufgrund seiner Beschaffenheit hierzu eignet, nahe am Ort seines Anfallens dem Untergrund zuzuführen, wodurch sich der zu behandelnde Abwasseranteil örtlich verringert. Bei Mischkanalisation erfolgt eine gemeinsame Ableitung und Behandlung des gesamten Abwassers.

Etwa 95 % des anfallenden Abwassers wird in biologischen Kläranlagen mit gezielter Nährstoffelimination behandelt, rd. 5 % in Anlagen ohne gezielte Nährstoffelimination. Nur etwa 0,1 % der öffentlichen Kläranlagen in Deutschland verfügt bislang lediglich über eine mechanische Reinigungsstufe (BMU 2004). Im europäischen Vergleich ist die kommunale Abwasserentsorgung in Deutschland führend. Neben Dänemark und Österreich ist Deutschland der einzige Mitgliedstaat, der die Anforderungen der Europäischen Kommunalabwasserrichtlinie ein-

hält. Obwohl noch einzelne größere Kläranlagen mit mehr als 10.000 EW die nationalen Anforderungen der Abwasserverordnung nicht erfüllen, werden rd. 90 % des anfallenden Phosphors und rd. 82 % des Stickstoffs in den kommunalen Kläranlagen entfernt. Die Kommunalabwasser-richtlinie fordert für beide Nährstoffe eine Reduzierung von 75 % (BMU 2004; DWA 2006e).

Bestehendes Abwasserkanalnetz

Das öffentliche Abwasserkanalnetz in Deutschland besaß 2004 nach Angaben des DWA eine Gesamtlänge von rd. 515.000 km. Dabei entfielen 46 % auf Mischwasserkanäle sowie 33 % auf Schmutz- und 21 % auf Regenwasserkanäle (DWA 2006b). Die Länge des privaten Kanalnetzes wird auf das etwa Doppelte dessen geschätzt (DWA 2006d). Etwa 37.000 Regenentlastungsanlagen in Form von Regenüberlauf-, Regenrückhalte- und Regenklärbecken mit einem Gesamtspeichervolumen von rd. 42 Mio. m³ sind als abwassertechnische Bauwerke in das Kanalnetz integriert (DWA 2006a).

Das öffentliche Kanalnetz sowie die daran angeschlossenen kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen stellen ein hohes volkswirtschaftliches Investitionsgut dar. Im Vergleich zu denen der Wasserversorgung liegen die Kosten der Abwasserentsorgung im Allgemeinen abhängig von den lokalen Gegebenheiten mehr als doppelt so hoch (SCHMIDT 2000). In den vergangenen Jahren wurden bundesweit jährlich rd. 5 Mrd. Euro in die Abwasserentsorgung investiert, wovon mehr als die Hälfte bis knapp zwei Drittel in die Abwasserableitung und damit die Erneuerung und den weiteren Ausbau des Kanalnetzes sowie etwa ein Drittel in die Abwasserbehandlung entfielen. Der Anteil sonstiger Investitionen belief sich auf rd. 10 % (DWA 2006a).

Dem Substanzerhalt der öffentlichen Kanalisation kommt auch zukünftig weiterhin eine vorrangige Bedeutung zu. Aus Angaben des Statistischen Bundesamtes und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), die seit 1984/85 regelmäßige Umfragen unter den Betreibern der kommunalen Abwasserentsorgung zum Zustand des öffentli-

chen Kanalnetzes durchführt, geht hervor, dass bezogen auf das Jahr 2004 etwa ein Drittel der Abwasserkanäle in Deutschland in den vorangegangenen 25 Jahren errichtet wurde. Bezogen auf den Zeitraum seit Mitte der 1950er Jahre erhöht sich der Anteil auf rd. 70 %. Demnach sind rd. 20 % der bundesdeutschen Kanalnetzes älter als 50 Jahre, 10 % sogar älter als 75 Jahre. Für rd. 10 % der Kanäle liegen keine Altersangaben vor (BERGER 2004).

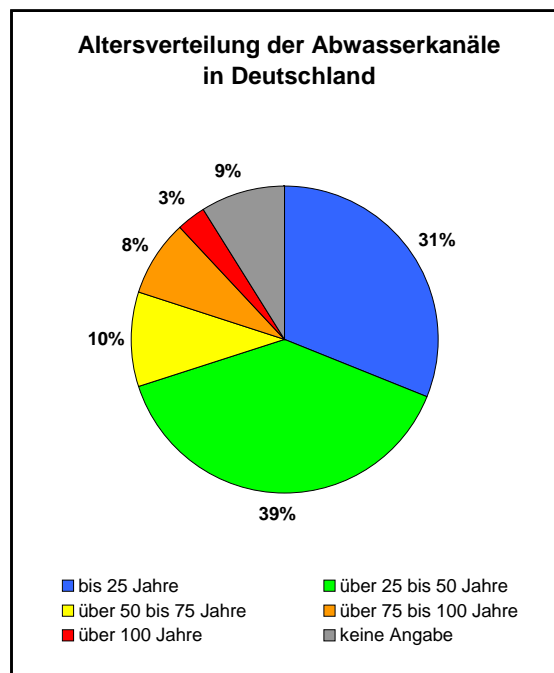


Abb. 3: Altersverteilung der Abwasserkanäle in Deutschland (in Anlehnung an BERGER 2004)

Kanalerneuerungsmaßnahmen lassen sich im Vergleich zu den Altersstatistiken der Vorjahre unmittelbar nachvollziehen. In einer Erhebung des DWA aus dem Jahr 2001 wurde der Netzeanteil älter 50 Jahre noch auf knapp 30 %, der älter 75 Jahre auf rd. 20 % geschätzt (BERGER 2001). Deutliche Unterschiede bestehen zwischen dem westlichen und dem östlichen Bundesgebiet. Im Osten stammt zum einen noch über die Hälfte des Kanalnetzes aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg, zum anderen ist der Anteil der Kanäle jünger als 25 Jahre deutlich höher als in der alten Bundesländern.

Abb. 3 zeigt eine Diagrammübersicht über die Altersstruktur des Abwasserkanalnetzes in der Bundesrepublik bezugnehmend auf den Erhebungsstand des Jahres 2004.

Hinsichtlich der eingesetzten Kanalmaterialien dominieren nach Angaben des DWA Beton bzw. Stahlbeton sowie Steinzeug mit einem Anteil von zusammen über 85 %, wobei in den letzten Jahren ein leichter Rückgang des Anteils an Steinzeugrohren zu verzeichnen ist. Die Entwicklung der Materialverteilung hinsichtlich Faserzement und Guss bzw. Stahl lässt im Blick über die Jahre keine signifikante Veränderung erkennen, während der Anteil gemauerter Kanäle seit 1990 deutlich zurückgegangen ist und der an Kunststoffrohren deutlich zugenommen hat (BERGER 2004).

Korreliert man Materialverteilung und Nennweite, dominieren bei Abwasserkanälen kleiner DN 800 Stahl bzw. Stahlbeton (40 %) und Steinzeug (46 %), wobei im Vergleich zu früheren Erhebungen geringe Verluste zu Gunsten von Kunststoffrohren (8 %) zu verzeichnen sind. Bei Kanälen größer oder gleich DN 800 ist ein Zugewinn bei Rohren aus Steinzeug (7 %) zu beobachten, welcher mit einer Abnahme bei Beton- bzw. Stahlbetonrohren in Verbindung steht, die jedoch nach wie vor bei Abwasserkanälen größer gleich DN 800 bevorzugt werden (73 %), gefolgt von Kanälen aus Mauerwerk (16 %) (BERGER 2004).

Zustand der Kanalisation

Schadhafte Abwasserkanäle stellen sich aus unterschiedlichen Gesichtspunkten als problematisch dar. In erster Linie ist hier die Gefahr der Grundwasserverunreinigung zu sehen. Kanäle, welche unterhalb des Grundwasserspiegels liegen, wirken bei Undichtigkeiten ähnlich wie Drainagen, was zu einer erhöhten hydraulischen Belastung bis hin zur Überlastung des Entwässerungsnetzes und zu erhöhten Pumpkosten sowie zu relativ verminderten Reinigungsleistungen angeschlossener Abwasserbehandlungsanlagen führen kann.

Die Kenntnislage zum Zustand der Kanalisation bei den Betreibern der kommunalen Abwasserentsorgung hat sich in den vergangenen Jahren durch die Zunahme durchgeführter Kanalinspektionen wesentlich verbessert. Rd. 80 % des öffentlichen Kanalnetzes sind bislang inspiziert,

so dass verlässliche Trendaussagen zum Zustand und Sanierungsbedarf der bundesdeutschen Kanalisation möglich sind (BERGER 2004). Aus der Befragung der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) aus dem Jahr 2004 zum Zustand der Kanalisation geht hervor, dass wie auch in den vorangegangenen Erhebungen schadhafte Anschlüsse mit 20 % und Risse mit 17 % die häufigsten Schadensbilder an Kanälen sind.

Abb. 4 zeigt hierzu eine Übersicht der Schadensverteilung an Abwasserkanälen.

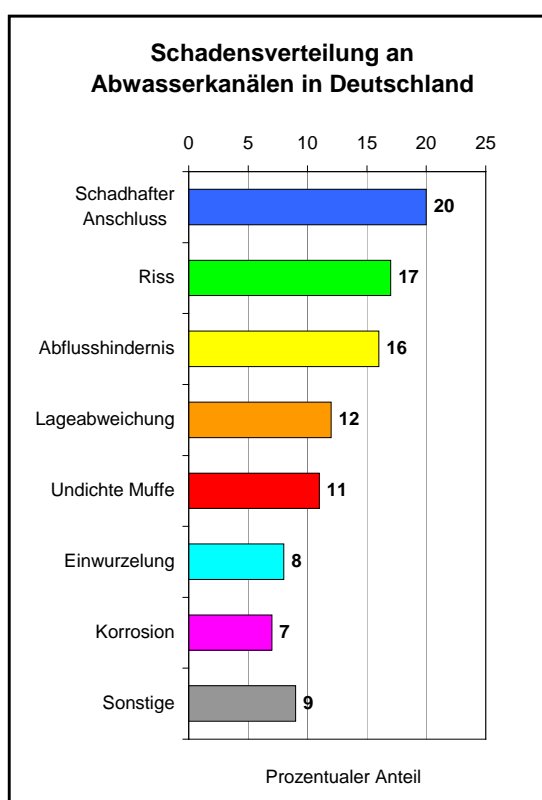


Abb. 4: Schadensverteilung an Abwasserkanälen in Deutschland (in Anlehnung an BERGER 2004)

Der Sanierungsbedarf der Kanäle wird anhand der Zustandsklassifizierung gemäß DWA-Merkblatt M 149 „Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden“ (DWA 1999b) bzw. „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung“ (DWA 2007a) eingestuft, die Kanäle einer von fünf festgelegten Zustandsklassen (ZK 0 bis ZK 4) zuordnet, die Angaben zur Dringlichkeit des Handlungsbedarfs machen.

Betrachtung ohne Berlin rd. 9 % der Kanalschäden einen sofortigen bis kurzfristigen (ZK 0 und ZK 1), weitere rd. 11 % einen mittelfristigen Handlungsbedarf (ZK 2). Damit werden rd. 20 % der öffentlichen Kanalisation als in absehbarer Zeit sanierungsbedürftig eingestuft. Bei der Erhebung 2001 wurde dieser Anteil nur auf 17 % geschätzt. Weitere 21,5 % der Kanäle sind nach dem Stand von 2004 langfristig zu sanieren (ZK 3), was im Vergleich zu 2001 (14 %) ebenfalls einer Zunahme entspricht (BERGER 2001).

Bei knapp 60 % der öffentlichen Kanalisation (im Jahr 2001 69 %) sind derzeit keine Handlungsbedürfnisse abzusehen. Hinsichtlich des Sanierungsbedarfes liegt ein deutliches Übergewicht bei Kanälen mit Nennweiten unter DN 500, was jedoch vor allem auf die Größenverteilung der Kanäle zurückgeführt werden kann und darauf, dass bundesweit rd. 85 % der öffentlichen Abwasserkanäle eine Nennweite unter DN 500 aufweisen (BERGER 2004).

Die mittleren Sanierungskosten, ermittelt aus den Kosten für Reparatur, Renovierung und Erneuerung, lagen nach einer Berechnung der DWA im Jahr 2004 bei rd. 540 Euro pro Meter instand gesetztem Kanal. Übertragen auf eine Sanierungsbedürftigkeit von rd. 20 % wie angeführt und einer bundesdeutschen Gesamtlänge an öffentlichen Abwasserkanälen von über 500.000 km, errechnet sich ein mittelfristig erforderliches Investitionsvolumen zur Sanierung bestehender Abwasserkanäle von über 50 Mrd. Euro. Hinzu kommen die Kosten für Kanäle in erstmaliger Erschließung (BERGER 2004).

Sanierung von Abwasserkanälen

Aufgabe und Ziel einer Kanalsanierung ist die Behebung vorhandener Schäden zur Erreichung eines vordefinierten Sollzustandes. Gemäß DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 5: Sanierung“ sind dabei drei Sanierungsverfahren zu unterscheiden:

- Reparatur,
- Renovierung,
- Erneuerung.

Während unter Reparatur eine „Behebung örtlich begrenzter Schäden“ gefasst wird, stellt eine Renovierung eine „Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz“ dar. Erneuerung beinhaltet dagegen die „Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen“ (BERGER 2004).

Von den einzelnen Sanierungsmöglichkeiten wurde in den letzten Jahren in etwa der Hälfte der Fälle eine Sanierung durch Erneuerung durchgeführt. Bei der Erhebung im Jahr 2001 lag der diesbezügliche Anteil bei rd. 53 %, bei derjenigen 2004 bei rd. 49 %. Der Anteil an Erneuerung in geschlossener Bauweise zeigt dabei in den vergangenen Jahren eine deutliche Zunahme von rd. 9,5 % in 2001 auf rd. 18 % in 2004. Der Anteil durch Reparatur oder Renovierung sanierter Kanäle lag 2004 derweil jeweils bei etwa einem Viertel, wobei der Anteil an Renovierung leicht zunahm (BERGER 2004).

Abb. 5 veranschaulicht die Verteilung der Sanierungsverfahren in einer Diagrammdarstellung.

Demnach ist abzusehen, dass von den rd. 20 % der in Deutschland kurz- bzw. mittelfristig sanierungsbedürftigen öffentlichen Abwasserkanälen und -leitungen rd. 50 % durch Erneuerung instand gesetzt werden, was bei einer gesamten Kanallänge von über 500.000 km einer Neubaulänge von rd. 50.000 km entspricht.

Die Situation der Abwasserleitungen auf privaten Grundstücken wird als deutlich kritischer eingeschätzt. Statistisch abgesicherte Angaben hierzu liegen jedoch nicht vor, da Kanalinspektionen im privaten Bereich in der Regel nicht stattfinden und nur in den seltensten Fällen regelmäßig gegeben sind. Überprüfungen erfolgen allenfalls vereinzelt und erst dann, wenn bereits ein Schadenfall gegeben ist. Vereinzelt vorhandene Untersuchungen lassen allerdings vermuten, dass sich im Bereich privater Grundleitungen eine schlechtere Situation ergibt als bei den öffentlichen Kanälen. Aufgrund der doppelt so

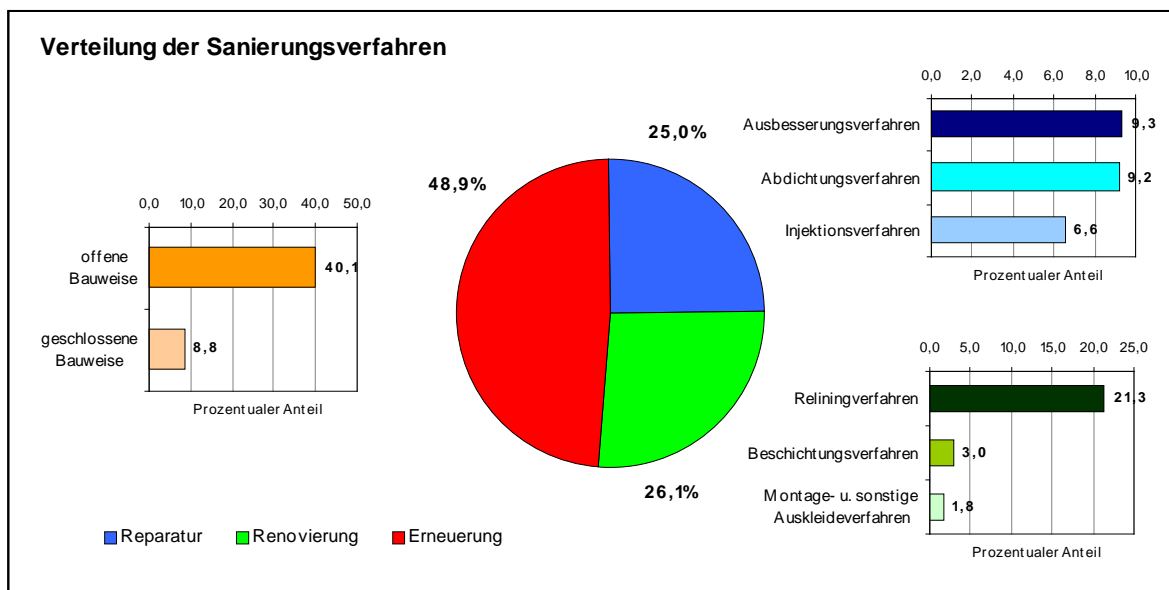


Abb. 5: Verteilung der Sanierungsverfahren an Abwasserkanälen in Deutschland (in Anlehnung an BERGER 2004)

hoch geschätzten Leitungslänge privater Abwasserkanäle und -leitungen wird auch dort ein Investitionsvolumen zur Instandhaltung in zweistelliger Milliardenhöhe angenommen (BERGER 2004).

Sanierungs- und Neubedarf in Wasserschutzgebieten

Besonders kritisch ist die Situation schadhafter Kanalstrecken innerhalb von Wassergewinnungsgebieten zu sehen, in denen ein vorsorglicher Grundwasserschutz zur langfristigen Sicherung des Grundwassers unerlässlich ist. Die tatsächliche Länge der zu sanierenden und neu zu errichteten Abwasserleitungen und -kanäle innerhalb von Wasserschutzgebieten ist nicht anführbar, da entsprechende statistische Erhebungen bislang nicht durchgeführt wurden.

Die zu erwartende Länge sanierungsbedürftiger und neu zu verlegender Kanäle in bundesdeutschen Wasserschutzgebieten lässt sich jedoch anhand eines Berechnungsansatzes abschätzen, wie er z.B. für Bayern vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft angewendet wird. Hierzu wird der Anteil der als Wasserschutzgebiete ausgewiesenen Flächen an der Gesamtfläche des Bundeslandes gleichgesetzt mit dem Längenanteil der Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten an der Gesamtlänge der

im Bundesland zu sanierenden Abwasserkanäle. Nachfolgend wird diese abschätzende Methodik beispielhaft für die beiden Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Saarland angeführt.

In Nordrhein-Westfalen sind mit 3.940 km² rd. 11,5 % der Landesfläche als Wasserschutzgebiet festgesetzt. Dabei sind 719 km² als Wasserschutzzonen I und II sowie 3.229 km² als Wasserschutzzone III eingestuft. Zu den 403 bis Juli 2004 bereits bestehenden Wasserschutzgebieten sollen mittelfristig 424 weitere mit einer zusätzlichen Fläche von 1.967 km² kommen (350 km² WSZ I bzw. II, 1.617 km² WSZ III), so dass insgesamt über 5.900 km² und damit 17,3 % des Bundeslandes als Wasserschutzgebiet ausgewiesen sein werden (LUA NRW 2004). Anderen Quellen zufolge (STEIN 2006) soll der Anteil langfristig sogar auf bis zu 19,0 % und damit über 6.480 km² anwachsen.

Bei einer Gesamtlänge öffentlicher Abwasserkanäle in Nordrhein-Westfalen von rd. 60.000 km (MURL NRW 1999) entfallen bei einem Flächenanteil an Wasserschutzgebieten von 11,5 % rechnerisch 6.900 km Abwasserkanalisation auf festgesetzte Wasserschutzgebiete. Unter Berücksichtigung eines wie angeführt kurz- bis mittelfristigen Sanierungsbedarfes von rd. 20 % und der Tatsache, dass etwa die Hälfte aller Abwasserkanäle durch Erneuerung saniert

wird, errechnet sich für Nordrhein-Westfalen ein kurz- bis mittelfristiger Erneuerungsbedarf für Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten von über 690 km. Bezogen auf einen 10-Jahres-Zeitraum bedeutet dies, dass jährlich mit einer Erneuerung öffentlicher Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten durch Sanierungsneubau im Umfang von fast 70 km zu rechnen ist.

Neben den aufgrund von Alterungserscheinungen am Kanalnetz erforderlichen Sanierungen und Sanierungsneubauten müssen in Deutschland nach Schätzungen von DOHMANN (1999) bis zum Jahr 2015 jährlich rd. 2.000 km an Abwasserkanälen mit einem Investitionsvolumen von rd. 1,2 Mrd. Euro pro Jahr neu verlegt werden (STEIN 2006). Überträgt man diese Zahlen auf Nordrhein-Westfalen, das einen Flächenanteil von rd. 9,5 % an der Bundesrepublik besitzt, so beträgt der Neubaubedarf hier jährlich rd. 190 km. Bei einem Anteil der Wasserschutzgebiete von 11,5 % der Landesfläche müssen in Wasserschutzgebieten jährlich demnach rd. 22 km Abwasserkanäle neu errichtet werden.

Hieraus leitet sich für die Wasserschutzgebiete Nordrhein-Westfalens eine zu errichtende Kanallänge für Sanierungsneubau und erstmaligen Trassenneubau von zusammen schätzungsweise über 90 km pro Jahr ab. Unberücksichtigt bleiben hierbei private Abwasserleitungen sowie die angeführte Planungsabsicht, in Zukunft weitere Landesflächen Nordrhein-Westfalens als Wasserschutzgebiete festzusetzen.

Im Saarland sind derzeit 17,0 % der Landesfläche und damit rd. 437 km² als Wasserschutzgebiet festgesetzt, wobei rd. 369 km² als Wasserschutzzone III und rd. 62 km² als Wasserschutzzone II ausgewiesen sind. Bei einer landesweiten Länge des öffentlichen Abwasserkanalnetzes von über 7.600 km (STATLA SL 2006) bedeutet dies, dass rechnerisch rd. 1.290 km an Abwasserkanälen auf Wasserschutzgebiete entfallen. Bei dem Sanierungsbedarf von 20 %, von dem etwa die Hälfte durch Neubau umgesetzt wird, resultiert ein kurz- bis mittelfristiger Erneuerungsbedarf für eine Abwasserkanallänge in Wasserschutzgebieten von rd. 130 km. Übertragen auf einen 10-Jahres-Zeitraum bedeutet dies einen mittleren Sanierungsneubau in Wasserschutzgebieten von etwa 13 km jährlich.

Im Hinblick auf erstmalige Neubauten ergibt sich bei einem Flächenanteil des Saarlandes von rd. 0,7 % am Bundesgebiet und einer deutschlandweiten Neubaulänge von rd. 2.000 km pro Jahr eine Kanallänge von rd. 14 km jährlich, von denen rechnerisch rd. 2,4 km auf Wasserschutzgebiete entfallen. Insgesamt ist im Saarland demnach von einer jährlichen Gesamtneubaulänge für Sanierung und erstmaligen Bau in Wasserschutzgebieten von über 15 km auszugehen.

Berücksichtigt man, dass zu den 57 bis März 2006 im Saarland ausgewiesenen Wasserschutzgebieten weitere 40 mit einer Gesamtfläche von nochmals rd. 225 km² vorgesehen sind (Wasserschutzzone III 183 km², Wasserschutzzone II 42 km²; zusammen rd. 8,8 % der Landesfläche), wären letztendlich rd. 663 km² und damit rd. 25,8 % des Saarlandes als Wasserschutzgebiet deklariert, wodurch die erforderliche Neubaulänge in Wasserschutzgebieten weiter zunehmen würde (LUA SL 2006).

Analog hierzu wird der jährliche Gesamtneubaubedarf von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten in Bayern insgesamt auf rd. 126 km geschätzt, wovon rd. 98 km in Wasserschutzzone III (rd. 4,2 % der Landesfläche) und rd. 28 km in Wasserschutzzone II (rd. 1,2 % der Landesfläche) liegen werden (STEIN 2006).

Als Fazit kann aus den Betrachtungen gezogen werden, dass Abwasserkanalbaumaßnahmen in Wasserschutzgebieten auch zukünftig erforderlich sein werden, da sowohl in bestehenden, als auch in geplanten Wasserschutzgebieten die geordnete Ableitung von Abwasser gewährleistet sein muss, wodurch Kanalneubauten zur Sanierung und Erweiterung des bestehenden Kanalnetzes unverzichtbar werden.

1.4 Erfordernis einer differenzierten, fallspezifischen Betrachtung des Gefährdungspotenzials geplanter Abwasserkanalbaumaßnahmen in Wasserschutzgebieten

Betrachtungsziel

Bei der Einschätzung des von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials stellt sich zunächst die grundsätzliche Frage, inwiefern eine fallspezifische Risikobetrachtung erforderlich und zu begründen ist, wo durch das DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) doch klare Angaben zum Schutzanspruch innerhalb der einzelnen Wasserschutzzonen und zum Risiko bestimmter Handlungen, Einrichtungen und Vorgänge, darunter auch den Bau und Betrieb von Abwasserkanälen, gemacht werden, die den Schluss nahe legen, dass bereits mit dem zugewiesenen Schutzonenstatus unmittelbar bauliche Anforderungen an einen zu errichtenden Abwasserkanal geknüpft sind.

Es ist zu klären, wie ein einzelfallindividuelles Bewerten des Grundwassergefährdungspotenzials, wie es vom DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002) und vom DWA-Merkblatt M 146 (2004) gefordert wird (vgl. Kap. 1.2), und wie es Aufgabe und Ziel des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Expertensystems ist, fachlich-wissenschaftlich zu begründen ist, wobei es herauszustellen gilt, in welchen Fällen und innerhalb welcher Grenzen ein entsprechendes Vorgehen zulässig ist und warum dieses einer pauschalisierten Gefährdungseinschätzung in jedem Fall vorzuziehen ist.

In Fachkreisen wird mitunter kontrovers diskutiert, wie vor dem Hintergrund der im DVGW-Arbeitsblatt W 101 angeführten Nutzungsrestriktionen, real gegebenen und nicht zu vermeidenden potenziellen Grundwassergefährdungen innerhalb eines Wassergewinnungsgebietes insbesondere durch Tiefbaumaßnahmen zu begegnen ist und wie diese hinsichtlich ihres Risikos einzustufen sind. Insbesondere die Wasserschutzzone II zeigt sich hier als Gegenstand unterschiedlicher Auffassungen, während die Ansichten bezüglich einer differenzierten Betrachtung die Wasserschutzzone III betreffend weitaus weniger unterschiedlich sind.

Vermutlich auch deshalb konnte sich eine an der 10-Tage-Fließzeit-Isochrone orientierte Untergliederung der Wasserschutzzone II, wie sie zeitweilig vorgeschlagen wurde (EAfU 1977; BOLSENKÖTTER 1984), nicht durchsetzen. Innerhalb der Wasserschutzzone III wurde eine räumliche Differenzierung nie derart strittig diskutiert. Die Möglichkeit, bei ausgedehnten Einzugsgebieten in einem Abstand von 2 km zur Fassung eine Unterteilung in die Schutzonen III A und III B mit entsprechend abgestuften Nutzungsbeschränkungen durchzuführen, ist allgemein anerkannt, wenn bestimmte Aspekte bezüglich Strömungsgeschwindigkeit und Grundwasserüberdeckung berücksichtigt werden (DVGW 2006; ECKL 1995).

Erfordernis einer fallspezifischen Betrachtung

Die Untergliederung eines Wasserschutzgebietes in die Wasserschutzzonen I, II und III (vgl. Kap. 1.1) sowie die in der jeweils gebietspezifischen Schutzgebietsverordnung konkretisierten Ausführungen hinsichtlich gefährlicher Raumnutzungen legen den Schluss nahe, dass die Schutzzoneneinteilung selbst bereits für eine Aussage zur Grundwassergefährdung in Bezug auf die geplante Errichtung eines Abwasserkanals ausreichen könnte. Träfe dies zu, wäre eine differenzierte Einzelfallbetrachtung mit Berücksichtigung örtlich unterschiedlicher bauwerks- und untergrundspezifischer Abwägungskriterien im Hinblick auf das von der Abwasserdurchleitung ausgehende Grundwassergefährdungspotenzial und das daran anzupassende Kanalbauwerks weitgehend überflüssig, da das Risiko für das Grundwasser durch den Schutzonenstatus bereits definiert und die bauliche Gestaltung des Abwasserkanals, allen voran die Wahl des Ableitungssystems, terminiert wäre.

Ein derartiger Argumentationsansatz zeigt sich allenfalls scheinbar konform mit dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006), welches, wie in Kap. 1.2 dargestellt, in seiner Auflistung potenzieller Gefährdungen in Trinkwasserschutzgebieten

den Bau und Betrieb von Abwasserkanälen und -leitungen innerhalb einer Wasserschutzzone II als „sehr hohes“ und innerhalb einer Wasserschutzzone III als „hohes Gefährdungspotenzial“ anführt. Gelte diese Gefährdungseinschätzung uneingeschränkt, wäre in einer Wasserschutzzone II in jedem Fall und unabhängig von den lokalen Gegebenheiten sowie der technischen Gestaltung des Kanalbauwerks, ein besonders hohes und damit höheres Gefährdungspotenzial gegeben als in einer Wasserschutzzone III.

Die Gefährdungseinstufung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 darf jedoch nicht als unveränderlich verstanden werden, sondern ist als eine vorsorgliche Worst-Case-Einstufung⁴ zu sehen, die sich in Abhängigkeit von der standortspezifischen Abwägung gefährdungsbeeinflussender Faktoren im betroffenen Wasserschutzgebiet und von dem vom Arbeitsblatt bei der Festlegung verbotener oder beschränkter Raumnutzungen eingeräumten „Ermessensspielraum“ verändern kann. Daher spricht das DVGW-Arbeitsblatt W 101 in seiner aktuellen Fassung aus dem Jahr 2006 nicht mehr von grundsätzlich „gefährliche[n] Handlungen, Einrichtungen und Vorgänge[n] in den Schutzzonen“ wie noch in der Fassung von 1995, sondern von „Handlungen, Einrichtungen und Vorgänge[n] mit Prüfungs- und Regelungsbedarf“. Damit wird die fallspezifische Bewertung potenziell grundwassergefährdender Raumnutzungen betont.

Pauschalisierte Betrachtungen, welche die potenzielle Gefährdung durch eine Abwasserkanalisation alleinig an der betroffenen Wasserschutzzone festmachen und keine darüber hinaus gehenden bauwerks-, bauausführungs- und untergrundspezifischen Gegebenheiten berücksichtigen, werden der realen Situation in einem Wasserschutzgebiet nicht gerecht. Bei der Bemessung eines Wasserschutzgebietes zielt die Betrachtung untergrund- und einzugsgebietspezifischer Gegebenheiten auf den allgemeinen Grundwasserschutz ab, nicht aber auf ein spezielles Vorhaben, wie z.B. eine Abwasserdurchleitung, bei dem eine andere Gewichtung einzelner Beurteilungskriterien für die Bewer-

tung des Grundwassergefährdungspotenzials erforderlich sein kann und zusätzliche, u.a. bauwerksspezifische Aspekte bei der Situationsbewertung zu berücksichtigen sind.

Hierzu werden weiter unten (vgl. Abb. 6, Abb. 7 und Abb. 8) verschiedene, dem Verfasser bekannte Beispiele diskutiert, die vielfach zu belegende Realsituationen widerspiegeln.

Wenn eine generalisierte Gefährdungszuweisung für eine Aussage zum Gefährdungspotenzial einer Abwasserdurchleitung nicht ausreicht, resultiert hieraus, dass eine differenzierte Berücksichtigung detaillierter gebiets- und vorhabensspezifischer Einflussgrößen unverzichtbar ist. Das vom Bau und Betrieb eines Abwasserkanals in einem Wasserschutzgebiet ausgehende Risiko für das Grundwasser wird durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren und Randbedingungen bestimmt, welche die baulich-technische Ausführung und den Betrieb des Abwasserkanals sowie die Sensibilität des Untergrundes und die Gefährdungsanfälligkeit des Grundwassers gegenüber möglichen kanalbürtigen Stoffeinträgen umfassen. Diese Risikokomponenten gestalten sich in ihrer Kombination und ihrem Zusammenwirken örtlich unterschiedlich. Ausgenommen von einer entsprechend differenzierten Betrachtung ist dabei aus Sicherheitsgründen die Wasserschutzzone I, auf die daher nicht weiter eingegangen werden muss.

Je nach örtlicher Konstellation gefährdungsbewertungsrelevanter Einflüsse kann es im Vergleich zu der Worst-Case-Einstufung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 durch risikomindernde Gegebenheiten in Bezug auf den Aufbau und die Eigenschaften des Untergrundes sowie die geplante baulich-technische Umsetzung des Kanalbauwerks zu einer weniger kritischen, wie auch bei entsprechend risikoverschärfenden Bedingungen, zu einer kritischeren Gefährdungseinschätzung in einzelnen Wasserschutz-zonen kommen.

Es ist demnach möglich, dass der Bau und Betrieb eines Abwasserkanals in einer Wasserschutzzone II nicht als „sehr hohes“ Gefährdungspotenzial, sondern „nur“ als „hohes“ oder gar „weniger hohes“ Gefährdungspotenzial ein-

⁴ nicht zwangsweise jedoch Worst-Case-Einstufung (vgl. nachfolgende Ausführungen im Text)

gestuft wird (Better-Case bzw. Best-Case) und in einer Wasserschutzzone III nicht als „hohes“ Gefährdungspotenzial, sondern als lediglich „weniger hohes“ Gefährdungspotenzial anzusehen ist (Best-Case). Umgekehrt kann jedoch die situationspezifische Abwägung auch zum Ergebnis kommen, dass eine Abwasserkanalisation in einer Wasserschutzzone III keine „hohe“, sondern sogar eine „sehr hohe“ Gefährdung darstellt (Worst-Case)⁵.

Es ist somit nicht grundsätzlich in jeder Wasserschutzzone II oder jeder Wasserschutzzone III von der gleichen Gefährlichkeit einer Abwasserdurchleitung auszugehen. Unterschiedliche Untergrundempfindlichkeiten und Kanalausführungen bedingen unterschiedliche Gefährdungseinschätzungen. Das DWA-Arbeitsblatt A 142 merkt hierzu an, dass „in unmittelbarer Nähe zur Grenze der Schutzzone II oder bei großflächig sensiblen Untergrundverhältnissen [...] im Einzelfall ähnliche oder gleiche bauliche Anforderungen [an eine Abwasserkanalisation] wie in der Schutzzone II angebracht sein“ können. Weiter führt das Arbeitsblatt an, dass innerhalb einer Wasserschutzzone III „in der Regel“ einwandige Abwasserkanäle und -leitungen entsprechend der einschlägigen Normen und Richtlinien ausreichend [sind], sofern nicht „besondere Situationen“ wie z.B. hydrogeologische Verhältnisse andere Ausführungen verlangen (DWA 2002a). Eben diese Situationen gilt es durch einzelfallspezifische Abwägungen zu erkennen.

Ohne eine differenzierte, fallspezifische Betrachtung einflussnehmender Faktoren bei der Gefährdungseinschätzung würden in der Praxis auch in Fällen, in denen lokale untergrund- oder bauwerksspezifische Gegebenheiten für eine weniger kritische Gefährdungseinstufung sprechen als nach der Worse-Case-Einstufung des DVGW-Arbeitsblattes W 101, zu Empfehlungen hinsichtlich der technischen Ausführung des Abwasserkanals und Umsetzung der Baumaßnahme im Wasserschutzgebiet führen, die aus geowissenschaftlicher Sicht für einen adäquaten

Grundwasserschutz nicht zwingend erforderlich wären und zu einer gegebenenfalls vermeidbaren Erhöhung der Baukosten führen würden.

Ergebnis bei pauschaler Worse-Case-Annahme ohne Prüfung und Abwägung des Ermessensspielraumes wäre z.B. in einer Wasserschutzzone II die arbeitstechnische wie auch finanzielle Maximallösung. Die Wahl des Ableitungssystems und das Maß vorzusehender Sicherungsmaßnahmen während der Bau- und späteren Betriebsphase wären stark eingeschränkt, da höchste Schutzanforderungen vorgegeben und der Ermessensspielraum gering wären. Eine Abwasserdurchleitung durch die Wasserschutzzone II wäre automatisch mit der Forderung verbunden, dass aufwändige Sicherungsmaßnahmen bei Bau, Betrieb, Wartung und Instandsetzung des Abwasserkanalbauwerks erforderlich würden und ein höchstmöglicher Schutzstandard im Hinblick auf das Ableitungssystem zu erfüllen wäre. Dies würde zwangsweise die Wahl eines doppelwandigen Rohrsystems, Vakuumsystems und/oder den Einbau eines kontinuierlichen Lecküberwachungssystems nach sich ziehen (vgl. Kap. 1.2).

Hinsichtlich der Forderung nach einer fallspezifischen Grundwassergefährdungsbetrachtung innerhalb eines Wasserschutzgebietes ist zu betonen, dass sich diese grundsätzlich nicht nur auf die Errichtung von Abwasserkanälen beschränkt, sondern für jegliche baulichen Eingriffe in den Untergrund und potenzielle Beeinflussungen des Grundwassers innerhalb von Wasserschutzzonen gilt, wie sie im DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) in der Aufstellung der Handlungen, Einrichtungen und Vorgänge mit Prüfungs- und Regelungsbedarf innerhalb eines Wasserschutzgebietes angeführt werden.

Gefährdungen des Grundwassers durch Baumaßnahmen wurden u.a. von HÖTZL und EISWIRTH untersucht, auf deren Arbeit ergänzend verwiesen wird (DVWK 1999). Sie betrachten Eingriffe in und Einflüsse auf das Grundwasser u.a. bei der Vorbereitung und Ausführung von Baumaßnahmen wie auch von Bauwerken ausgehende Langzeitwirkungen und Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit durch eingesetzte Baumaterialien und geben Empfehlun-

⁵ z.B. wenn ein Abwasserkanal in der Weiteren Schutzzone sehr tief unter Gelände verlegt werden muss und dadurch bei der Bemessung der Außengrenze der Engeren Schutzzone berücksichtigte, besonders retardierungswirksame Deckschichten signifikant beeinflusst werden

gen zu deren Vorbeugung bzw. Minimierung. Abwasserkanäle werden dabei u.a. auch erwähnt.

Erfordernis einer differenzierten Betrachtung

Sind durch detaillierte Kenntnisse zur Standort- und maßnahmenspezifischen Situation in einem Wasserschutzgebiet die Einflüsse bekannt, welche die potenzielle Grundwassergefährdung und die Grundwasserempfindlichkeit bedingen, wird das von einem geplanten Abwasserkanal ausgehende situationsspezifische Gefährdungspotenzial für das Grundwasser objektiv abschätzbar. Als Folge können an die jeweilige Situation angepasste Empfehlungen zur baulich-technischen Ausführung des Kanalbauwerks und zur Umsetzung der Kanalbaumaßnahme sowie zum Betrieb des Abwasserkanals ausgesprochen sowie Prüfungsbedürfnisse formuliert werden, über die eine Verringerung des Grundwassergefährdungsrisikos möglich werden kann.

Eine differenzierte Einzelfallbetrachtung des Risikos eines potenziell grundwassergefährdenden Eingriffs bzw. einer potenziell grundwassergefährdenden Raumnutzung innerhalb einer Wasserschutzzone II oder III, wie sie die Errichtung und der Betrieb einer Abwasserkanalisation darstellen, d.h. eine gesamtheitliche Situations- und Planungsbetrachtung mit Abwägung aller bewertungsrelevanten Aspekte, ist für das Bewerten und Anpassen einer entsprechenden Maßnahme als zielführender Weg anzusehen. Erforderlich wird ein entsprechend differenziertes Vorgehen aufgrund:

- maßnahmenspezifischer Beweggründe,
- räumlicher Beweggründe,
- formaler Beweggründe.

Maßnahmenspezifische Beweggründe umfassen die Umsetzung der Baumaßnahme einschließlich der baulich-technischen Ausführung des Kanalbauwerks, welche hinsichtlich der Einschätzung des von der Errichtung eines Abwasserkanals ausgehenden Gefährdungspotenzials von unmittelbarer Bedeutung sind. Eine belastbare Aussage zur potenziellen Gefährlich-

keit einer geplanten Abwasserdurchleitung erscheint nur dann möglich, wenn diese die vorgesehene Gestaltung des Kanalbauwerks sowie die Eigenschaften des abzuleitenden Abwassers berücksichtigt, die das von einer Abwasserableitung ausgehende Risiko unmittelbar bedingen.

Räumliche Beweggründe stellen unter Umständen variierende räumliche, insbesondere geologische und hydrogeologische Bedingungen innerhalb der Wasserschutzzone dar, die auf natürlichen Heterogenitäten im Untergrund beruhen, jedoch auch durch anthropogene Eingriffe beeinflusst werden können. Aus ihnen kann eine Erhöhung oder Verringerung der Sensibilität des Grundwassers gegenüber stofflichen Einträgen resultieren. Durch sie sind innerhalb einer Wasserschutzzone unterschiedliche Gefährdungsanfälligkeiten und Empfindlichkeiten des Grundwassers gegenüber Eingriffen in den Untergrund möglich, welche aus Sicht eines Grundwasserschutzes unterschiedliche Anforderungen an Planung, Gestaltung und Umsetzung von Kanal und Baumaßnahme stellen.

Formale Beweggründe berücksichtigen in der Bemessung der Wasserschutzzone gemäß den Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 101 eventuell enthaltene, insbesondere die formale Grenzziehung und die Außenbereiche der Wasserschutzzone II betreffende Sicherheitsreserven, welche aus den Bemessungsrichtlinien selbst oder deren Veränderung und Anpassung im Laufe der Jahre hervorgehen können. Eine differenzierte Betrachtung gewährleistet diesbezüglich eine situationsangepasste Einschätzung der Grundwassersensibilität und des Grundwassergefährdungspotenzials, bei der der Schutzonenstatus als ein, jedoch nicht als das einzig bestimmende Abwägungskriterium Berücksichtigung findet.

Nachfolgend werden zuvor genannten Beweggründe anhand von Detailausführungen und Beispielen näher erläutert:

Maßnahmenspezifische Beweggründe

Die Gefährlichkeit einer Abwasserkanalisation ist unmittelbar von deren baulich-technischer

Gestaltung und der Umsetzung des Vorhabens abhängig. Die diesbezüglichen Einflussgrößen wie u.a. Kanalart, Rohrenweite, Rohrtyp, Gründungstiefe, Haltungslänge, Linienführung und Bauweise sowie Art des abzuleitenden Abwassers besitzen unmittelbaren Einfluss auf das Risiko einer Abwasserableitung innerhalb oder außerhalb von Wassergewinnungsgebieten.

Ein Abwasserkanal großer Nennweite als Beispiel, welcher gewerblich-industrielles Abwasser abführen und in offener Bauweise realisiert werden soll, ist anders zu bewerten als ein kleindimensionierter Abwasserkanal, der ausschließlich häusliches Abwasser ableitet und in geschlossener Bauweise entstehen soll. Von Druckleitungen als weiterem Beispiel geht ein anderes Gefährdungspotenzial aus als von Freispiegelleitungen oder gar Vakuumsystemen.

Pauschalisierte Gefährdungseinschätzungen einer Abwasserableitung ohne die Berücksichtigung entsprechender Bauwerksangaben sind demnach wenig sinnvoll. Bleiben bewertungswichtige bauwerksspezifische Einflussfaktoren unberücksichtigt, können allenfalls, entsprechend dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006), tendenzielle Angaben zur Gefährdungsbewertung gemacht werden. Prinzipiell ist nur eine Aussage zur Sensibilität des Untergrundes respektive des Grundwassers möglich, die jedoch für die Bewertung der Grundwassergefährdung durch eine Abwasserdurchleitung allein nicht ausreicht.

Die Berücksichtigung entsprechender Einflüsse kann aufgrund deren Komplexität in einer einfachen Auflistung, wie sie das DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) hinsichtlich potenzieller Gefährdungen mit Prüfungsbedarf in Trinkwasserschutzgebieten anführt, nicht bewerkstelligt werden, was das Erfordernis einer differenzierten Einzelfallbetrachtung betont und den Verweis des DVGW-Arbeitsblattes W 101 auf das DWA-Arbeitsblatt A 142 begründet (vgl. Kap. 1.2)

In diesem Zusammenhang zu erwähnen ist, dass das DWA-Arbeitsblatt A 142 im Falle von Druckleitungen, gewerblichen und industriellen Abwässern, geringer natürlicher Schutzwirkung des Untergrundes, starken Setzungsbewegun-

gen des Untergrundes sowie Gewässerkreuzungen anführt, dass „generell [...] ein sehr hohes Gefährdungspotenzial gegeben ist“. Diese Einschätzung erscheint vor dem Hintergrund einer vorsorglich pessimistischen Gefährdungsbewertung (Worse- bzw. Worst-Case) zwar nachvollziehbar, wirft jedoch die Frage auf, ob nicht auch Konstellationen vorstellbar sind, bei denen das Zutreffen eines oder gar mehrerer dieser Kriterien nicht auch eine andere Gefährdungseinschätzung zulassen würde. So könnte z.B. eine vorgesehene mineralische Kapselung des Kanalbauwerks durchaus eine weniger kritische Einschätzung begründbar machen.

Einzelnen kritisch zu betrachtende bauwerks- und betriebsspezifische Gegebenheiten im Hinblick auf eine potenzielle Gefährdung von Untergrund und Grundwasser können somit in Kombination mit anderen, risikomindernden Gegebenheiten unter Umständen in ihrer Gefährdungsbewertung anders zu bewerten sein. Um entsprechende Kenntnisse über das Zusammenwirken verschiedener das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser beeinflussender Faktoren zu erhalten, bedarf es zum einen einer detaillierten Fallbetrachtung mit Berücksichtigung möglichst vieler für die Gefährdungseinschätzung relevanter Abwägungskriterien, zum anderen auch der Vernetzung einzelner Einflüsse und der qualifizierten Bewertung ihres Zusammenwirkens.

Räumliche Beweggründe

Aufbau und Eigenschaften des Untergrundes sind natürlichen Unstetigkeiten und Inhomogenitäten unterworfen, die u.a. aus wechselnden Ablagerungs- und Erosionsbedingungen, tektonischen Beeinflussungen sowie anthropogenen Überprägungen wie z.B. durch Abgrabungen hervorgehen. Heterogenitäten im geologischen Aufbau des gesättigten und ungesättigten Untergrundes können daher eine differenzierte Betrachtung innerhalb von Schutzzonen erforderlich machen, da sie im Hinblick auf die Einschätzung des von einer Tiefbaumaßnahme ausgehenden Gefährdungspotenzials für das Grundwasser zu bewertungsrelevanten räumlichen Unterschieden führen können, welche die Überprüfung der geplanten Trassenführung oder

der baulich-technischen Maßnahmenumsetzung sinnvoll werden lassen.

Die verallgemeinerte Aussage, dass eine Gefährdung für das Grundwasser durch einen baulichen Eingriff in den Untergrund oder eine anderweitig potenziell risikobehaftete Raumnutzung mit zunehmendem Abstand des Gefahrenherdes vom Ort der Wassergewinnung abnimmt, wie sie u.a. im DVGW-Arbeitsblatt W 101 in der Fassung von 1995 angeführt wird, kann in dieser Form nicht uneingeschränkt aufrecht erhalten werden.

Sie trifft im Hinblick auf oberflächenbürtige Einträge nur dann zu, wenn im gesamten Einzugsbereich einer Wassergewinnung flächendeckend von einem homogenen Aufbau der Grundwasserüberdeckung und des Grundwasserleiters auszugehen ist und sich somit keine relevanten Unterschiede in der vertikalen Durchlässigkeit der ungesättigten Deckschichten und der horizontalen Durchlässigkeit des gesättigten Grundwasserleiters ergeben, welche sich als signifikant für deren Retardierungsleistung und damit den Schutz des genutzten Grundwassers erweisen könnten. In diesen Fällen ist die Zunahme der Entfernung eines potenziellen Stoffeintrags von einem Wassergewinnungsstandort gleichzusetzen mit einer längeren Verweilzeit im Untergrund und damit auch mit länger wirksam werdenden Retardierungsprozessen. Ausnahmen bilden hier z.B. Karst- und Kluffgrundwasserleiter mit hohen Abstandsgeschwindigkeiten, bei denen sich das Risiko eines Stoffeintrages infolge der geringen Retardierung mit zunehmender Entfernung des Eintrages zur Entnahme nur unwesentlich verringert.

Erweisen sich die grundwasserüberlagernden Deckschichten hinsichtlich ihrer Ausprägung natürlicherweise heterogen oder durch anthropogene Einflüsse nachhaltig verändert, kann aus dem Abstand verschiedener potenzieller oder gegebener Stoffeintragsherde zu einer Wassergewinnung nicht unmittelbar geschlossen werden, welcher für das genutzte Grundwasser ein höheres Risiko darstellt. Ein Stoffeintrag von der Geländeoberfläche bzw. aus Oberflächennähe in einer größeren Entfernung zu einer Wassergewinnung kann sich daher durch-

aus von höherer Relevanz erweisen als ein solcher in geringerem Abstand.

Dennoch werden bei der Bemessung der Wasserschutz-zonen gemäß den Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 101 (2006) verschiedene Abstandskriterien berücksichtigt, wenn es um Mindestanforderungen für die Ausdehnung der Wasserschutz-zonen II und III geht. Diese sollen, auch wenn sie in keinem direkten Bezug zum Aufbau und zu den Eigenschaften des Untergrundes und den dortigen Verweilzeiten stehen, die Gewährleistung von Mindestsicherheiten sicherstellen. Die angeführten Mindestabstände, z.B. hinsichtlich der Ausdehnung einer Wasserschutz-zone II von 100 m bzw. 50 m in besonderen Fällen und 300 m bei Karst- und Kluffgrundwasserleitern mit hohen Abstandsgeschwindigkeiten (vgl. Kap. 1.2), erscheinen dahingehend zwar durchaus diskussionswürdig, haben sich in der Praxis jedoch bewährt, da sie weniger abstrakt als bloße Fließzeitforderungen im Grundwasserleiter und den Deckschichten sind.

Die Gefährlichkeit eines Stoffeintrages in den Untergrund, wie er auch beim Bau und Betrieb von Abwasserkanälen nicht ausgeschlossen werden kann, hängt grundsätzlich u.a. von dessen Aufenthaltsdauer im Untergrund ab, wobei das Grundwassergefährdungspotenzial umgekehrt proportional zu der Verweildauer im ungesättigten und gesättigten Untergrund (belebte und unbelebte Bodenzone, Deckschichten, Grundwasserleiter) abnimmt, die wiederum maßgeblich von der lithologischen Beschaffenheit der zu durchlaufenden Boden- und Gesteinsschichten sowie den dortigen Wasserwegsamkeiten beeinflusst wird.

Je länger ein Stoff die Untergrundmatrix durchläuft, umso länger greifen natürliche chemische, biologische und physikalische bzw. physikalisch-chemische Reinigungsvorgänge, welche durch Verdünnung, Demobilisierung, Umwandlung und Abbau die sogenannte „Natural Attenuation“ bewirken. Hierbei ist neben der Menge insbesondere die Art des eingetragenen Stoffes von Bedeutung, da sich bestimmte Stoffe, wie u.a. hochchlorierte Kohlenwasserstoffe (z.B. Penta-, Hexachlorbenzol), höhermolekulare Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

oder Salze, als schwer abbaubar oder gar persistent erweisen und nur langsam im Untergrund demobilisiert bzw. abgebaut werden oder diesen gar ohne nennenswerte Retardierung durchlaufen, während andere Stoffe, wie u.a. Aliphate (z.B. Kraftstoffe und Heizöl) oder Aromate (z.B. Benzol und Derivate), gut und recht rasch abbaubar sind.

Die Erkenntnisse hinsichtlich der Bedeutung des natürlichen Retardierungsvermögens des Untergrundes, insbesondere der ungesättigten Deckschichten, war Anlass für REHSE (1977) und HÖLTING (1995) sowie u.a. für DOERFLIGER (1998), HEINKELE (2002), ZIELHOFER (2002), GOLDSCHIEDER (2002) und ZWAHLEN (2004) die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung zu quantifizieren und bei der Einschätzung der Sensibilität („Vulnerability“) des Grundwassers bei verschiedenen Grundwasserarten (Poren-, Kluft-, Karstgrundwasser) zu berücksichtigen. Ergänzend hinzu kamen unterschiedliche Arbeiten, welche sich mit Stofftransporten in der ungesättigten Zone befassen, wie u.a. die von FÜRST (1990), REINKEN (2000), SCHNEIDER (2001) und CHRIST (2004).

GRIEBLER (2007) konnte belegen, dass allochthone, d.h. systemfremde Mikroorganismen in Porenaquiferen meist nur über kurze Strecken transportiert werden und rasch durch die „Natural Attenuation“ eliminiert werden, während autochthone, d.h. systemeigene, im Grundwasser ansässige Mikroorganismen wie stygobiontische Bakterien, Flagellaten und Bakteriophagen innerhalb der Untergrundmatrix deutlich bessere Transporteigenschaften besitzen.

Im Nachfolgenden werden drei an reale Gegebenheiten angelehnte Untergrundsituationen innerhalb von Wasserschutzgebieten betrachtet, aus denen die Notwendigkeit einer detaillierten Situationsbetrachtung innerhalb von Wasserschutzzonen offenkundig hervorgeht. Sie zeigen, dass eine einzelfallabhängige wie auch differenzierte Einschätzung der Grundwassersensibilität insbesondere innerhalb einer Wasserschutzzone II, jedoch auch innerhalb einer Wasserschutzzone III, für die Abschätzung des von einer Baumaßnahme ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials erforderlich ist.

In den Beispielen werden natürliche Variabilitäten wie auch anthropogene verursachte Störungen des Untergrundaufbaus berücksichtigt. Es wird darauf eingegangen, welchen Einfluss diese auf die Einschätzung der Grundwassergefährdung besitzen, wobei deutlich wird, dass insbesondere Art, Mächtigkeit und Verbreitung der gemäß DIN 4049-3 (1994) als „Gesteinskörper oberhalb der Grundwasser Oberfläche“ definierten Grundwasserüberdeckung eine besondere Bedeutung zukommt. Sie zeigt sich u.a. mit verantwortlich für die im Weiteren betrachteten, in der Bemessung einer Schutzzone II etwaig enthaltenen Sicherheitsreserven, die bei der Einschätzung des Gefährdungspotenzials einer Abwasserdurchleitung von Belang sein können.

⇒ **Betrachtungsfall 1:**

Retardierungswirksame Deckschichten mit räumlich begrenzter Verbreitung

Infolge günstiger Ausgangsbedingungen wie geringerem Grundwasserflurabstand konzentrieren sich Wassergewinnungsstandorte innerhalb von Mittelgebirgsregionen wie z.B. dem Pfälzerwald oder des Saarlandes vielfach auf die Tallagen kleinerer und mittlerer Fließgewässer, in denen dem Festgesteinsuntergrund Grundwasser über einzelne oder Gruppen teil- oder vollausgebauter Brunnen entnommen wird.

Angenommen wird innerhalb eines entsprechenden Talraumes die Gewinnung von Grundwasser aus einem gut durchlässigen, klüftigen wie auch matrixporösen Sandstein, wie er z.B. linksrheinisch in den Verbreitungsräumen des Mittleren und Unteren Buntsandsteins anzutreffen ist, deren Gesteine als biporöser Porenkluft-Aquifer in Erscheinung treten.

Im Talraum wird der erschlossene Festgesteinsgrundwasserleiter von quartären Lockersedimenten fluviatiler Entstehung überlagert, die einen kiesig-sandigen bis sandig-lehmig-tonigen lithologischen Charakter besitzen. Sie bilden einen geringmächtigen Porenaquifer aus, dessen Verbreitung auf die Talsohle beschränkt bleibt und der zu den Talflanken hin in Abhängigkeit von der morphologischen Ausbildung des

Tals als Auen-, Kerbtal oder Muldental mehr oder minder rasch auskeilt. In dem bzw. den im Tal befindlichen Brunnen sind die alluvialen Sedimente sowie der Aufwitterungsbereich des Festgesteins mittels Verrohrung und Ringraumabdichtung abgesperrt. Das ungespannte Grundwasser des quartären Stockwerkes steht jedoch mit dem häufig halbgespannten Grundwasser des zur Wassergewinnung herangezogenen Festgesteinsgrundwasserleiters über Leakage in hydraulischem Kontakt.

Die Existenz der Auensedimente zeigt sich als unmittelbar relevant für die Beurteilung der Grundwassersensibilität, welche wie angeführt mit entscheidend für die Bewertung der potenziellen Gefährlichkeit eines baulichen Eingriffes in den Untergrund ist. Im Vergleich zur außerhalb des Überflutungskorridors anstehenden Festgesteinsverwitterungszone, welche je nach Talmorphologie an den Hängen nur geringmächtig ist und in steilen Abschnitten sogar gänzlich fehlen kann, sich im Bereich schwach einfallender Talflanken jedoch durchaus mächtiger darstellen kann, erweisen sich die Alluvialsedimente der Talauie durch ihre Bindigkeit und ihren Fein- und Feinstkorngelalt sowie durch oft hohe Anteile organischer Substanz (v.a. subhydrische und semiterrestrische, aber auch terrestrische Humusformen) vielfach als besonders retardierungswirksam und begünstigen daher die Grundwasserabschirmung im Festgestein.

Die Abschirmungswirkung der Festgesteinsverwitterungszone kann auch in Bereichen, in denen diese mächtiger ist, gering bleiben. Sie hängt vom Verwitterungsgrad, der lithologischen Zusammensetzung des aufgearbeiteten Gesteins wie auch von damit in Verbindung stehenden pedologischen Prozessen, wie u.a. der Tonmineralneubildung, ab. Insbesondere bei feinkornarmer, dominant sandig-kiesiger Ausprägung der Festgesteinsverwitterungszone kann diese signifikant höhere vertikale Durchlässigkeiten und damit eine geringere Retardierung aufweisen als die Auensedimente.

Durch die im Talraum häufig halbgespannten Grundwasserdruckverhältnisse im Festgesteinsaquifer kommt es dort zu einer vertikal aufwärts gerichteten Sickerbewegung in den Auenkörper,

die sich bei Brunnenbetrieb in dem Raumabschnitt umkehrt, in dem die entnahmebedingte Grundwasserspiegelabsenkung im Festgestein unter die Basis der Auensedimente absinkt. Außerhalb der Talsohle sind je nach Ausbildung der Festgesteinsdeckschichten freie Grundwasserverhältnisse gegeben.

Bei der angeführten räumlichen Situation stellen Stoffzutritte von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe im Bereich der Talsedimente eine geringere potenzielle Gefährdung für das Grundwasser dar als außerhalb der Aue, auch wenn dortige Einträge weiter vom Ort der Wassergewinnung entfernt sind. Entsprechend geht von baulichen Eingriffen in den Untergrund innerhalb der Aue, solange diese die retardierungswirksamen Deckschichten nicht durchtrennen bzw. soweit abdecken, dass deren Schutzwirkung unzureichend wird, eine geringere Gefährdung für das zur Wassergewinnung genutzte Grundwasser aus als außerhalb der Talsohle.

Verdeutlicht wird dies auch anhand Abb. 6, die zwei Standorte innerhalb einer Wasserschutzzone II darstellt, deren Erstreckung über die Verbreitung der Auensedimente hinaus reicht. Für beide Standorte soll bewertet werden, wie ein etwaiger stofflicher Eintrag von der Oberfläche bzw. aus Oberflächennähe her, wie er beim Bau und Betrieb einer Abwasserkanalisation unter Umständen gegeben sein kann, hinsichtlich der von ihm ausgehenden potenziellen Grundwassergefährdung zu bewerten ist.

Einer der beiden Standorte (Standort 1) befindet sich im Verbreitungsbereich der bindigen Auensedimente, der andere (Standort 2) in größerer Entfernung zur Gewinnungsanlage am Rand des Talraumes außerhalb der alluvialen Ablagerungen. Gemäß der zuvor angeführten Erläuterungen wird deutlich, dass, obwohl beide innerhalb der gleichen Wasserschutzzone liegen, eine unterschiedliche Risikoeinschätzung der beiden Situationen aufgrund unterschiedlicher Untergrundsensibilitäten zwingend notwendig ist, welche nur über eine fallspezifische Betrachtung möglich wird, bei der bewertungsrelevante Einflussgrößen – hier insbesondere die Retardierungsleistung der Deckschichten – differenziert berücksichtigt werden.

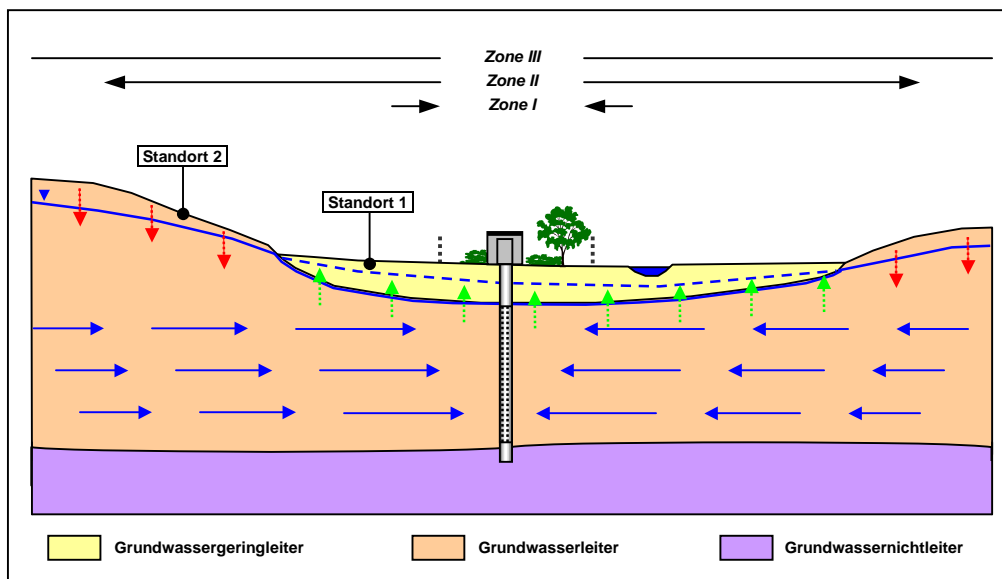


Abb. 6: Retardierungswirksame Deckschichten mit räumlich begrenzter Verbreitung

Durch die Ausbildung retardierungswirksamer Deckschichten im Auenbereich, welche aufgrund geringerer Durchlässigkeiten eine längere Aufenthaltszeit zusickernder Stoffe im Untergrund bis zum Erreichen des Grundwasserleiters gewährleisten, sowie der vorhandenen Grundwasserspannung resultiert am Standort 1 eine bessere Abschirmung des Grundwassers als an Standort 2, an dem signifikant höhere vertikale Durchlässigkeiten sowie freie Grundwasserverhältnisse die Empfindlichkeit des Grundwassers erhöhen. Dabei spielt es unter den gegebenen Bedingungen keine entscheidende Rolle, dass sich Standort 1 näher an der Wassergewinnung befindet als Standort 2.

Eine vergleichbare Situation findet sich beispielsweise im Wassergewinnungsgebiet Trulben der Verbandsgemeindewerke Pirmasens-Land im Tal des Eppenbrunner Baches südwestlich der Stadt Pirmasens im südlichen Pfälzerwald (WOLF 2007a). Die dortige Wassergewinnung, bestehend aus einem Vertikalbrunnen, befindet sich in einem recht schmalen und markant eingetieften Sohlenkerbtal, das im Bereich seiner Sohle eine alluviale Überdeckung von bis zu einigen Metern besitzt.

Zur Anbindung der Ortsentwässerung von Eppenbrunn an eine bestehende Großkläranlage ist die Errichtung eines Abwassersammlers entlang des Talverlaufes bis nahe dem Ort Trulben

vorgesehen, der die Wasserschutzzone II des in der Ausweisung befindlichen Wasserschutzgebietes queren würde und entlang einer am Talrand verlaufenden Landstraße verlegt werden soll. Östlich des Straßenverlaufes ist von einem weitgehenden Fehlen von Auensedimenten und von anstehendem klüftigen Sandstein auszugehen, während westlich auf der dem Brunnen zugewandten Seite der Straße Auensedimente vorhanden sind. Dies ist bei der Planung des Trassenverlaufes sowie der Umsetzung der Maßnahme entsprechend zu berücksichtigen.

Ein anderes räumliches Beispiel, das den Einfluss räumlich wechselnder Deckschichten auf die Empfindlichkeit des Grundwassers belegt, kann innerhalb des niederrheinischen Tertiärs angeführt werden. Die dortige Abfolge von Sanden und Kiesen, welche als ausgesprochen gute Porengrundwasserleiter in Erscheinung treten, wird mehrfach von grundwassernichtleitenden Tonhorizonten unterbrochen, die einen idealtypischen Grundwasserstockwerksbau des Untergrundes bedingen.

Tiefer liegende, zur Wassergewinnung herangezogene Horizonte besitzen hier einen guten Schutz vor oberflächenbürtigen Stoffzusickerungen. Bruchtektonische Verstellungen des Untergrundes in verkippte Schollen und Teilschollen bewirken, dass Horizonte, welche örtlich in mehreren Zehnern von Metern Tiefe anzutreffen sind

und von verschiedenen Tonfolgen überlagert werden, andernorts lediglich von retardierungsschwachen quartären Sedimenten überdeckt an der Oberfläche ausstreichen, wodurch sie anfällig gegenüber stofflichen Zutritten sind.

Eine derartige Situation ist z.B. beim Horizont der Hauptkies-Serie (Schicht 8) gegeben, welcher am Übergang der südöstlichen Erftscholle zur Rheintalscholle bei Heimerzheim nordöstlich von Euskirchen von Brunnen des Wasserversorgungsverbandes Euskirchen-Swisttal ab einer Tiefe von rd. 60 m aufgeschlossen wird. Die Hauptkies-Serie zeigt sich dort von der Rottonfolge (Schicht 9) einschließlich dem Oberen Rotton (Schicht 9A) und dem Unteren Rotton (Schicht 9C) sowie dem Quartär (Schicht 16) überlagert (WOLF 2007b). Bedingt durch das Einfallen des tertiären Schichtpaketes sowie Verstellungen im Bereich des Staffelbruchsystems im Umfeld der Swist-Sprünge streicht die Schicht 8 nordwestlich von Heimerzheim oberflächennah aus, wodurch dort eine deutlich höhere Empfindlichkeit des Grundwassers gegeben ist, als im Umfeld der Brunnen Heimerzheim. Derartige räumliche Besonderheiten sind bei der Bemessung von Wasserschutz zonen und Gefährdungseinschätzungen von baulichen Eingriffen in den Untergrund zu berücksichtigen.

⇒ **Betrachtungsfall 2:**

Retardierungswirksame Deckschichten mit weiträumiger Verbreitung, jedoch natürlich bedingten faziellen Differenzierungen

Auch bei einer weiträumig verbreiteten, gut abschirmenden Grundwasserüberdeckung ist eine differenzierte Einzelfallabwägung der Grundwasserempfindlichkeit bei der Frage nach dem Risiko baulicher Eingriffe in den Untergrund nicht verzichtbar.

Angenommen wird eine Grundwasserförderung aus einem Locker- oder Festgesteinsgrundwasserleiter (Poren-, Kluft- oder Karstaquifer) über einen oder mehrere Vertikalbrunnen, wobei sich die Wassergewinnung nicht in einem Talraum befinden muss. Anders als in Fall 1 sollen im gesamten Wassergewinnungsgebiet retardie-

rungswirksame Deckschichten in einer Mächtigkeit von mindestens einigen Metern durchgängig vorhanden sein, welche eine ähnliche lithologische Beschaffenheit zeigen. Dabei kann es sich um Locker- oder Festgesteinsdeckschichten handeln.

Gemäß der räumlichen Annahmen muss sämtliches Wasser, das dem Grundwasserleiter im Einzugsgebiet der Wassergewinnung über die Grundwasserneubildung zutritt und entnommen wird, die im Gewinnungsgebiet durchgängig ausgebildeten Deckschichten durchlaufen haben. Auch wenn aufgrund der Lithologie der Deckschichten grundsätzlich von einer guten natürlichen Abschirmung vor zusickernden Stoffen von der Oberfläche her oder aus Oberflächennähe ausgegangen werden kann, schließt dies nicht aus, dass es infolge fazieller Differenzierungen innerhalb der Grundwasserüberdeckung an verschiedenen Stellen des Einzugsgebietes zu unterschiedlichen Aufenthaltszeiten innerhalb der das Grundwasser überlagernden Deckschichten kommt.

Diese Differenzierungen im Deckschichtenaufbau können durch natürliche Variabilitäten im Schichtenaufbau und der Schichtenmächtigkeit bedingt werden, welche schwankende und räumlich wechselnde Ablagerungsbedingungen widerspiegeln, oder auf unterschiedliche tektonische Beanspruchungen des Untergrundes und Störungen der Lagerungsverhältnisse zurückzuführen sein können, welche zur Ausbildung bevorzugter Trenngefüge und Wasserleitbahnen führen. So können z.B. den Gesteinsverband durchschlagende Klüfte oder hydraulisch durchlässige Verwerfungen eine teilweise oder gar vollständige Überbrückung retardierungswirksamer Schichten bewirken, wodurch die Aufenthaltszeit zusickernder Stoffe in der ungesättigten Untergrundzone bis zum Erreichen des Grundwasserleiters relevant herabgesetzt werden kann, so dass sich signifikante Unterschiede in der Sensibilität des Untergrundes ergeben.

Entsprechende fazielle Differenzierungen sind bei der Bemessung der Wasserschutz zonen zu berücksichtigen und können die Ausdehnung der Wasserschutzzone II beeinflussen und zu der Entscheidung führen, deren Außengrenze

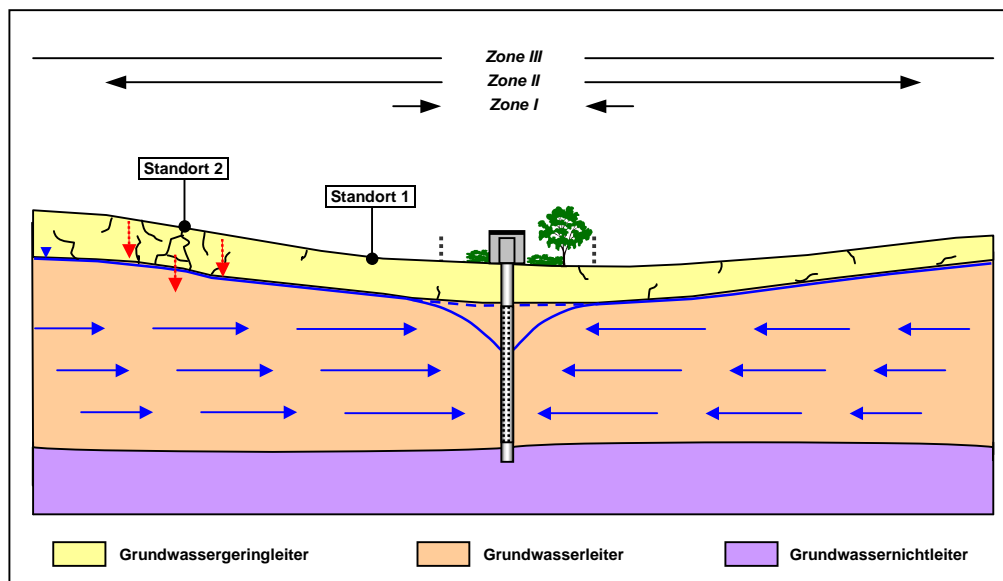


Abb. 7: Retardierungswirksame Deckschichten mit weiträumiger Verbreitung, jedoch starker fazieller Differenzierung

zur Gewährleistung der 50-Tage-Fließzeitforderung innerhalb der Engeren Schutzzone soweit auszudehnen, dass ein sicherer Schutz des zur Trinkwassergewinnung herangezogenen Grundwassers vor pathogenen Mikroorganismen gegeben ist. Lokal können somit innerhalb einer Schutzzone II unter Umständen Verweilzeiten von deutlich mehr als 50 Tagen auftreten, während an anderen Stellen der Engeren Schutzzone, unter Umständen auch in größerer Entfernung zur Grundwasserentnahme, die Aufenthaltsdauer im Untergrund bis zum Erreichen der Wassergewinnung gerade bei 50 Tagen liegt.

Dies belegt zum einen die angeführte Aussage, dass das potenzielle Gefährdungsrisiko von Eingriffen oder Einträgen in den Untergrund nicht zwangsläufig mit größer werdendem Abstand zum Ort der Wassergewinnung hin abnimmt, und bestätigt abermals, dass innerhalb ein und derselben Wasserschutzzone relevante Unterschiede in der Empfindlichkeit des Grundwassers gegeben sein können. Beides betont wiederum die Erfordernis einer fallspezifischen und differenzierten Fallbetrachtung, um entsprechende räumliche Gegebenheiten im Untergrund zu erkennen und folgerichtig zu bewerten. Eine pauschalisierte Gefährdungseinschätzung allein auf Grundlage des Schutzstatus wäre in diesem Fall offenkundig nicht zielführend.

Die dargestellte Situation wird durch Abb. 7 verdeutlicht. Sie zeigt anhand einer Wasserschutzzone II, dass Sickerwässer im größerer Nähe zum Ort der Wassergewinnung (Standort 1) aufgrund geringerer oder fehlender fazieller Differenzierung im Bereich der Deckschichten länger brauchen können, um der Entnahme zuzufließen, als solche, die weiter entfernt in den Untergrund eintreten (Standort 2), wo signifikant höhere Wasserwegsamkeiten infolge z.B. einer tektonischen Zerrüttung gegeben sind. Standort 1 ist damit aus Sicht des Grundwasserschutzes als weniger sensibel anzusehen, obwohl er sich näher an der Wassergewinnung befindet als Standort 2.

Als Beispiel für eine ähnliche Situation können die Gegebenheiten nahe der Ortschaft Eicks in der Nordeifel südwestlich von Euskirchen angeführt werden (WOLF 2004). Im dortigen Mehlenbachtal verfügt die Verbandswasserwerk GmbH Euskirchen über verschiedene Quellen, welche zum Teil zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden. Durch eine im Talverlauf nachgewiesene tektonische Störung werden innerhalb der Grundwasserüberdeckung Wasserwegsamkeiten geschaffen, die einen Zutritt von Sickerwässern in den Grundwasserleiter begünstigen. Dadurch lassen sich im Quellwasser signifikant Nitratwerte nachweisen, die auf den Einsatz von Düngemitteln im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen im näheren und

wirtschaftlichen Nutzflächen im näheren und weiteren Umfeld der Quelfassungen zurückzuführen sind.

⇒ **Betrachtungsfall 3:**

Retardierungswirksame Deckschichten mit weiträumiger Verbreitung, jedoch bereichsweise natürlich oder anthropogen bedingtem Deckschichtenabtrag

Der dritte betrachtete Fall ist zunächst analog zum vorangegangenen zu sehen. Es wird wiederum von einer Grundwassergewinnung aus einem Locker- oder Festgesteinsgrundwasserleiter über einen oder mehrere Vertikalbrunnen unabhängig von der umgebenden Reliefsituation ausgegangen. Erneut wird die weiträumige Ausbildung des Grundwasser gut abschirmender Deckschichten angenommen, die in diesem Fall jedoch aus verschiedenen Gründen, z.B. infolge natürlicher Gewässereinschnitte, anthropogener Abgrabungen oder Abdeckungen, z.B. im Zuge von Verkehrs- oder Versorgungsinfrastrukturbaumaßnahmen bereichsweise verändert, gestört oder verschwunden sind.

Anthropogene Beeinflussungen der Deckschichten innerhalb eines Wasserschutzgebietes sind als potenzielle Gefährdungen mit Prüfungsbedarf zu werten und wo möglich zu vermeiden. Erforderliche Eingriffe wie Schneisen für Verkehrs-, Ver- oder Entsorgungsinfrastruktur sind auf das erforderliche Maß zu reduzieren und die von ihnen ausgehenden Risiken für das Grundwasser durch Sicherungsmaßnahmen wirksam zu verringern (vgl. Kap. 1.1).

Dort, wo retardierungswirksame Deckschichten unterbrochen sind oder fehlen, ist ein erhöhtes Risiko gegenüber Stoffeinträgen und damit eine größere Empfindlichkeit des Grundwassers gegeben. Abb. 8 verdeutlicht dies in einer Grafik. Es wird wiederum deutlich, dass sich innerhalb der gleichen Wasserschutzzone als Folge der bereichsweise aussetzenden oder reduzierten Deckschichten unterschiedliche Grundwasser-sensibilitäten ergeben. Am Standort, der näher an der Wassergewinnung liegt (Standort 1), ist eine geringere Empfindlichkeit des Grundwas-

ers gegenüber Stoffeinträgen gegeben als dort, wo es zu einem natürlichen Fehlen (Standort 2), einem natürlichen Abtrag (Standort 3) oder einem anthropogenen Abdecken (Standort 4) der grundwasserüberlagernden Schichten kommt.

Als Beispiel kann die Situation im Moseltal zwischen Perl und Nennig im nordwestlichen Saarland nahe der Grenze zu Luxemburg angeführt werden (WOLF 2005). Dort gewinnt die Gemeinde Perl Trinkwasser aus mehreren Vertikalbrunnen, in deren Umfeld die als Grundwasserleiter herangezogenen klüftig-verkarsteten Karbonatgesteine des Oberen Muschelkalks von bis zu mehr als 20 m mächtigen tonig-mergeligen Ablagerungen des Unteren Keupers überdeckt werden.

Letztere machen aufgrund ihrer guten Abschirmung die Ausweisung einer Wasserschutzzone II im Umfeld der Brunnen entbehrlich. Allerdings wird im Schutzgebietsgutachten in Anlehnung an das DVGW-Arbeitsblatt W 101 in der zum Zeitpunkt der Bearbeitung gültigen Fassung von 1995 vorgeschlagen, weiter entfernt zu den Brunnen liegende Taleinschnitte innerhalb der Wasserschutzzone III, in denen die hochretardierenden Keupersedimente vollständig abgetragen sind, als in sich geschlossene Wasserschutzzone II auszuweisen, da dort eine erhöhte Gefahr besteht, dass stoffliche Einträge in den verkarsteten Untergrund zu einer relevanten Beeinflussung des genutzten Grundwassers führen.

Formale Beweggründe

Die Zonen eines Wasserschutzgebietes für Trinkwasser sind grundsätzlich so zu dimensionieren, dass ein Schutz des zur Gewinnung herangezogenen Grundwassers vor nachteiligen Veränderungen sichergestellt wird (vgl. Kap. 1.1). Infolge der Tatsache, dass viele der Bemessung zugrunde liegende Ausgangsgrößen wie u.a. Grundwasserströmungsverhältnisse, hydraulische Parameter und Aufenthaltszeiten im Untergrund durch räumliche Variabilitäten nur näherungsweise zu bestimmen sind, sind bei der Wasserschutzzonebemessung bestehende Unsicherheiten vorsorglich zu berücksichtigen.

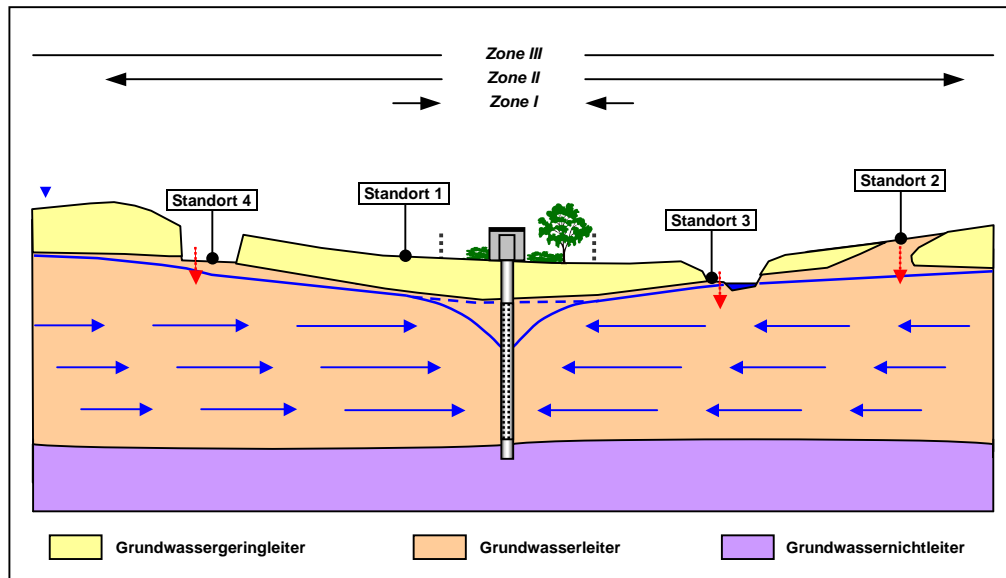


Abb. 8: Retardierungswirksame Deckschichten mit weiträumiger Verbreitung, jedoch bereichsweise natürlich oder anthropogen bedingtem Deckschichtenabtrag

Dazu „ist in fachlich begründbarem Maße mit entsprechenden Sicherheitszuschlägen zu arbeiten“ (ECKL 1995), besonders wenn Schutz-zonen aufgrund allgemein hydrogeologischer Annahmen und in Ermangelung detaillierter standortspezifischer Kenntnisse festgelegt werden müssen. Im Besonderen, jedoch nicht ausschließlich, gilt dies für Karst- und Kluftaquifere, die hohe Abstandsgeschwindigkeiten aufweisen.

BOLSENKÖTTER (1984) führt an, dass in manchen Fällen eine vorsorglich größere Auslegung von Wasserschutz-zonen sinnvoll sein kann, da spätere Schutzgebietsvergrößerungen z.B. bei erhöhten Entnahmen vielfach nicht mehr realisierbar sind. Eine Verkleinerung kann gegebenenfalls dann erfolgen, wenn im Laufe der Zeit gewonnene Betriebserfahrungen oder weiterführende hydrogeologische Erkenntnisse vorliegen. Dies kann z.B. dazu führen, dass die reale Fließzeit bis zum Erreichen der Wassergewinnung in Außenbereichen einer Wasserschutz-zone II mehr als die geforderten 50 Tage beträgt, was wiederum Auswirkungen auf die Gefährdungsbewertung von Eingriffen in den Untergrund und die erforderliche baulich-technische Ausführung eines Abwasserkanals hat.

Etwaige in einer Schutz-zonendimensionierung enthaltene Sicherheitsreserven, welche für die fallspezifische Beurteilung des Grundwasserge-

fährdungspotenzials von Belang sein können, können auch durch die der Bemessung zugrunde liegenden Richtlinien begründet sein. Wie die vorangegangenen Ausführungen zeigen, besitzen insbesondere die grundwasserüberlagernden Deckschichten maßgeblichen Einfluss auf die Empfindlichkeit des Grundwassers und damit die Einschätzung des von baulichen Eingriffen in den Untergrund ausgehenden Risikos. Die Bedeutung der Deckschichten für den Grundwasserschutz ist daher auch bei der Bemessung von Wasserschutz-zonen besonders zu berücksichtigen und stellt bei der Ausweisung der Wasserschutz-zone II und der etwaigen Unterteilung einer Wasserschutz-zone III eine bedeutende Einflussgröße dar. Das DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) führt diesbezüglich an, dass „wegen der Schutzbedürftigkeit des Grundwasserleiters und unter Berücksichtigung des erhöhten Reinigungsvermögens der ungesättigten Bodenzone [...] der Schutzwirkung der grundwasserüberdeckenden Schichten eine besondere Bedeutung zuzumessen“ ist.

Die Ermittlung des Bedeutungseinflusses der natürlichen Deckschichten ist dabei, wie verschiedene Verfahren u.a. von HÖLTING (1995), REHSE (1977) und HEINKELE (2002) zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung und damit der Sensibilität und Empfindlichkeit des Grundwassers zeigen, als komple-

xes System von zahlreichen Faktoren abhängig. Diesbezüglich zeigen sich insbesondere die nutzbare Feldkapazität der Bodenzone, die petrographische Ausbildung und Mächtigkeit der darunter folgenden Locker- und/oder Festgesteinsschichten, etwaig bestehende Trenngefüge als bevorzugte Wasserwegsamkeiten sowie die die Sickerwassermenge beeinflussende Grundwasserneubildung, die Grundwasserspannung und ein eventueller Grundwasserstockwerksbau von Relevanz (REHSE 1995).

Als wesentliche Anhaltspunkte für eine geringe Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung können grundsätzlich u.a. ein geringer Abstand zwischen Stoffeintrag, d.h. im Falle eines Abwasserkanals der Kanalsohle, und dem Grundwasserspiegel sowie relevant geklüftetes bzw. verkarstetes Festgestein oder Lockergesteine wie Kiese und Grobsande mit hoher Durchlässigkeit angeführt werden (DWA 2002a).

Im Laufe der Zeit wurden mit den Überarbeitungen des DVGW-Arbeitsblattes W 101 als Grundlage für die Abgrenzung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser (vgl. Kap. 1.1) auch die Richtlinien zur Bemessung der Schutzzonen fortgeschrieben und angepasst. Insbesondere in den beiden letzten Überarbeitungen des Arbeitsblattes 1995 und 2006 wurde die Bedeutung der Grundwasserüberdeckung bei der Festlegung der Wasserschutzzonen II und III betont. Als Folge hieraus ist das Schutzvermögen etwaiger retardierungswirksamer Deckschichten bei der Bemessung der Wasserschutzzonen in jedem Fall zu berücksichtigen. Die Schutzfunktion der gesättigten Untergrundzone wird bereits in der zonalen Schutzgebietsgliederung berücksichtigt (DVGW 2006).

Grundsätzlich bezieht sich die 50-Tage-Fließzeit-Forderung als Grenzkriterium für die Engere Schutzzone gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) auf „Grundwasser“, demnach auf das im gesättigten Untergrund befindliche Wasser gemäß DIN 4049-3 (1994). „Nicht in Rechnung gestellt wird dabei die Verweildauer während der vertikalen Durchsickerung der ungesättigten Zone“ (BOLSENKÖTTER 1984). Wasser, das durch die Deckschichten dem Grundwasser Zutritt, stellt definitionsgemäß „Sickerwasser“ dar, wel-

ches vom Grundwasser zu unterscheiden ist und erst dann zu Grundwasser wird, wenn es die Wasseroberfläche des zusammenhängend wassererfüllten Grundwasserleiters erreicht hat.

Streng genommen wäre demnach die Außengrenze einer Wasserschutzzone II unabhängig von den Deckschichten alleinig an der Aufenthaltszeit im Grundwasserleiter festzumachen. Dies würde der Retardierung der grundwasserüberlagernden Deckschichten jedoch nicht gerecht, denen eine wesentliche Rolle beim Schutz vor Stoffeinträgen zukommt, welche von der Geländeoberfläche oder – wie im Falle von Abwasserkanälen – aus Oberflächennähe erfolgen und die sich bedeutender für den Grundwasserschutz darstellen können als Prozesse innerhalb des Grundwasserleiters.

Um eine wirksame und gleichzeitig nicht überdimensionierte Wasserschutzzone II zu gewährleisten, wurde die Möglichkeit eingeräumt, bei deren Bemessung „die Reinigungswirkung dieses Sickerbereichs bei günstigen Überdeckungsverhältnissen zu berücksichtigen“ (BOLSENKÖTTER 1984). Das DVGW-Arbeitsblatt W 101 spricht seit 1995 vom erweiterten Begriff des „genutzten Grundwassers“, auf das sich die Fließzeitforderung von 50 Tagen bezieht, ohne diesen Begriff jedoch zu definieren. Im weitesten Sinne kann darunter auch das die Deckschichten durchlaufende Wasser gefasst werden, das zwar noch kein Grundwasser im formalen Sinne darstellt, jedoch zu solchem wird, wenn es die Deckschichten durchlaufen hat.

Die Retardierung der Grundwasserüberdeckung stellt damit ein zulässiges Mittel zur Anpassung respektive zur Verkleinerung der Engeren Schutzzone dar. Hierzu erfolgt eine Aufteilung der an der Außengrenze einer Wasserschutzzone II geforderten Fließzeit von 50 Tagen in eine horizontale und eine vertikale Fließkomponente. Ein dem Grundwasserleiter von der Erdoberfläche bzw. aus Oberflächennähe zusickernder Stoff benötigt in Abhängigkeit von Art, Mächtigkeit und Verbreitung der Deckschichten zunächst eine gewisse Zeit, um den ungesättigten Untergrund vertikal zu durchlaufen, ehe er im gesättigten Untergrund dem hydraulischen Gefälle folgend mehr oder minder horizontal der

Grundwasserentnahme zuströmt. Die zur Retardierung zur Verfügung stehende Zeit setzt sich damit aus der Zeit t_{ver} für den Durchlauf der Deckschichten und der Zeit t_{hor} für den Aufenthalt im Grundwasserleiter zusammen, für die an der Außengrenze der Wasserschutzzone II die Mindestanforderung gelten muss:

$$t_{ver} + t_{hor} = 50 \text{ d}$$

Durch Berücksichtigung der vertikalen Sickerzeit kann bei retardierungswirksamen Deckschichten die erforderliche Restaufenthaltszeit im Grundwasserleiter reduziert und dadurch die Lage der Schutzzonengrenze II zur Wassergewinnung hin verlagert werden. Um fazielle Differenzierungen und Heterogenitäten im Deckschichtenaufbau gerecht zu werden, dürfen sicherheitshalber die obersten Meter der Grundwasserüberdeckung bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden. Sie bleiben bei der Schutzzonengrenze II zur Wassergewinnung hin verlagert werden. Um fazielle Differenzierungen und Heterogenitäten im Deckschichtenaufbau gerecht zu werden, dürfen sicherheitshalber die obersten Meter der Grundwasserüberdeckung bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden. Sie bleiben bei der Schutzzonengrenze II zur Wassergewinnung hin verlagert werden. Dies gewährleistet eine zusätzliche Sicherheit.

Zur objektiven Bewertung der Reinigungsleistung der Deckschichten und einer damit verbundenen Aussage, inwieweit eine Verlagerung der Außengrenze der Wasserschutzzone II zur Fassung hin statthaft erscheint, kann sich der bereits erwähnten Arbeit von REHSE (1977) bedient werden, die für Deckschichten aus Lockergestein als grundlegend anzusehen ist. Sie wird von BOLSENKÖTTER (1984) auf Festgesteinsdeckschichten übertragen. Beide ermitteln aus dem Schichtenaufbau der ungesättigten Zone einen Summenwert für die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung (und damit die Sensibilität des Grundwassers), der aus Mächtigkeit und Art der Gesteinsschichten oberhalb des Grundwasserspiegels hervorgeht. Hierdurch lassen sich grundsätzliche Aussagen zur Retardierungsleistung einer Grundwasserüberdeckung machen. Bei komplexerem und heterogenem Untergrundaufbau sind andere Verfahren wie z.B. die von HÖLTING (1995) und HEINKELE (2002) vergleichend heranzuziehen.

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$Rd = h_1 \cdot I_1 + h_2 \cdot I_2 + \dots + h_n \cdot I_n \quad [-]$$

wobei Rd der dimensionslosen Retardierungswirkung der Grundwasserüberdeckung entspricht, $h_{1...n}$ der Mächtigkeit der anzutreffenden Schichten 1 bis n und I einem Dimensionierungsindex, der sich bei Lockergesteinen aus dem reziproken Wert ($I = 1/H$), bei Festgesteinen aus dem halben reziproken Wert ($I = 0,5/H$) der für Elimination und Abbau ausreichenden Mächtigkeit H der betreffenden Boden- bzw. Gesteinsart ergibt, die Tab. 1 zu entnehmen ist.

Tab. 1: Dimensionierungsindizes zur Berechnung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung (in Anlehnung an BOLSENKÖTTER 1984, verändert)

Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung		
Lockergesteine		
Gesteinsart	H [m]	I [$1/m$]
Humus	1,2	0,80
Ton ohne Risse; toniger Schluff; stark toniger Sand	2,0	0,50
toniger Schluff bis Schluff	2,5	0,40
Schluff; schluffiger Sand; Sand mit wenig Schluff und Ton	3,0 - 4,5	0,33 - 0,22
Fein- bis Mittelsand	6,0	0,17
Mittel- bis Grobsand	10,0	0,10
Grobsand	15,0	0,07
schluffiger Kies mit reichlich Sand und Ton	8,0	0,13
leicht schluffiger Kies mit viel Sand	12,0	0,08
Fein- bis Mittelkies mit reichlich Sand	25,0	0,04
Mittel- bis Grobkies mit wenig Sand	35,0	0,03
Steine mit wenig Kies und Sand	50,0	0,02
Festgestein ⁶		
Gesteinsart	H [m]	I [$1/m$]
Diabas, Mergelstein	10	0,05
Sandstein mit Tonsteinzwischenlagen, Ton- und Glimmerschiefer, Phyllit	20	0,025
Basalt und andere Vulkanite	30	0,017
Grauwacken, Arkosen, schluffig und tonig gebundener Sandstein	50	0,01
Granit, Granodiorit, Diorit, Syenit	70	0,007
Quarzit, stark kieseliger Sandstein, Kieselschiefer	100	0,005
Marmor, reiner Kalkstein	200	0,0025

Die nach Berücksichtigung der Reinigungsleistung erforderliche restliche Aufenthaltszeit im

⁶ bei starker Klüftung sollte für die Reinigungswirkung der Index I des nächst schlechter reinigenden Gesteins berücksichtigt werden

Grundwasserleiter zur Einhaltung der 50 Tage-Fließzeit-Forderung und damit zur Festlegung der Außengrenze der Wasserschutzzone II leitet sich bei einer Grundwasserüberdeckung aus Lockergestein aus der Gleichung:

$$t_{hor} = 50 \cdot (1 - Rd) \quad [d]$$

ab. Nimmt Rd einen Wert $\geq 1,0$ an, so kann davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Schutzwirkung der Deckschichten vorliegt und einer Reinigung im Grundwasser nach einer Aufenthaltszeit von 50 Tagen entspricht.

Die Ausweisung einer Wasserschutzzone II wäre demnach theoretisch nicht erforderlich, erweist sich in der Praxis jedoch in vielen Fällen dennoch als sinnvoll. Dadurch kann der Wirkung etwaiger Unstetigkeiten und Inhomogenitäten im Untergrundaufbau vorgebeugt werden, welche gegebenenfalls nicht bekannt sind oder ermittelbar waren und daher bei der Deckschichtenbewertung keine Berücksichtigung finden konnten und unter Umständen zu bereichsweise ungünstigeren Schutzwirkungen führen könnten.

Bei einer Grundwasserüberdeckung aus Festgestein ist der Einfluss möglicher Trenngefüge zu bedenken. Insbesondere bei größeren Kluftweiten und hohem Sickerwasseranfall können unter Umständen Reinigungswirkungen, die aufgrund der lithologisch-petrographischen Beschaffenheit des Festgesteins zu erwarten wären, herabgesetzt werden. Daher wird von BOLSSENKÖTTER (1984) vorgeschlagen, einer klüftigen Festgesteinsüberdeckung einen maximal erreichbaren Reinigungsgrad von $Rd = 0,5$ zuzuerkennen, „um selbst bei örtlich ungünstigen Kluftverhältnissen als Sicherheit noch eine zusätzliche Reinigung bei der anschließenden horizontalen Fließbewegung [im Grundwasserleiter] zu behalten“. Somit ist bei einer klüftigen Grundwasserüberdeckung eine maximale Verkleinerung der Wasserschutzzone II um die Hälfte bis zur 25 Tage-Isochrone möglich:

$$t_{hor} = 50 \cdot (1 - 0,5) = 25 \text{ d}$$

für $Rd = 0,5$

Das DVGW-Arbeitsblatt W 101 in seiner aktuellen Fassung (2006) gibt hinsichtlich eines even-

tuellen Verzichtes auf eine Wasserschutzzone II vor (vgl. Kap. 1.1), dass diese nur dann entfallen darf, wenn von der 50-Tage-Linie bis zur Wassergewinnung eine „sehr gering durchlässige“ Grundwasserüberdeckung⁷ mit einer durchgehenden Mächtigkeit⁸ von mindestens 5 m verbreitet ist. Sollte diese Forderung nicht erfüllt werden, ist eine Verkleinerung der Wasserschutzzone II bis auf eine Entfernung von 50 m zum Ort der Wassergewinnung möglich, wenn durchgehend „gering durchlässige“ Deckschichten⁹ in einer Mindestmächtigkeit¹⁰ von 5 m verbreitet sind und auch bei „hydrologischen Extremsituationen“ eine Aufenthaltszeit von mindestens 50 Tagen bis zum Erreichen der Grundwasserentnahme gewährleistet ist. Ein Verzicht auf eine Wasserschutzzone II ist auch dann möglich, wenn ein Grundwasserstockwerksbau gegeben ist, der „im Absenkungsbereich über eine flächendeckende hydraulisch wirksame Trennschicht über dem Entnahmestockwerk verfügt“ (DVGW 2006).

Auch für eine eventuelle Unterteilung der Weiteren Schutzzone in die Bereiche III A und III B ist der Deckschichtenaufbau neben der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers wichtiges Abgrenzungskriterium. Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) können solche Bereiche des Einzugsgebietes einer Wassergewinnung als Schutzzone III B eingestuft und somit mit geringeren Restriktionen hinsichtlich nicht oder nur beschränkt zulässiger Nutzungen, Handlungen und Einrichtungen versehen werden als eine Schutzzone III A, in denen „der genutzte Grundwasserleiter eine mindestens 8 m mächtige, im Hinblick auf die hydraulische Wirkung ungestörte Grundwasserüberdeckung aus gering durchlässigen Schichten [...] mit geschlossener Verbreitung besitzt“ sowie solche Bereiche, „in denen aus einem tieferen Grundwasserleiter gefördert wird, wobei dieses von einer mindestens 5 m mächtigen gering durchlässigen Schicht [...] überlagert wird“ (DVGW 2006).

⁷ als Definitionskriterium für eine sehr geringe Durchlässigkeit wird ein k_f -Wert $< 10^{-8}$ m/s angeführt

⁸ aus Sicherheitsgründen werden die oberen 4 m der Grundwasserüberdeckung dabei jedoch nicht berücksichtigt

⁹ als Definitionskriterium für eine geringe Durchlässigkeit wird ein k_f -Wert $< 10^{-6}$ m/s angeführt

¹⁰ auch hier bleiben die oberen 4 m der Grundwasserüberdeckung unberücksichtigt

Die Deckschichtenausbildung hat, wie damit deutlich wird, unmittelbaren Einfluss auf die Dimensionierung der Wasserschutz-zonen. Infolge der im Laufe der Zeit fortgeschriebenen und zum Teil veränderten Vorgaben im Hinblick auf die Berücksichtigung eben dieser Grundwasserüberdeckung bei der Schutzzonenbemessung, wird der Deckschichtenaufbau in bestehenden Wasserschutzgebietsausweisungen in unterschiedlichem Umfang berücksichtigt. Hieraus können Sicherheitsreserven resultieren, die bei der Gefährdungsbewertung eines baulichen Eingriffs in den Untergrund innerhalb des Wasserschutzgebietes einen Spielraum bei der technischen-baulichen Umsetzung der Maßnahme ermöglichen können.

Es ist nicht auszuschließen, dass bei ausgewiesene Wasserschutz-zonen, welche nach den Maßgaben älterer Fassungen des DVGW-Arbeitsblattes W 101 vor 1995 ausgewiesen wurden, eine neuerliche Bemessungsüberprüfung nach dem aktuellen technischen Regelwerk zu einer veränderten und unter Umständen bereichsweise weniger kritischen Bemessung führen würde. Dies erscheint insbesondere bei der Wasserschutzzone II interessant. Es ist denkbar, dass Außenbereiche einer bestehenden Engeren Schutzzone bei einer Bemessung nach heutigen Maßstäben mit Berücksichtigung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung bereits als Schutzzone III eingestuft würden.

Die Grenzziehungen bestehender Wasserschutzgebiete und die Qualität älterer Schutzgebietsgutachten sollen dadurch keineswegs in Frage gestellt werden, vielmehr soll aufgezeigt werden, dass sich durch mit der Zeit veränderte Bemessungsrichtlinien und insbesondere durch neue Erkenntnisse im Hinblick auf die „Natural Attenuation“ der ungesättigten Untergrundzone gegebenenfalls veränderte Bemessungen rechtfertigen lassen. Es ist dabei im Einzelfall zu prüfen, ob für ein Wasserschutzgebiet ein entsprechender Sicherheitspuffer besteht und inwiefern dieser in Bezug auf die Gefährdungseinschätzung einer konkret geplanten baulichen Maßnahme von Relevanz ist.

Im Hinblick auf diese etwaigen Sicherheitsreserven stellt sich die Frage, inwiefern entsprechen-

de Reserven die Einschätzung des Grundwasser-gefährdungspotenzials in einer Schutzzone II durch die Errichtung und den Betrieb einer Abwasserkanalisation relevant beeinflussen können. Hierzu werden drei Betrachtungsfälle angeführt, aus denen sich unterschiedliche Bewertungsspielräume ableiten lassen:

⇒ **Betrachtungsfall 1:**

Die Bemessung des Wasserschutzgebietes erfolgte nach den Richtlinien des DVGW-Arbeitsblattes W 101 in dessen aktueller (2006) bzw. vorangegangener Fassung (1995).

Es liegt damit ein Schutzgebietsgutachten vor, das alle einflussnehmenden räumlichen Aspekte im Wassergewinnungsgebiet berücksichtigt und auf detaillierte wie auch belastbare Kenntnisse zur hydrogeologischen Situation aufbaut.

Im angenommenen Fall sollte der bestehende Bewertungsspielraum eigentlich klein und ein möglicher Sicherheitspuffer gering sein. Durch die Erhebung und Auswertung der Daten auf Grundlage des aktuellen Kenntnis- und Meinungsstands und das darauf aufbauende Schutzgebietsgutachten sollte davon ausgegangen werden, dass alle relevanten Komponenten, insbesondere auch die Deckschichtensituation, in adäquatem Maße in der Schutzzonendimensionierung Berücksichtigung gefunden haben.

Sicherheitsreserven beschränken sich auf die oberen Meter der Grundwasserüberdeckung, die bei der Ermittlung deren Schutzwirkung nicht berücksichtigt werden dürfen. Sie besitzen für die Abschirmung des Grundwassers dennoch eine große Bedeutung. Gemäß der aktuellen Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 (2006) sowie BOLSENKÖTTER (1984) sind die obersten 4 m aus der bemessungsrelevanten Deckschichtenbetrachtung herauszunehmen. In der Vorgängerfassung des Arbeitsblattes wurden diesbezüglich die oberen 6 m angeführt (DVGW 1995). Eben diese 4 bzw. 6 m stellen die Sicherheitsreserve für die Betrachtung der Gefährdungsempfindlichkeit dar.

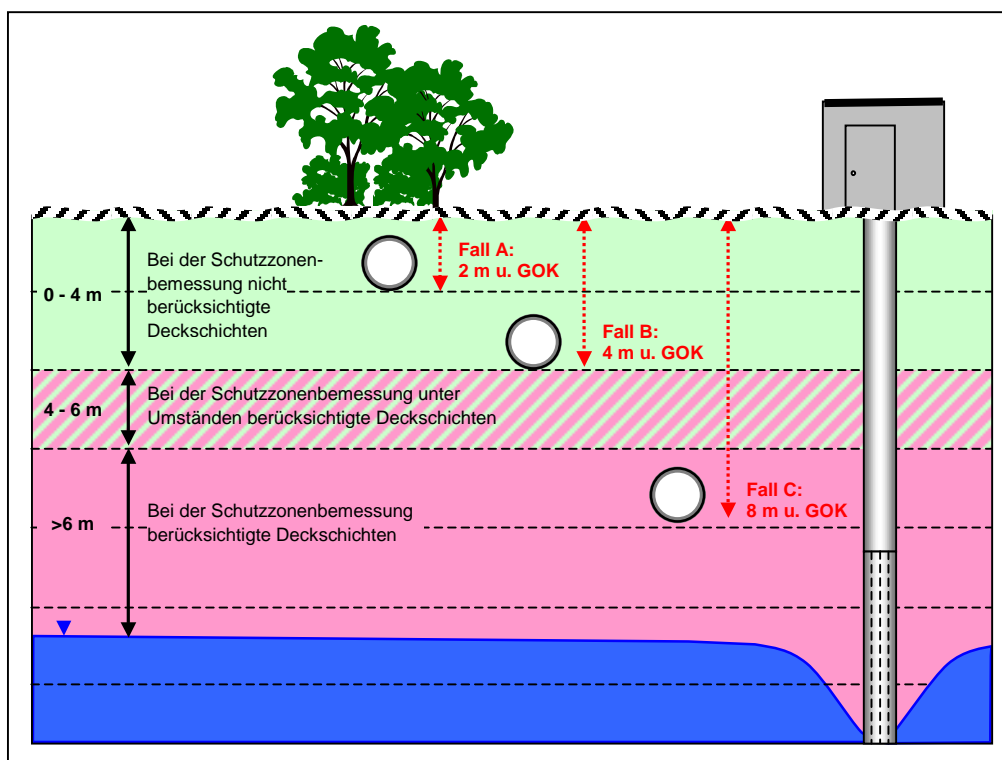


Abb. 9: Verschiedene Kanalbettungstiefen im Hinblick auf etwaig aus der Schutzzonendimensionierung abzuleitende Sicherheitsreserven

Sie dürfen zwar in der Bemessung der Schutzzonengrenzung keine Berücksichtigung finden, können aber in die Betrachtung des zu erwartenden Gefährdungspotenzials bei der Errichtung eines geplanten Abwasserkanals mit einfließen. Ein Sicherheitspuffer ergibt sich demnach dann, wenn der Kanal innerhalb des von der Betrachtung ausgenommenen Bereiches der Grundwasserüberdeckung geführt werden soll, d.h. in einer Tiefe von weniger als 4 m bzw. weniger als 6 m.

Abb. 9 zeigt unterschiedliche Einbindungstiefen von Abwasserkanälen innerhalb einer Wasserschutzzone II. Es wird davon ausgegangen, dass die oberen 4 m der Grundwasserüberdeckung bei der Schutzzonendimensionierung nicht berücksichtigt wurden, wie es vom aktuellen DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) gefordert wird.

Lediglich in Fall A, bei dem der Abwasserkanal 2 m unter Gelände geführt wird, kann von einer Sicherheitsreserve bei der Betrachtung der potenziellen Gefährdungswirkung ausgegangen werden, da nur hier der Kanal innerhalb der

nicht betrachteten oberen 4 m der Grundwasserüberdeckung verläuft.

Dies bedeutet, dass die verbleibenden 2 m unter Kanalsohle, die nicht mit in die Bemessung der Schutzgebietsgrenze einbezogen werden, als zusätzliche Sicherheit zu betrachten sind. Zwar kann anhand der Verlegetiefe eine Aussage zum Vorhandensein, nicht jedoch zur Wirksamkeit eines entsprechenden Puffers in Bezug auf eine Schutzhöhe und damit Empfindlichkeitsverringern des Grundwassers gemacht werden, da hierzu ein Miteinbeziehen des Aufbaus und der Eigenschaften der entsprechenden Schichten erfolgen muss, jedoch ist eine grundsätzliche Sicherheitsreserve gegeben.

Anders ist dies in Fall B, bei dem der Abwasserkanal in 4 m unter Gelände geführt wird. Die hier verbleibenden Deckschichten unter der Kanalsohle sind bei der Schutzzonendimensionierung bereits berücksichtigt. Es ergibt sich kein zusätzlicher Sicherheitspuffer. Dieser wäre dann gegeben, wenn gemäß der Vorgängerfassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 (1995) die oberen

6 m der Deckschichten bei der Schutzzonenbemessung unberücksichtigt geblieben wären.

Im dargestellten Fall C, bei dem der Abwasserkanal tiefer verläuft, ist die Situation sogar kritischer zu bewerten, als sie durch die Schutzzonenausweisung zu beurteilen ist. Im Beispielfall stünden die 4 m der in der Dimensionierung der Schutzzone II berücksichtigten Deckschichten im Teufenbereich zwischen 4 und 8 m bei eventuellen Rohrleckagen nicht für den Rückhalt aussickernden Abwassers zur Verfügung, was insbesondere dann als kritisch zu bewerten ist, wenn der Tiefenbereich der Deckschichten zwischen 4 und 8 m für die Retardierungsleistung von besonderer Bedeutung ist und die Bemessung der Zone II mit hohem Gewicht beeinflusst hat wie z.B. eine dichtende Tonschicht.

⇒ **Betrachtungsfall 2:**

Die Bemessung des Wasserschutzgebietes erfolgte ebenfalls nach den Richtlinien des DVGW-Arbeitsblattes W 101 in dessen aktueller (2006) oder vorangegangener Fassung (1995).

Es liegt jedoch ein Schutzgebietsgutachten vor, welches auf eine nur geringe Aufschlussdichte hinsichtlich der bemessungsrelevanten Gegebenheiten zurückgreifen kann, so dass eine zusätzliche Detailbetrachtung der Deckschichten sinnvoll sein kann.

Derartige Gutachten liegen bisweilen dann vor, wenn nur geringe finanzielle Mittel zur Erhebung und Auswertung der Datenbasis und Erstellung des Wasserschutzgebietsgutachtens zur Verfügung standen. Die geringe Aufschlussdichte reicht im Regelfall für eine grundlegende und zielführende Betrachtung im Sinne der zu bearbeitenden Wasserschutzzonenausweisung aus, kann sich jedoch für die detaillierte Untersuchung der Gefährdungsempfindlichkeit des Grundwassers im Einzelnen als erweiterungsbedürftig erweisen.

Dies gilt vor allem auch dann, wenn Grund zur Annahme besteht, dass neue räumliche Er-

kenntnisse seit der Erstellung des Schutzgebietsgutachtens z.B. aus zwischenzeitlich erarbeiteten hydrogeologischen Gutachten, geophysikalischen Untersuchungen, Pump- und Markierungsversuchen an Brunnen und Grundwassermessstellen vorliegen, welche Mitberücksichtigung finden sollen, da sie die zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Schutzgebietsgutachtens bekannten Informationen in relevanter Weise ergänzen und zu einer qualitativen Verbesserung der Kenntnisse führen.

Mögliche Sicherheitsreserven sind hier zum einen analog zum vorangegangenen Betrachtungsfall durch die Tiefenlage des Abwasserkanals gegeben (vgl. Abb. 9), können zum anderen aber auch aus der Überprüfung des Schutzgebietsgutachtens und der Ergänzung der dort berücksichtigten Kenntnisse zur Deckschichtenkonstellation hervorgehen.

⇒ **Betrachtungsfall 3:**

Die Bemessung des Wasserschutzgebietes erfolgte nach den Richtlinien des DVGW-Arbeitsblattes W 101 in einer Fassung von vor 1995.

Die Bedeutung der Grundwasserüberdeckung wurde bei der Bemessung der Wasserschutzzonen unter Umständen nicht oder nicht in adäquater Art und Weise berücksichtigt. Eine ergänzende Betrachtung der Deckschichten erscheint notwendig.

Die als bedeutend herausgestellte Relevanz der Deckschichten für den Grundwasserschutz wurde zwar bereits u.a. in der Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 aus dem Jahr 1975 betont und dabei Faktoren genannt, von denen die Reinigungswirkung im Untergrund beeinflusst wird, jedoch finden sich eine detaillierte Berücksichtigung der Deckschichten und methodische Hinweise zu deren Bewertung erst in späteren Grundlagenuntersuchungen wie u.a. den bereits angeführten von REHSE (1977) und BOLSENKÖTTER (1984), welche erst in der Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 aus dem Jahr 1995 Berücksichtigung fanden.

Bis dato wurden nur recht knapp und allgemein gehaltene Angaben über eine „günstige“, „mittlere“ und „ungünstige Untergrundbeschaffenheit“ und den hierfür erforderlichen Aufbau des Untergrunds gemacht, wobei hierbei nicht nur die Ausbildung der Grundwasserüberdeckung, sondern auch die des Grundwasserleiters mit gefasst wurden (DVGW 1975). In der aktuellen Fassung des DVGW- Arbeitsblattes wurde der Abdruck detaillierter Angaben zur „Berücksichtigung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung“ aus Locker- und Festgesteinen aus der Vorgängerfassung (DVGW 1995) nicht mit übernommen, was als gewisser inhaltlicher Kritikpunkt zu sehen ist.

Hieraus geht hervor, dass Schutzgebietsgutachten, die vor Inkrafttreten der Überarbeitung des DVGW-Arbeitsblattes W 101 von 1995 entstanden sind, aufgrund der weniger präzisen Be-

messungs- und Berücksichtigungsrichtlinien über Sicherheitsreserven verfügen können, die aus dem bestehenden Gutachten nicht hervorgehen. Eine detaillierte Erhebung der Deckschichtensituation nach dem derzeitigen Stand des technischen Regelwerkes kann unter Umständen zu relevanten Sicherheitsreserven bei der Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials führen.

Eine zusätzliche Änderung in den Überarbeitungen des DVGW-Arbeitsblattes W 101 mit möglicher Relevanz, auch für einen begründbaren Bemessungsspielraum, ist die Konkretisierung der Festlegung der Außengrenze der Wasserschutzzone II, die in der Fassung des Arbeitsblattes aus dem Jahr 1975 „etwa“ 50 Tage zu betragen hatte, in der Fassung von 1995 „mindestens“ 50 Tage betragen „sollte“ und aktuell „50 Tage“ umfassen „muss“ (vgl. Kap. 1.1).

1.5 Ziel und Schwerpunkt des der Arbeit zugrunde liegenden Forschungsansatzes und Anwendungsbereich des entwickelten Expertensystems

Ziel der vorliegenden Arbeit

Die Beurteilung des von einer Abwasserkanalisation ausgehenden Gefährdungspotenzials für das Grundwasser sowie die davon abhängige Festlegung der konstruktiven Anforderungen an das Ableitungssystem ist als Aufgabe mit hohem planerischen Aufwand und besonderem Schwierigkeitsgrad anzusehen.

Nicht ausschließlich, aber gerade innerhalb von Wassergewinnungsgebieten, sind Abwasserkanäle baulich so auszuführen, dass das von ihnen ausgehende Gefährdungsrisiko für das Grundwasser möglichst gering bleibt und dadurch geduldet werden kann. Hierzu sind Vorsorge- und Sicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen, welche während der Errichtungs- sowie der späteren Betriebsphase das Grundwasser wirksam und nachhaltig von kanal- oder maßnahmenbürtigen Beeinflussungen schützen. Gleichzeitig sollen auch die für die Realisierung der Maßnahme benötigten finanziellen Mittel auf das erforderliche Maß beschränkt und Investitionen effizient eingesetzt werden.

Wie zuvor eingehend erläutert, ist die Komplexität dieser Fragestellung und das Erfordernis einer spezifischen und differenzierten Einzelfallbetrachtung Grund dafür, dass sich bestehende technische Regelwerke weitgehend auf generelle Richtlinien für die Planung und den Bau von Abwasserkanalisationen in zur Trinkwassergewinnung herangezogenen Gebieten konzentrieren. Sie enthalten Auflagen, Regelungen, Forderungen und Empfehlungen im Hinblick auf die Wahl des Ableitungssystems in Abhängigkeit vom Grundwassergefährdungspotenzial, enthalten jedoch keine gebrauchsfertige, in der Praxis anwendbare Entscheidungshilfe zu dessen individueller, von der örtlichen Situation und der konkreten Planung abhängigen Einschätzung.

Diese Einschätzung stellt jedoch in Bezug auf bauliche Maßnahmen innerhalb von Wassergewinnungsgebieten eine Aufgabe von höchster Wichtigkeit dar und ist im Sinne einer Sensibili-

tätsanalyse Grundlage für eine objektive Bewertung denkbarer konstruktiver Lösungsansätze im Hinblick auf die zu berücksichtigenden vielschichtigen bauwerks- und untergrundspezifischen Randbedingungen. Mit dem erhöhten Sicherheitsanspruch an Baumaßnahmen innerhalb von Wasserschutzgebieten und den einzuhaltenden Auflagen, Schutz- und Vorsorgeanforderungen erhöhen sich Umfang und Schwierigkeitsgrad der Planung und deren Umsetzung. Angestrebte Lösungen sind von planungsbeteiligten Ingenieuren und Geowissenschaftlern hinsichtlich möglicher Risiken für das Grundwasser gesamtheitlich zu betrachten. Nur so kann das Bestmögliche bezüglich Grundwasserschutz und Ökonomie erzielt werden.

Die grundsätzlich gegebene Schutzbedürftigkeit des Grundwassers innerhalb eines Wasserschutzgebietes steht außer Frage, jedoch ist vor dem Hintergrund der Forderung nach einem nachhaltigen Ressourcenschutz und einem effizienten Einsatz öffentlicher Finanzmittel zur Sicherung von Naturgütern herauszustellen, wie hoch innerhalb von Wasserschutzzonen, fernab pauschaler Grobeinschätzungen, das von baulichen Maßnahmen und Einrichtungen wie Abwasserkanälen und -leitungen im Einzelfall wirklich ausgehende Grundwassergefährdungspotenzial einzustufen ist und in welchen Fällen deren Realisierung unter welchen Auflagen zulässig ist. Hierbei muss u.a. geklärt werden, inwiefern das Durchleiten einer Wasserschutzzone eine nur formale Relevanz besitzt oder eine relevante Risikoerhöhung für das Grundwasser darstellt. Ist eine Schutzzonenverletzung als entsprechend relevant anzusehen, ist diese qualitativ einzuordnen. Hierzu ist das interagierende Wirkungsgefüge zwischen Kanal, Untergrund und räumlichem Umfeld zu betrachten.

Hinsichtlich der Zulässigkeit von Abwasserkanälen und -leitungen in Wasserschutzgebieten tragen pauschale Einschätzungen, welche das potenzielle Gefährdungsrisiko für das Schutzgut Grundwasser und damit die erforderliche baulich-konstruktive Ausführung eines Abwasserka-

nals alleinig am Schutzstatus der von der Durchleitung betroffenen Schutzzone festmachen, wie dargestellt (vgl. Kap. 1.4) etwaigen fallspezifischen Bewertungs- und damit Handlungsspielräumen keine Rechnung, welche aus risikoentschärfenden Gegebenheiten im Untergrund resultieren können bzw. unter Umständen in Sicherheitsreserven implementiert sind, die in der Dimensionierung einer Wasserschutzzone enthalten sein können. Eine einzelfallabhängige Betrachtung und Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials ist aus fachlicher Sicht daher unverzichtbar.

Im geltenden Recht, insbesondere in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000), deren Tochterrichtlinie Grundwasser (GWRL 2007) sowie dem Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG 2007) und den darauf aufbauenden Landeswassergesetzen der Bundesländer wird die Aufgabe formuliert, Grundwasser in seiner Qualität zu schützen, zu sichern und nachhaltig zu entwickeln. Dem darüber hinausgehenden besonderen Stellenwert von Wasserschutzgebieten als Gewinnungsräumen für Trinkwasser zur öffentlichen Versorgung ist zu entsprechen. Hierzu ist in Bezug auf den Bau und Betrieb von Abwasserkanälen und -leitungen in Wasserschutzgebieten und die aus einer Raumnutzungsüberlagerung zwischen Wassergewinnung und Siedlungsentwässerung hervorgehenden potenziellen Konflikte (vgl. Kap. 1.1) eine objektive, an nachvollziehbaren Beurteilungskriterien festzumachende und fachlich zu begründende Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser von immenser Bedeutung.

Um den Planungsbeteiligten einer entsprechenden Kanalbaumaßnahme ein anwendbares und praxisnahes methodisches Hilfelinstrument zur transparenten, sachlichen und fachlich gesicherten sowie wirtschaftlich sinnvollen Entscheidungsfindung für Anwender unterschiedlicher Fachrichtungen im Hinblick auf eine fallspezifische, auf die lokalen Untergrundgegebenheiten angepasste Maßnahmenplanung sowie eine wirtschaftliche Realisierung des Abwasserkanalbaus bei gleichzeitiger Gewährleistung eines adäquaten Grundwasserschutzes an die Hand zu geben, wurde im Zuge der vorliegenden Ar-

beit und des damit verbundenen zweiteiligen Forschungs- und Entwicklungsprojektes ein Expertensystem zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von **Abwasserkanälen** in **Wasserschutzgebieten (GRABWAS)** als Entscheidungshilfe entwickelt. Dieses soll das bisherige Fehlen eines nicht nur auf Beispielfälle beschränkten Bewertungs- und Entscheidungshilfesystems mit Passgenauigkeit für möglichst viele Planungsszenarien in Grundwasserschutzgebieten kompensieren und eine zielgerichtete Aussage zum Risiko einer geplanten Abwasserdurchleitung durch ein Wassergewinnungsgebiet ermöglichen.

In dieser Arbeit werden die fachlich-wissenschaftlichen Zusammenhänge erläutert und in Bezug zueinander gesetzt, welche den Aufbau, die Funktion sowie die Ergebnisfindung des Expertensystems GRABWAS definieren und die Programmierschritte für die Umsetzung in eine computergestützte Webapplikation oder Anwendersoftware bilden können. Eine solche könnte Planungs- und Ingenieurbüros, Genehmigungsbehörden, Zweckverbänden, Städten und Kommunen als Entscheidungshilfe dienen und Instrument sein, um fachlich belastbare, grundwasserhygienisch verträgliche und umweltgerechte sowie gleichzeitig kostenminimierende Entscheidungen vorzubereiten, zu begleiten und abzusichern.

„Wenn die Ziele, die mit einer Planung verfolgt werden, nicht dargelegt sind, ist die Begründung für die Planung nicht transparent und es kommt häufig zu vermeidbaren Streitigkeiten bei der Entscheidung und Umsetzung. Mit vielen durchgeführten Maßnahmen ohne zugrundeliegendes Zielsystem werden zwar einzelne Schwierigkeiten beseitigt, dabei bleiben aber viele Lösungen nur Flickwerk“ (SCHOLLES 2006). Das übergeordnete Ziel im vorliegenden Fall ist klar und eindeutig zu definieren:

Gewährleistung eines umfassenden Grundwasserressourcenschutzes bei einer effizienten wie gleichzeitig ökonomisch optimierten Realisierung der Errichtung einer Abwasserkanalisation in einem zur Trinkwassergewinnung herangezogenen Raum.

Schwerpunkt des Forschungsansatzes

Grundlage jeder belastbaren und fachlich begründeten planerischen oder gutachterlichen Entscheidung und jedes Risk-Assessments sind umfangreiche Kenntnisse zu den bestehenden und für die Fragestellung relevanten wissenschaftlichen Zusammenhängen und Abhängigkeiten zwischen den für die Gesamtaussage bedeutsamen Einflussgrößen. Das methodische Vorgehen gliedert sich hierbei in die Identifizierung von Einflussgrößen und Risiken, deren qualitative und wenn möglich quantitative Einschätzung sowie deren Bewertung einschließlich des Managements der sich ergebenden Maßnahmen (OSTERKAMP 1991).

Zur Entwicklung eines auf die Fragestellung angepassten Expertensystems ist daher zunächst die Schaffung eines umfangreichen theoretischen Fundamentes erforderlich, in welchem aktuelle fachwissenschaftliche Literatur berücksichtigt und ausgewertet wird und darauf aufbauend nachvollziehbare Begründungen für verschiedene Argumentationen formuliert sind. Dies ist Voraussetzung für das Finden geeigneter Beurteilungsgrößen, aus deren Abfrage die Ausgangssituation im Planungsraum in Bezug auf die beabsichtigte Baumaßnahme hervorgeht, wobei sowohl umfeld- und untergrundspezifische wie auch bauwerks-, bauausführungs- und betriebsspezifische Kriterien zu berücksichtigen sind. Diese fachlich-wissenschaftlichen Grundlagen stellen den Ausgangspunkt des entwickelten Entscheidungshilfesystems dar.

In der vorliegenden Arbeit werden

- entsprechend Beurteilungskriterien, die sich von Wasserschutzgebiet zu Wasserschutzgebiet und von Planungsfall zu Planungsfall unterschiedlich kombinieren und abhängig von den jeweiligen räumlichen Gegebenheiten und der angestrebten baulich-technischen Umsetzung des Abwasserkanals bzw. der Abwasserleitung gestalten, definiert und
 - hinsichtlich für die Fragestellung bedeutungsvoller Ausprägungen differenziert. Hierbei wird auch berücksichtigt,
- welchen etwaigen Gefährdungseinfluss den berücksichtigten Kriterien und ihren Ausprägungen alleine zukommt, was u.a. für die spätere Definition besonders zu gewichtender Sachverhalte von Bedeutung ist, welche bei der Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von erhöhter Relevanz sind.
 - Die definierten Kriterien sind untereinander zu vernetzen, wobei sich auf entscheidungsrelevante Verknüpfungen zu beschränken ist, um u.a. einen methodisch handhabbaren Betrachtungsrahmen zu gewährleisten.
 - Ausgehend davon werden die möglichen Ausprägungen der einzelnen Abwägungskriterien, d.h. die berücksichtigten Differenzierungsmöglichkeiten hinsichtlich bestehender und ergebnisrelevanter Interaktionen betrachtet, welche unmittelbar oder in ihrer Gewichtung abgestuft zu einer Aussage zur potenziellen Gefährdung des Grundwassers bzw. zur Gefährlichkeit der Abwasserableitung im betrachteten Raum beitragen
 - und/oder aus denen sich fachliche Empfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und gegebenenfalls Modifikation der beabsichtigten Kanalbauplanung im Hinblick auf eine etwaige Reduzierung des Grundwassergefährdungspotenzials ableiten können.
 - Angestrebt wird dadurch eine fachlich begründete Einschätzung des von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme sowie dem späteren Betrieb des Abwasserkanals bzw. der Abwasserleitung ausgehenden gesamtheitlichen Gefährdungspotenzials für die Grundwasserressourcen im von der Durchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet.
 - Ziel ist dabei im Sinne eines Risk-Assessments die Formulierung von Alternativen und Veränderungen zur bis dato bestehenden Kanalbauplanung im Hinblick auf eine aus Sicht des Umweltschutzes Optimierung der Maßnahme vor dem Hintergrund eines effektiven

und ökonomischen Grundwasserschutzes.

- Die Zusammenführung der einzelnen Abwägungskriterien bzw. deren differenzierten Ausprägungen in einer abschließenden Einschätzung zur potenziellen Gefährdungssituation mit
- Formulierung von räumlichen Sensibilitäten und Risiken sowie
- resultierenden Handlungsempfehlungen erfolgt mittels eines spezifischen, hierfür eigens entwickelten und auf das Zusammenwirken der Einflussgrößen abgestimmten Analyse- und Bewertungsalgorithmus, welcher integraler Bestandteil des Expertensystems ist und versucht, kausale, korrelative und koinzidente Zusammenhänge aus geo- und ingenieurwissenschaftlicher Sicht gesamtheitlich zu vereinen, in ihrer Relevanz in Relation zu setzen und im Hinblick auf die Zielvorgabe zu vernetzen.

Geltungsbereich des entwickelten Expertensystems

Wie die Ausführungen des DWA-Arbeitsblattes A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ (DWA 2002a) beziehen sich die Betrachtungen und Empfehlungen innerhalb der vorliegenden Arbeit grundsätzlich auf neue oder durch Neubau zu sanierende Abwasserkanäle und -leitungen im öffentlichen Bereich (Sammler und Hauptsammler). Dabei beschränkt sich die Betrachtung und damit auch

die Passgenauigkeit des entwickelten Expertensystems auf Wasserschutzgebiete für Grundwasser. Wassergewinnungs- bzw. Wasserschutzgebiete für Oberflächenwasser werden nicht berücksichtigt.

Das Expertensystem zielt insbesondere auf eine Anwendung bei bereits festgesetzten oder in der Beantragung befindlichen Wasserschutzgebieten für Grundwasser ab, da bei diesen davon auszugehen ist, dass die zur Systemanwendung erforderlichen räumlichen Detailkenntnisse zum Aufbau und zu den Eigenschaften des Untergrundes vorliegen.

Es kann jedoch dann ebenso auch für Wassergewinnungsgebiete mit noch ausstehendem rechtlich festgesetztem Schutzstatus Anwendung finden, wenn entsprechende Kenntnisse als Grundlage zur Nutzung in ausreichendem und belastbarem Maße vorliegen oder diese vor Anwendung des Systems erhoben wurden, wie z.B. hydrogeologische Betrachtungen zum Verlauf der 50-Tage-Fließzeitisochrone sowie Sensitivitätsanalysen im Hinblick auf Worse-Case- und Worst-Case-Abwägungen (vgl. Kap. 1.4).

Das erarbeitete Expertensystem soll infolge seiner praxisnahen Auslegung eine Passgenauigkeit für möglichst viele Planungsszenarien und Anwendbarkeit für den Verbreitungsraum von Locker- wie auch von Festgesteinen besitzen. Im engeren Sinne ist es auf Kanalbauplanungen abgestimmt, wie sie in Deutschland und vergleichbaren Räumen nach dem hiesigen derzeitigen Stand der Technik üblicherweise erfolgen.

2 Theoretisch-struktureller Ansatz des entwickelten Expertensystems

2.1 Grundsätzliches zur Aufgabe, Bedeutung und Funktion von Expertensystemen als Hilfsinstrument zur Entscheidungsfindung

Aufgabe und Bedeutung von Expertensystemen

Das menschliche Problemlösungsverhalten basiert auf qualitativen Schlussfolgerungen, welche auf individuellen Erfahrungen, bekannten Entscheidungsregeln, Gesetzmäßigkeiten und Definitionen beruhen, über die Fakten und Sachverhalte miteinander kombiniert und zu einer Meinung, einem Urteil oder einer Bewertung zusammengeführt werden. Ein effizientes Nutzbarmachen von fachspezifischem Wissen stellt seit jeher eines der grundlegenden und damit vordringlichsten Ziele des Wissensmanagements dar. Wissen ist als wirtschaftliche Ressource anzusehen, die im Hinblick auf ihre Aneignung, Verwaltung, Vermittlung und Nutzung zu optimieren ist, damit zeitlich ökonomisch und zielführend darauf zurückgegriffen werden kann.

Dem Wissensmanagement („Knowledge Management“) kommt dabei die Aufgabe zu „eine kontinuierliche, räumlich verteilte, nicht ausschließlich auf eine Aufgabe fixierte Verwaltung, d.h. Erfassung, Pflege, Verfügbarmachung von unternehmenskritischen Wissensbeständen, Informationen [und] Daten, die in unterschiedlicher Struktur, d.h. unstrukturiert, semi-formal [oder] formal vorliegen, zu ermöglichen.“ Ziel ist es dabei „individuelles Wissen [...] dauerhaft verfügbar zu machen, [...] vorhandenes Wissen optimal zu nutzen, um die Wertschöpfung [...] zu erhöhen“ (DFKI 2000). Aufgrund der Bedeutung des koordinierten und effizienten Umgangs mit Wissen ist Wissensmanagement als Thematik Schwerpunkt zahlreicher Fachveröffentlichungen, von denen beispielhaft diejenigen von SCHREYÖGG (1996), SCHÜPPEL (1996), PETKOFF (1998) und KARAGIANNIS (2001) genannt werden sollen, auf die weiterführend verwiesen wird.

Expertensysteme („Expert Systems“) stellen als wissensbasierte Systeme Werkzeuge des Wissensmanagements dar, die eine effiziente Nutz-

barmachung spezifischen Wissens ermöglichen und damit als instrumentelle Hilfe bei der Entscheidungsfindung dienen können. LUGER (1989) definiert sie als „knowledge based program that provides expert quality solutions to problems in a specific domain“. JACKSON (1997) sieht Expertensysteme als „Computersysteme, die bestimmte wissensintensive Fachgebiete repräsentieren [...]. Sie sind in der Lage, Schlussfolgerungen zu ziehen, um bestimmte Aufgabenstellungen zu lösen oder Ratschläge zu erteilen“. Sie „unterscheiden sich von herkömmlichen Computerprogrammen in ihrer expliziten Art, Wissen darzustellen und dieses zu verarbeiten. Das Wissen zur Lösung von Problemen eines Themenbereichs kann dadurch breiter verfügbar gemacht werden“ (OSTERKAMP 1991).

Expertensysteme dienen als Unterstützung bei der Entscheidungsfindung und Lösung spezifischer Fragestellungen mit oftmals hochkomplexer Struktur. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen beträchtlichen Bereich menschlichen Fachwissens abdecken können, welcher die Ausgangs- und Bewertungsgrundlage für eine spezifische Ergebnisfindung ist, und haben dabei zum Ziel Aufgaben zu erfüllen, „welche bisher ausschließlich Experten ausgeführt haben. Wesentlich dabei ist die Beschaffung (Akquisition), Darstellung (Repräsentation), Verarbeitung (Manipulation und Evaluation) von Wissen und Erfahrungen“ (HENNING 1985). Damit Expertensysteme als Werkzeug nützlich sind, haben sie hohe Anforderungen an ihre Zuverlässigkeit und Passgenauigkeit zu erfüllen. Lösungen und Ratschläge sind zu erklären und zu rechtfertigen, um den Nutzer zu überzeugen, dass die automatisierten Schlussfolgerungen korrekt und belastbar sind (JACKSON 1997).

Fachspezifische, wissensbasierte Systeme sind als kommerziell vermarktungsfähiger Erfolg des Forschungsgebietes der Künstlichen Intelligenz

(„Artificial intelligence“) anzusehen, die versucht, menschliche Entscheidungsverhalten mit Hilfe informationsverarbeitender Systeme nachzuahmen. Expertensysteme gingen als Konsequenz aus dem Scheitern der Entwicklung eines „General Problem Solvers“ hervor, eines Systems, welches mittels allgemeiner Lösungsansätze menschliche Entscheidungen im Gesamten und nicht nur beschränkt auf spezifische Fragestellungen simulieren sollte.

Es zeigte sich jedoch, dass ein entsprechend universell einsetzbares System die gestellten Erwartungen hinsichtlich der Qualität der Ergebnisaussagen nicht erfüllen kann. Insbesondere in speziellen Anwendungsbereichen erwies sich zum Erhalt belastbarer Ergebnisse eine breitere und tiefergehende, auf die spezielle Anwendungsthematik angepasste Wissensbasis erforderlich, welcher ein Universalsystem nicht gerecht werden konnte. Die Folge war eine Beschränkung auf die Betrachtung spezieller fachspezifischer Fragestellungen und damit die Entwicklung der heute bekannten Expertensysteme (LUGER 1998; POOLE 1998; RUSSEL 1995).

Anwendungsmöglichkeiten für Expertensysteme bestehen insbesondere dort, wo infolge der Vielschichtigkeit von Problemen und/oder der Erfordernis einer raschen adäquaten Lösung Ergebnisse benötigt werden, welche die persönliche Entscheidungsfindung beschleunigen, lenken, konsolidieren oder verifizieren sollen. Anwendbarkeit und Aussagekraft eines Expertensystems sind dabei in der Regel auf eng umgrenzte Fragestellungen beschränkt, da eine für eine automatisierte Umsetzung handhabbare, d.h. formalisierbare und programmierbare Wissensbasis geschaffen werden muss.

Der zum Teil postulierte Vorteil von wissensbasierten Systemen, sie können Experten bei der Entscheidungsfindung gänzlich ersetzen, muss jedoch als Trugschluss angesehen werden. Ein Expertensystem kann als Entscheidungshilfe dienen, darf jedoch nicht als alleinige Entscheidungsgrundlage angesehen werden. Alleine die Frage nach möglichen Folgen wie auch der Haftung bei unreflektiertem Zustimmung und Übernehmen automatisiert getroffener Entscheidungen, welche sich im Nachhinein als nur teil-

richtig oder als unrichtig herausstellen, gebietet ein kritisches Nutzen entsprechender Systeme. Ein Expertensystem ist daher als unterstützendes Instrument anzusehen, das eine Ergebnisfindung vorzeichnen oder absichern kann.

Expertensysteme können als Hilfsinstrument infolge dessen nur einen Aspekt bei der Problemlösung darstellen und grundsätzliche, orientierende und Hilfestellung gebende, meist qualitative Aussagen geben bzw. der Verifizierung bereits bestehender Meinungen dienen. Durch ein Expertensystem gelieferte Ergebnisse und vorgeschlagene Entscheidungen müssen vom Nutzer stets kritisch bezüglich ihrer letztendlichen Passgenauigkeit auf den speziellen Einzelfall abgewogen werden. Expertensysteme können und dürfen eine gesamtheitliche, gutachterliche Situationsbewertung nie gänzlich ersetzen.

Für einen zielführenden Einsatz sollten entsprechende Systeme daher nur von Anwendern genutzt werden, welche mit der zu betrachtenden Fragestellung ausreichend vertraut sind und denen themen- sowie einzelfallspezifische Sensibilitäten bekannt sind. Bei mit der Fragestellung unzureichend vertrauten Anwendern besteht die Gefahr, dass aus einem unreflektierten Zurateziehen eines Expertensystems, insbesondere bei lücken- oder gar zweifelhaften Kenntnissen zur Ausgangslage, ein pseudogenaues Ergebnis hervorgeht, welches sich infolge auf Unwissenheit beruhender ungenauer, lückenhafter oder falsch gefolgter Annahmen als nicht bzw. nicht ausreichend belastbar oder gar als falsch herausstellen kann.

AMELINGMEYER und STRAHRINGER (1999) beschäftigen sich ausführlich mit Expertensystemen und führen an, dass diese zwar zu den Technologien zählen, welchen man intuitiv eine hohe Relevanz bei wissenschaftlichen Fragestellungen einräumt, dass sich ihre Bedeutung in der Praxis jedoch als unterschiedlich erweist. Sie stellen fest, dass Potenziale von Expertensystemen in realisierten Anwendungen oft nur teilweise zum Tragen kommen. Trotz Optimierungsmöglichkeiten bieten Expertensysteme jedoch bei komplexen Fragestellungen, z.T. auch in Überschneidung verschiedener Fachgebiete, wertvolle Hilfe bei Entscheidungsfindungen.

Funktion und Struktur von Expertensystemen

Ein entscheidendes Merkmal von Expertensystemen ist, dass die verwendeten Lösungswege zur Entscheidungsfindung speziell auf die Fragestellung und den Anwendungsbezug des Systems angepasst sind. Während bei konventionellen Programmprogrammierungen der Ablaufcode festgelegt ist, zeigt sich dieser bei Expertensystemen dynamisch und abhängig von den zugeführten zu betrachtenden Daten, die über im System definierte Regelbeziehungen verschiedene Programmstrukturen miteinander verbinden (YATABE 1987).

Expertensysteme sind darauf ausgelegt, ausgehend von Falldaten, die durch den Nutzer eingespeist werden, über systematische Analysen zu einer qualitativen und gegebenenfalls quantitativen Bewertung der Daten zu kommen, welche der Zielsetzung und Auslegung des Systems entsprechende Konsequenzen, meist Empfehlungen, nach sich ziehen. Basis der Datenanalyse bildet dabei das eingespeiste Fachwissen in Form von Fakten und definierten Wirkungsbeziehungen, das als umfangreiches fachwissenschaftliches Wissensgerüst Funktion und Ergebnisfindung des Systems bestimmt. Es beruht auf Erfahrungen und Beobachtungen der Fachwelt (Empirie), Schlussfolgerungen vom Allgemeinen zum Speziellen (Deduktion) und dem Bestreben, die Komplexität der Fragestellung mit Hilfe möglichst einfachen Regelbeziehungen und einer Konzentration auf wenige prägnante und entscheidungsrelevante Informationen abzubilden (Heuristik). Diese sollen sich gegenseitig ergänzen, stützen und verifizieren.

Eines der Auszeichnungskriterien von Expertensystemen ist dabei insbesondere die Angabe des Entscheidungs- und Lösungsweges, welche zu dem automatisiert gelieferten Ergebnis führt. Dies soll die Transparenz der Ergebnisfindung gewährleisten, was die Akzeptanz beim Nutzer gegenüber der Entscheidungsfindung erhöht (BEIERLE 2000). Grundsätzlich lassen sich fall- und regelbasierte Expertensysteme unterscheiden. Erstere betrachten Analogien zwischen der zu betrachteten Fragestellung und einer im System berücksichtigten Falldatenbasis, für die Lösungsvorschläge vorliegen, so dass übertragba-

re Schlussfolgerungen möglich sind, aus denen sich Lösungen für die betrachtete Fragestellung ergeben. Kernpunkt fallbasierter Expertensysteme stellen die Definition und die Erkennung der Ähnlichkeit von Fällen dar und damit die Übertragbarkeit im System berücksichtigter Lösungsvorschläge auf konkrete Anwendungssituationen. Entsprechende Expertensysteme sind u.a. in der Medizin vielfach verbreitet, wo ausgehend von Krankheitssymptomen eine Diagnose und damit eine Medikation abgeleitet wird.

Im Gegensatz dazu gründen regelbasierte Expertensysteme auf festgelegten Relationen und Bedingungen, welche einen bestimmten Sachverhalt mit einer oder mehreren daraus hervorgehenden Einschätzungen verknüpft. Die Ergebnisfindung wird unmittelbar von der Kombination gegebener Sachverhalte im konkreten Betrachtungsfall bedingt. Die Aufstellung der berücksichtigten Gesetzmäßigkeiten zur Informationsverknüpfung erfolgt durch einen Fachexperten, welcher die wissenschaftlichen Grundlagen des Expertensystems entwickelt und ergebnisrelevante Zusammenhänge ausarbeitet.

Regelbasierte Expertensysteme finden u.a. Verbreitung in den Geowissenschaften. Als Beispiele können Systeme zur Beurteilung von Altlasten, z.B. von GREWING (1994) oder OSTERKAMP (1991), wie auch zum Grundwasserschutz im ländlichen Raum von COLLET (1999) oder zur Zeitbeständigkeit von Brunnen von WAGNER (2003) angeführt werden. Eine umfangreiche Aufstellung wissenschaftlicher Systeme für unterschiedliche geowissenschaftliche Fragestellungen und deren mögliche Kategorisierung macht OSTERKAMP (1991).

Manche Expertensysteme berücksichtigen zur Optimierung der Ergebnisfindung auch systemimmanente Lernprozesse, welche aus der Anwendung des Expertensystems hervorgehen und dessen Passgenauigkeit verbessern sollen. Dabei steht dem Nutzer eine „intelligente Benutzerschnittstelle“ (OSTERKAMP 1991) zur Verfügung, welche es ermöglicht, Wissen zu ergänzen, zu verändern oder zu entfernen. Dies setzt jedoch voraus, dass die dem Expertensystem zugrunde liegende Problemstellung sowie der strukturelle Aufbau und die systemspezifischen

Eigenschaften des Expertensystems entsprechende Lernprozesse möglich bzw. sinnvoll werden lassen. Meist ist eine derartige Lernfähigkeit nur bei recht überschaubaren Fragestellungen umsetzbar, da ein über das bloße Aufnehmen von Fakten hinausgehendes Aneignen und Anwenden von Wissen durch kognitives Lernen nicht automatisierbar ist.

Zentraler Punkt bei der Entwicklung von Expertensystemen stellt die Erhebung, Aufbereitung und Strukturierung problemspezifischen Wissens dar („Knowledge Engineering“), d.h. die Bereitstellung, Verfügbar- und Nutzbarmachung des Fach- und Expertenwissens für die Ergebnisfindung und die Abbildung des menschlichen Problemlösungsverhaltens. Strukturell setzen sich Expertensysteme in Anlehnung an NIKOLOPOULOS (1997) aus verschiedenen Modulen zusammen, welche im Gesamten die **Wissensbasis** („Knowledge Base“) repräsentieren, die als das dem Expertensystem und dessen Ergebnisfindung zugrunde liegende fachwissenschaftliche Wissen die elementare Grundlage des Entscheidungshilfesystems darstellt und damit Aufbau und Funktion des Systems definiert. Zu diesen Systemkomponenten zählen (vgl. Abb. 10):

- Die **Wissensaufnahme**, d.h. für die Entscheidungsfindung relevante fachinhaltliche Aussagen und Wertungen, welche durch den an der Entwicklung beteiligten Experten erfolgt. Sie ist als Schnittstelle zu sehen, an der fachspezifische Fakten in das System integriert werden;
- die **Inferenzmaschine** als dem systemspezifischen Algorithmus zur Ergebnisfindung, welcher als integraler Bestandteil der Wissensbasis aussagerelevante Vernetzungen definiert und diese über logische, rechnerische oder verbalargumentative Schlussfolgerungen induktiver, deduktiver oder abduktiver Art zu einer Gesamtaussage verknüpft. Sie stellt das Bindeglied zwischen dem im System integrierten Fachwissen und den fallspezifischen Nutzerangaben dar und soll zu einer automatisierten Ergebnisaussage führen, welche soweit wie möglich mit derjenigen eines menschlichen Experten übereinstimmt. Die Inferenzmaschine wird meist durch eine Computersoftware repräsentiert;

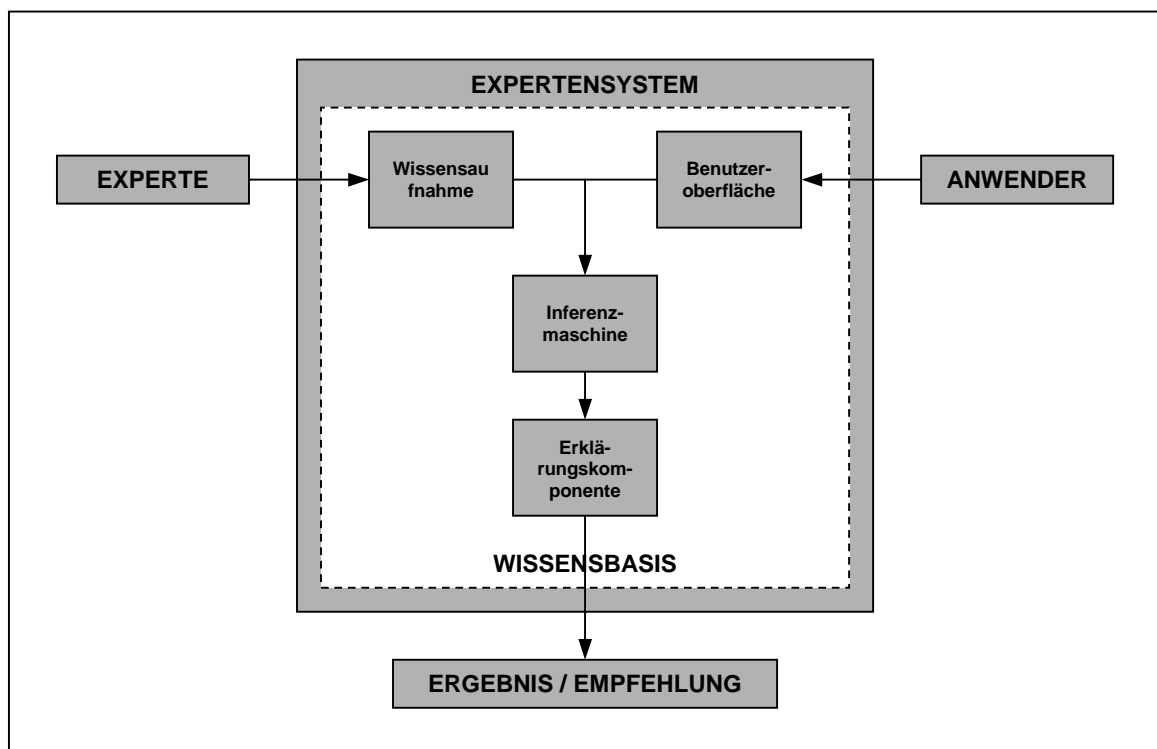


Abb. 10: Aufbau und strukturelle Module eines Expertensystems (in Anlehnung an NIKOLOPOULOS 1997)

- die **Benutzeroberfläche**, welche dem Anwender die Eingabe der zu Bewertung der fallspezifischen Situation erforderlichen Daten als Grundlage für die Ergebnisfindung und die daraus hervorgehenden Empfehlungen ermöglicht und die Bedienung des Expertensystems durch den Nutzer lenkt;
- sowie die **Erklärungskomponente**, die die Entscheidungsfindung im betrachteten Fall verbal erläutert und textlich begründet, wie die fallspezifischen Anwenderdaten zur Ausgangssituation mit dem im System integrierten Fachwissen als Bewertungsgrundlage über die Inferenzmaschine als Bindeglied zwischen Ausgangssituation, fachlicher Bewertungsgrundlage und Entscheidung zu dem erzielten Ergebnis führt.

Die Wissensbasis beinhaltet das benötigte fachspezifische Wissen des Experten („Control Knowledge“), das zur Auswertung des Fachwissens erforderlich ist. Die Qualität eines Expertensystems bzw. dessen gelieferter Ergebnisse ist damit unmittelbar von der Qualität des eingespeisten Expertenwissens abhängig. Wichtig ist daher, dass die Wissensbasis auf objektiven, nachvollziehbaren und anerkannten Maßstäben beruht. Subjektive Einflüsse auf die Entscheidungsfindung, welche auf persönlichen Erfahrungen des Experten beruhen, können jedoch ebenso mit in die Entscheidungsfindung einfließen, wenn sie begründbar und nachzuvollziehen sind und nicht auf Willkür oder nachlässiger Recherche beruhen. Um die Akzeptanz der Ergebnisfindung zu gewährleisten ist es erforderlich, das implizierte Expertenwissen für den Anwender transparent zu gestalten, damit dieser die zum Ergebnis führenden Entscheidungswege nachvollziehen kann.

Damit das eingespeiste Wissen maschinell verarbeitbar wird, ist dessen Überführung in eine im System zu speichernde und für einen Computer zu verarbeitende Form erforderlich. Das Problem der Wissensrepräsentation („Knowledge Representation“), d.h. der formalisierten Darstellung von Wissen in zur automatisierten Verarbeitung geeigneter Art und Weise, stellt eine der

größten Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Expertensystemen dar. Sie erfordert, die Realität zu abstrahieren und diese durch abstrakte Vereinfachung auf ihre Kernbestandteile zu konzentrieren. Dazu sind entscheidungsrelevante Zusammenhänge und Lösungswege herauszuarbeiten und zu definieren, über die die Zielsetzung erreicht werden kann. Je komplexer die Fragestellung und je zahlreicher die zu beachtenden, entscheidungsrelevanten Einflüsse und Wirkungsverknüpfungen, desto schwieriger sind Repräsentation und Verarbeitung des Wissens und damit die Problemabwägung und Entscheidungsfindung mittels zu definierender Verknüpfungsoperationen und Analysewege.

Vielfach ist mit der Generalisierung, welche bei der Transformation von Fachwissen in eine für ein Expertensystem fassbare Form erforderlich wird, ein nicht zu vermeidender Verlust an Informationen verbunden. Wichtig bei der Wissensrepräsentation ist daher, dass analytisch und entscheidungsrelevante Informationen hervorgehoben werden, die Verarbeitung des Wissens für das System bei gleichzeitiger Wahrung der Präzision der Ergebnisfindung erleichtert und das erzielte Resultat für den Anwender verständlich und auf das Wesentliche konzentriert wiedergegeben wird.

Die Repräsentation von Wissen durch Künstliche Intelligenz kann mittels verschiedener Methoden erfolgen, die darauf abzielen, zugrunde liegendes Wissen zu formalisieren und zu kombinieren. Von diesen Methoden stellen Regeln die am weitesten verbreitete Art und Weise dar, Wissen in Expertensystemen zu repräsentieren. Über eine Bedingungsverkettung von Fakten werden Ereignisse simuliert, denen eine regelhafte Schlussfolgerung zugeordnet wird. Regeln setzen sich aus einer Bedingung und einer Aktion zusammen, welche beim fallspezifischen Zutreffen einer Bedingung aus dieser als Konsequenz resultiert.

Daneben existieren u.a. Wissensnetze (semantische Netze), logische Ausdrücke und „Frames“ als weitere Methoden der Wissensrepräsentation. Eine ausführliche Diskussion verschiedener methodischer Ansätze im Hinblick auf ihre Bedeutung für Expertensysteme führt OSTERKAMP

(1991) an. In wissensbasierten Systemen zum Einsatz kommende Strukturen und Algorithmen stellt zudem BEIERLE (2000) zusammen.

Die Wissensverarbeitung kann auf Grundlage datengesteuerter oder zielgesteuerter Inferenzen erfolgen, wobei Folgeschlüsse aus bekannten Fakten abzuleiten sind. Beim „Forward Chaining“ erfolgt eine Vorwärtsverkettung, die denkbare Variationen und Verknüpfungen der Ausgangsdaten betrachtet und diesen Konsequenzen, z.B. Wertungen und/oder Empfehlungen, zuordnet. Das Ziel der Betrachtung wird demnach aus den Daten konstruiert. Bei einer hohen Zahl von Kombinationsmöglichkeiten der Ausgangsdaten erweist sich ein Vorwärtsverketteten als sehr aufwändig und stößt oft an die Grenzen der Umsetzbarkeit, da die Zahl zu berücksichtigender Verkettungen aufwandstechnisch nicht zu bewältigen ist und resultierende Konsequenzen im Vorhinein in Zahl und Nuancierung nicht oder nur schwer abgeschätzt werden können.

Beim „Backward Chaining“ erfolgt eine zielgesteuerte Rückwärtsverkettung, die ausgehend von einer zuvor festgelegten Zahl von Konsequenzen, Konstellationen von Ausgangsdaten sucht, welche zu der entsprechenden Konsequenz führen. Das Ziel der Betrachtung wird demnach vom Entwickler des Expertensystems vorgegeben. Auf diesem Weg ist es meist einfacher, Datenverknüpfungen, welche ohne besondere Relevanz für die Ergebnisfindung sind, als solche zu identifizieren. „Die Rückwärtsverkettung wird durch eine Zielvorgabe in Gang gesetzt. Dabei wird anhand der Wenn-Aussage der Regel überprüft, ob das Ziel erfüllt ist“ (OSTERKAMP 1991). Expertensysteme mit Rückwärtsverkettungen sind daher auch als hypothesengesteuert zu bezeichnen.

Von beiden Herangehensweisen ist das Rückwärtsverketteten die wohl häufiger angewandte Strategie, „da das Lösen vorgegebener Aufgaben öfter verlangt wird, als das Suchen nach irgendwelchen Zusammenhängen zwischen Objekten“ (SCHNUPP 1986). OSTERKAMP (1991) stellt fest, dass Struktur und Funktion von Expertensystemen mit geowissenschaftlicher Fra-

gestellung sich überwiegend Regeln und Rückwärtsverkettungen bedienen. Im vorliegenden Fall kann als „Oberziel“ der Rückwärtsverkettung die angestrebte Verringerung des Grundwassergefährdungspotenzials gesehen werden.

Programmtechnische Umsetzung

Die letztendliche programmtechnische Umsetzung eines Expertensystems ist erst dann möglich, wenn eine die zu behandelnde Fragestellung umfassend abdeckende Wissensbasis geschaffen ist und ein Analyse- und Bewertungsalgorithmus als Inferenzmaschine gefunden ist, welcher zu belastbaren Ergebnissen führt.

Vorgefertigte, nicht eigens für die zu betrachtende Fragestellung entworfene Expertensystemstrukturen, wie sie durch „Expert Systems Shells“ zur Verfügung gestellt werden, können die Erarbeitung spezifischer Expertensysteme vereinfachen, bergen jedoch die Gefahr, dass sich die vorgefertigten Wissensrepräsentationsfunktionen, Struktur und Aufbau der Inferenzmaschine wie auch integrierte Hilfsmittel zur Wissensaufnahme und vorgefertigte Benutzeroberflächen nur bedingt oder nicht passgenau im Hinblick auf die zu betrachtende Fragestellung erweisen. Besonders bei komplexen Problemen fehlt es vorgefertigten Angeboten vielfach an im Hinblick auf die spezifische Anpassung an die zu behandelnde Fragestellung erforderlicher Flexibilität. Dadurch besteht die Gefahr, dass die vermeintliche Erleichterung der programmtechnischen Umsetzung zu Lasten der Qualität der Ergebnisfindung geht. Durch die Berücksichtigung verschiedener Möglichkeiten der Wissensrepräsentation wurde in jüngerer Vergangenheit versucht, entsprechenden Problemen entgegenzuwirken (NIKOLOPOULOS 1997).

Bereits während der Erstellung eines Expertensystems wie auch im Besonderen nach Abschluss dessen Erarbeitung ist die Ergebnisfindung durch Probelaufe zu validieren und zu verifizieren und damit zu prüfen, inwieweit die Entscheidungen des Systems mit denen eines menschlichen Experten übereinstimmen.

2.2 Anforderungen an ein Expertensystem zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten

Inhaltliche und strukturelle Anforderungen

Jede Betrachtung von Gefährdungspotenzialen setzt zunächst eine Definition je nach fallspezifischer Situation möglicher oder sogar sicher gegebener und daher zu beachtender, beurteilungsrelevanter Risiken voraus, welche hinsichtlich ihrer Bedeutungswirkung sowohl individuell, als vor allem auch im Zusammenwirken und gegenseitigen Beeinflussen mit anderen Risiken zu bewerten und in einem Risk-Assessment zusammenzuführen sind. Hierzu sind Kenntnisse über prozessimmanente Abläufe und Interaktionen erforderlich, welche die Voraussetzung für jede Expertenentscheidung darstellen.

Die Entwicklung einer Bewertungsstrategie ist im gegebenen Fall infolge der Komplexität der Fragestellung und der zahlreichen zu beachtenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Kanalbauwerk, Maßnahmendurchführung, Gelände, Untergrund und Grundwasser nur mit Hilfe eines Ansatzes zu bewältigen, welcher der Vielschichtigkeit der inhaltlich-kausalen Zusammenhänge und Strukturen gerecht wird und eine methodische Umsetzbarkeit in einem Expertensystem ermöglicht. Gleichzeitig muss der Ansatz eine möglichst große Flexibilität aufweisen, um eine zielführende Abbildung eines breiten Spektrums an Planungs- und Ausgangskonstellationen zu ermöglichen und damit von Bedeutung für eine Praxisanwendung sein zu können.

Grundlage für eine Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung durch Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten muss eine objektive und nachvollziehbare, anhand anerkannter Maßstäbe und Argumentationen zu begründende Situationsbewertung bilden. Diese hat die im spezifischen Einzelfall gegebenen räumlichen Konstellationen, die sich meist als unveränderlich erweisen, sowie die beabsichtigte Kanalbauplanung umfassend zu berücksichtigen, damit dem sich darstellenden Wirkungsgefüge zwischen Untergrund und Kanalbauwerk im Hinblick auf einen effektiven Grundwasserschutz Rechnung getragen wird.

Empirische und theoretisch-deduktive Zusammenhänge bewertungsrelevanter raum- und planungsspezifischer Einflussgrößen sowie die aus ihnen resultierenden Wechselwirkungen sind herauszustellen bzw. festzulegen und bezüglich ihrer Aussagebedeutung gegeneinander abzuwägen. Hierdurch sollen Ursachen einer potenziellen Grundwassergefährdung identifiziert und davon ausgehend Handlungsempfehlungen formuliert werden, die gegebenenfalls eben dieses Gefährdungspotenzial mindern können. Hierdurch wird eine Überprüfung, Absicherung und etwaige im Sinne des Grundwasserschutzes anzuratende Modifikation der Planung möglich.

Zur Umsetzung dieser Zielvorgabe erscheint ein Expertensystem als Instrument prädestiniert. Zum einen ist es so möglich, alle als beurteilungsrelevant eingestuften Informationen zur geplanten Bauausführung und zu gebiets- und untergrundspezifischen Gegebenheiten im betroffenen Wassergewinnungsgebiet zu erheben und ausgehend davon eine repräsentative Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation zu ermöglichen, die gleichzeitig die erforderliche sachliche Bewertungsbasis für die gewünschte Zielaussage darstellt, die vom Expertensystem automatisiert anhand der ihm zugrunde gelegten Wissensbasis (vgl. Kap. 2.1) geliefert wird.

Zudem kann eine kombinierte, gesamtheitliche Betrachtung bewertungsrelevanter Einzelinformationen mittels eines Expertensystems rasch, effektiv und zielführend erfolgen, so dass aus Kenntnissen zur geplanten Kanalbaumaßnahme und zur Gelände- und Untergrundsituation umgehend eine fachlich fundierte Aussage zum resultierenden Grundwassergefährdungspotenzial abzuleiten ist. Damit werden eine risikobewusste, räumlich wie sachlich bestimmte, abgewogene und vor allem ökonomisch sinnvolle Alternativenabwägung bei der Kanalplanung sowie ein effektiver Grundwasserschutz möglich.

Aus einer mittels eines Entscheidungshilfesystems automatisch ablaufenden Abwägung der Ausgangs- und Planungssituation sollen sich

neben einer Gefährdungseinschätzung vor allem auch Handlungs- und Planungsempfehlungen ableiten, welche die potenzielle Grundwassergefährdung gegebenenfalls mindern und vor allem eine effiziente Objektplanung ermöglichen, um u.a. den Einsatz finanzieller Mittel zur Realisierung des Kanalbauvorhabens auf das erforderliche Maß zu begrenzen, ohne dass dies auf Kosten des Grundwasserschutzes und die Sicherung der Trinkwasserversorgung geht.

Situationsbewertung und Alternativenabwägung müssen methodisch auf Basis klar definierter und im Expertensystem als Wissensbasis integrierter Risiken und Gefährdungen erfolgen, welche bestimmten Ereignissen und Faktenkonstellationen zugeordnet werden, die sich aus der Verknüpfung räumlicher Einflussfaktoren und der beabsichtigten Kanalbauplanung ergeben. Bewertungsgegenstände und Bewertungsabläufe müssen hierbei möglichst umfassend, zielgerichtet und dokumentierbar erfasst sein. Hierzu sind interdisziplinäre Kenntnisse zu ereignisrelevanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Einflussgrößen erforderlich.

Für eine möglichst universelle Anwendbarkeit muss durch das Expertensystem ein breites Spektrum unterschiedlicher Ausgangskonstellationen, d.h. einzelfallspezifischer Standortbedingungen abgedeckt werden können. Gleichzeitig muss sich zur Gewährleistung der Umsetzbarkeit in einem programmierbaren wissensbasierten System auf ein überschaubares Maß entscheidungs- und bewertungsrelevanter Einflüsse und Wirkungsverknüpfungen beschränkt werden, welches die zu verarbeitende Datenmenge handhabbar macht und eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Fallbetrachtungen sicherstellt. Dies erfordert entsprechende Sorgfalt bei der Auswahl des Analyse- und Bewertungsansatzes (vgl. Kap. 2.3).

Anforderungen an die Wissensrepräsentation

Ein grundsätzliches Problem stellt wie erläutert (vgl. Kap. 2.1) die Repräsentation des dem Expertensystem zugrunde zu legenden Wissens dar und damit die Frage, wie entscheidungsbedeutende Fakten in eine durch ein Programm-

system fassbare Form überführt werden können. Des Weiteren muss ein Bewertungsansatz sowie ein darauf aufbauender Analyse- und Bewertungsalgorithmus als Inferenzmaschine gefunden werden, der an die betrachtete Thematik angepasst ist und eine zielgerichtete Lösungsfindung garantiert.

Die einem Expertensystem zugrunde zu legende Bewertungsmethode und der darauf aufbauende Analyse- und Bewertungsalgorithmus zeigen sich durch das zu betrachtende Wirkungsgefüge bestimmt. Der im Hinblick auf die Einschätzung des von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials zu wählende Ansatz muss in erster Linie den genannten Anforderungen genügen, in der Praxisanwendung eine begründbare Aussage zum Grundwassergefährdungsrisiko machen zu können, welche reproduzierbar ist und auf vergleich-, überprüf- und wiederholbaren Entscheidungen gründet. Zum anderen muss der Ansatz der Vielschichtigkeit der Fragestellung gerecht werden und die Zahl der im Bewertungsprozess zu berücksichtigenden Einflussgrößen und deren Wirkungsverknüpfungen für das Expertensystem und dessen Wissensbasis fassbar und verarbeitbar sein.

Zudem ist bei der Auswahl des analytischen Ansatzes zu berücksichtigen, dass Planungen häufig mit fachlichen Abschätzungen verbunden sind, bei denen Unsicherheiten verbleiben, die allerdings nicht auf eine nicht ausreichend tiefgründigen Recherche zurückzuführen sind, sondern damit zu begründen sind, dass anstelle kausalanalytischer Beschreibungen von Zusammenhängen Ergebnisse treten, welche Erfahrungen des Planers widerspiegeln und nicht frei von subjektiven Einflüssen sind, dennoch aber wichtiger Bestandteil des erforderlichen Expertenwissens sind (SCHOLLES 2006).

2.3 Abwägung verschiedener Analyse- und Bewertungsmethoden im Hinblick auf deren Eignung als strukturelle Grundlage für ein Expertensystem zur vorliegenden Thematik

Multikriterielle Methoden

Innerhalb der Raum- und Umweltplanung existieren verschiedene Methoden, Verfahren und Ansätze zur Analyse, Bewertung wie auch Prognose raumrelevanter Zusammenhänge und Strukturen, die das Ziel verfolgen, durch individuelle und kombinierte Betrachtungen, Abwägungen und Gewichtungen entscheidungsrelevanter Informationen qualitative und z.T. auch quantitative Aussagen zu multikriteriellen Wirkungsgefügen zu machen und damit gesamtheitliche Wertungen ermöglichen sollen, die Grundlage für darauf aufbauende Entscheidungen, Handlungen oder Planungen sind.

Der strukturelle Aufbau, die Funktion und die Möglichkeiten wie vor allem auch die Zielsetzung und die Aussagekraft sowie die immanenten Grenzen dieser Methoden, Verfahren und Ansätze sind mitunter verschieden, in Teilen jedoch auch durchaus ähnlich oder vergleichbar. Selbiges gilt für das Spektrum ihrer Anwendbarkeit und Passgenauigkeit für verschiedene Fragestellungen sowie für die von den zu betrachtenden sachverhaltsspezifischen Daten erforderlicher Weise zu erfüllenden Voraussetzungen.

Ausgangspunkt können u.a. monetäre, nutzwert- oder risikoanalytische Betrachtungen sein, welchen mathematisch, statistisch oder verbal begründete Argumentationen zugrunde liegen, oder Misch- und Übergangsformen zwischen diesen. Methodisch besitzen alle Ansätze gewisse Stärken und Schwächen, die ihre Anwendung je nach Fragestellung rechtfertigen oder ausschließen. Ein vermeintlicher systembedingter Nachteil, den ein Analyse-, Prognose oder Bewertungsansatz haben mag, und der seine Eignung in einem Anwendungsfall ausschließt, kann bei einer anders lautenden und ausgerichteten Problematik gerade der Grund sein, der seine Auswahl rechtfertigt. Die Wahl eines methodischen Ansatzes zur Analyse, Prognose und Bewertung richtet sich damit unmittelbar nach der Fragestellung und dem zu betrachtenden Wirkungsgefüge.

Unabhängig ihrer Stärken und Schwächen ist allen multikriteriellen Ansätzen und Verfahren gemein, dass sie versuchen, aus einer mehr oder minder großen Zahl fragestellungsspezifischer Einflussgrößen mit räumlichem Bezug über eine angepasste und abgestimmte Betrachtung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu einer fundierten Ergebnisaussage zu kommen, welche repräsentativ für die betrachtete Gesamtsituation ist und diese möglichst objektiv und transparent beurteilt.

Ausführliche Darstellungen verschiedener Analyse-, Prognose- und Bewertungssysteme führen u.a. FÜRST (2004) und GNEST (2007) in ihren Handbüchern zu den Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung sowie POSCHMANN, RIEBENSTAHL und SCHMIDT-KALLERT in ihrer Veröffentlichung zur Umweltplanung und -bewertung (1998) an. Darüber hinaus seien die Arbeit von STRASSERT zum Abwägungsproblem bei multikriteriellen Entscheidungen (1995) sowie die Dissertation von BACHFISCHER zur ökologischen Risikoanalyse (1978) genannt.

Die grundsätzliche Schwierigkeit beim methodischen Vorgehen und der Wahl von Analyse- und Bewertungsmuster besteht darin, dass die Lösung komplexer und überkomplexer Probleme durch schrittweise Teilbewertungen entscheidungstheoretisch nur bedingt vertretbar ist. ZANGEMEISTER (1971) führt jedoch an, dass eine Beurteilung multikriterieller Probleme überhaupt erst durch rationale Zerlegung möglich wird, da nur so eine Überforderung der Entscheidungsfähigkeiten des Anwenders zu vermeiden ist.

Eine Zerlegung in Teilanalysen und -bewertungen kann immer dazu führen, dass gesamtheitliche Kausal- und Wirkungsverbindungen bei der Bewertung in Teilschritten verloren gehen, irrtümlich unberücksichtigt bleiben oder schwieriger zu fassen sind, weswegen sie stets nur in einem begründbaren Maß und mit hoher Sorgfalt durchgeführt werden darf. Grundvoraussetzung ist dabei immer, dass bei der Betrachtung in sich abgeschlossener, logischer Teilkomplexe

das übergeordnet definierte Ziel der Fragestellung als Tenor erhalten bleibt, auf das konstruktiv und konsequent hingearbeitet wird.

Bei einer Auflösung in Teilbetrachtungen haben daher besonders solche Wirkungsverknüpfungen Beachtung zu finden, die für die Lösung der Problemstellung von entscheidungs- oder sonstig relevanter Bedeutung sind. Die angestrebte „gesamtheitliche“ Betrachtung ist hierbei nicht damit gleichzusetzen, dass zwangsläufig alle auszumachenden oder denkbaren Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu betrachten sind, sondern so zu verstehen, dass sich auf diejenigen Interaktionen zu konzentrieren ist, welche für die Lösungsfindung entscheidend und für die Gesamtabwägung zweckdienlich und erforderlich sind.

Die Einsetzbarkeit und Leistungsfähigkeit eines Expertensystems geht unmittelbar damit einher, inwiefern das menschliche Bewertungsverhalten durch Künstliche Intelligenz abgebildet und simuliert werden kann. Selbiges gilt für die dem Expertensystem zugrunde liegenden Analyse- und Bewertungsstrukturen. Dass das Gefüge des menschlichen Denkens trotz einer immer größer werdenden Leistungsfähigkeit von Computern bislang künstlich nur ansatzweise nachempfunden werden kann, liegt u.a. daran, dass Schlussfolgerungen, welche der Mensch in seinem logischen Denken teilweise unterbewusst, teilweise bewusst aufgrund seines (Experten-) Wissens als selbstverständlich ansieht und daher berücksichtigt, kombiniert und abwägt für eine Künstliche Intelligenz nachvollziehbar gemacht werden müssen (vgl. Kap. 2.1).

Aufgabe des Expertensystems GRABWAS als Entscheidungshilfe im vorliegenden Fall soll wie dargestellt eine sachliche, folgerichtige und begründbare Bewertung des von geplanten Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten für das Grundwasser ausgehenden Gefährdungspotenzials sein, durch die eine fachlich wie ökonomisch angepasste Abwasserkanalbauplanung ermöglicht wird. Der dem Expertensystem zugrunde liegende Analyse- und Bewertungsansatz sowie der darauf aufbauende Algorithmus müssen diese Aufgabe zielgerichtet erfüllen können.

Nachfolgend wird eine Auswahl verschiedener Analyse- und Bewertungsmethoden im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit für die vorliegende Fragestellung und die Bewertung des von Abwasserkanälen ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials analysiert. Für weiterführende Details zu einzelnen Methoden wird u.a. auf die Veröffentlichungen von GNEST (2007), FÜRST (2004) und SCHOLLES (2006) verwiesen.

Analysemethoden

Zur Analyse und Wirkungsverknüpfung raumbbezogener Daten wird sich je nach Form der Ausgangsdaten und Zielstellung der Betrachtung zumeist folgender Methoden bedient:

- Mathematisch-statistische Analysen,
- graphische Analysen (Überlagerung).
- Wirkungsanalysen.

Zu den Methoden und ihren Passgenauigkeiten für die vorliegende Fragestellung im Einzelnen:

Mathematisch-statistische Analysen

Grundlegende Voraussetzung einer **mathematischen Analyse** von Raumdaten ist zunächst, dass die zu betrachtenden Fakten quantitativ fassbar sind und nicht alleinig qualitativen Charakter besitzen. Dies setzt voraus, dass entsprechende Beobachtungen messbar sind, d.h. sich durch Zahlenwerte ausdrücken lassen, und gegebene Wirkungsbeziehungen mathematisch eindeutig definiert und begründet werden können. **Statistische Analysen** sind dagegen auch bei lediglich qualitativ fassbaren Daten möglich, dort allerdings Einschränkungen im Hinblick auf zulässige Operationen unterworfen, die restriktiver sind als bei quantitativ fassbaren Daten.

Für mathematische Analysen müssen sich Daten als numerische Werte repräsentieren oder in einer zulässigen Art und Weise in solche transformiert werden können, um durch Rechenoperationen miteinander kombiniert zu werden. Bei einer Transformation von Qualitäten auf Quantitäten darf es zu keiner Vorspiegelung mathema-

tischer Zusammenhänge und Genauigkeiten kommen, die kausal nicht zu begründen sind. Darüber hinaus muss der Informationsverlust bei der Transformation auf ein zulässiges Maß reduziert, nach Möglichkeit minimiert werden.

Anders als bei qualitativ fassbaren Sachverhalten, wo Zahlenangaben ebenfalls möglich sind, allerdings lediglich Bezeichnungen („Labels“) darstellen – z.B. bei der Frage nach der betroffenen Wasserschutzzone, auf die mit „1“ = Schutzzone I, „2“ = Schutzzone II oder „3“ = Schutzzone III geantwortet werden könnte –, sind Zahlen bei quantitativ bestimmbar Sachverhalten ein Größenmaß. Quantitativ fassbare Variablen sind dabei in diskrete und stetige zu differenzieren (BAHRENBERG 1999).

Welche Rechenoperationen und damit mathematischen bzw. statistischen Analysen bei Daten zulässig sind, gestaltet sich von deren Skalenniveau abhängig, welches wiederum durch das abgebildete Faktum selbst bestimmt wird. Inwiefern sich beobachtete Phänomene numerisch fassen, klassifizieren und mathematisch bzw. statistisch verarbeiten lassen ist je nach betrachtetem Sachverhalt unterschiedlich. Datenbeziehungen können sich nach Identität, Ordnung, Intervall und Verhältnis definieren, wobei der Informationsgehalt und damit die mathematisch-statistische „Nutzbarkeit“ der Daten zunimmt.

Die einzelnen Skalentypen lassen sich wie folgt charakterisieren (FÜRST 2004; SACHS 2006):

Die **Nominalskala** („Nominal Scale“) stellt eine bloße Zuordnung von Kategorien oder Typen dar. Aus der Information, dass z.B. in einem Betrachtungsraum die Gesteinstypen „Sandstein“, „Kalkstein“ und „Tonstein“ vertreten sind, geht keinerlei Reihenfolge hervor. Auch wenn die einzelnen Gesteinstypen z.B. innerhalb einer Datenbank durch Zahlen kodiert sein sollten (z.B. 1 = „Sandstein“, 2 = „Kalkstein“, 3 = „Tonstein“), kann durch die lediglich nominale Datenbeziehung weder eine Reihenfolge abgeleitet werden noch mit den Zahlenwerten gerechnet werden. Als einzige Operation ist eine Prüfung auf die Identität der Daten, d.h. auf Gleichheit oder Ungleichheit, zulässig.

Die **Ordinalskala** („Ordinal Scale“) definiert Rangfolgen, jedoch keine Abstände. So ist z.B. die Unterteilung eines Wassergewinnungsgebietes in Wasserschutzzonen ordinal skaliert. Hieraus ist im Hinblick auf den formellen Schutzanspruch des Grundwassers abzuleiten, dass dieser innerhalb einer Wasserschutzzone I grundsätzlich höher ist als innerhalb einer Wasserschutzzone II, wo er wiederum höher ist als innerhalb einer Wasserschutzzone III. Es lässt sich jedoch nicht angeben, um „wie viel höher“ dieser jeweils ist. Hierzu wären festlegbare Abstände erforderlich, über die jedoch ordinal skalierte Daten nicht verfügen. Es ist demnach nur die Angabe einer Reihenfolge möglich und somit neben der Prüfung auf Identität auch eine qualitative Aussage zur Richtung des Unterschiedes, d.h. zu „größer“ und „kleiner“.

Metrische Skalen definieren konstante Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Skalenniveaus. Dies setzt jedoch voraus, dass ein Faktum nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ klar angeführt werden kann. Die **Intervallskala** („Interval Scale“) verfügt dabei über einen relativen, d.h. einen willkürlich bzw. per Konvention festgelegten Nullpunkt, wie z.B. die Tiefenlage eines Abwasserkanals oder der Grundwasserflurabstand, wenn diese auf die relative Geländehöhe bezogen werden.

Im Gegensatz dazu besitzt die **Verhältnisskala** („Ratio Scale“) einen absoluten Nullpunkt, der nicht unterschritten werden kann. Hierdurch können Zahlenverhältnisse festgelegt werden. Als Beispiele sind z.B. die Tiefenlage eines Abwasserkanals oder der Grundwasserflurabstand bezogen auf NN, aber u.a. auch Rohrnennweite oder Mächtigkeit geologischer Schichten anführbar. Die Verhältnisskala stellt dadurch das einzige Skalenniveau dar, das alle mathematischen und statistischen Operationen erlaubt. Zusammenfassend werden Intervall- und Verhältnisskala als **Kardinalskalen** bezeichnet.

Inwiefern sich im Hinblick auf eine statistische Analyse von Daten univariate, bivariate oder multivariate Methoden anwenden lassen ist vom Skalenniveau der Ausgangsdaten abhängig. Es bestimmt, welche statistische Kennwerte zur Charakterisierung empirischer Verteilungen wie

u.a. Maßzahlen der Lage bzw. Zentraltendenz (z.B. arithmetisches Mittel, Modus, Median) oder der Streuung (z.B. Varianz, Standardabweichung) sich bilden lassen und inwiefern z.B. Regressions- und Korrelationsanalysen durchführbar sind, um für eine Aussage zum Gesamt-sachverhalt herangezogen werden zu können (BAHRENBERG 1999; BAHRENBERG 2003).

Bei statistischen Datenanalysen ist es darüber hinaus erforderlich, dass eine ausreichend große Grundgesamtheit an Daten vorliegt, aus der über Stichproben folgerichtige Schlussfolgerungen resultieren können. Eine in Größe und Zusammensetzung nicht repräsentative, da zu kleine oder den betrachteten Sachverhalt nicht in seiner ganzen Ausprägungsvielfalt abdeckende Datenmenge führt unweigerlich zu Ungenauigkeiten oder gar zu Ergebnissen, welche die Realsituation unrichtig wiedergeben können. Die Problematik zwischen Grundgesamtheit und Stichprobe diskutiert u.a. BAHRENBERG (1999).

Grundsätzlich stellt sich die Frage nach der Möglichkeit der Abbildung und Quantifizierung von untergrundspezifischen Wirkungseinflüssen und den daraus resultierenden Gefährdungspotenzialen. Während sich z.B. physikalische und chemische Beziehungen und Abhängigkeiten in der Natur durch Messungen und Berechnungen weithin anführen und quantifizieren lassen, sind Prozesse, welche sich im Hinblick auf den Transport und die Wirkung von Stoffen im Untergrund als bedeutsam erweisen, infolge des „Black-Box“-Charakters des geologischen Untergrundes vielfach nur integral und indirekt anhand zu beobachtender Wirkungen anführbar.

Durch die Vielzahl im Untergrund wirksamer und sich unterschiedlich bedingender Aspekte, deren individueller, vor allem aber gemeinsamer Einfluss in Bezug auf die systemrelevante Gesamtwirkung schwanken kann, sind die jeweiligen Einflussgrößen oft nur qualitativ einzuordnen und allenfalls näherungsweise, nicht aber eindeutig quantifizierbar. Das Ursache-Wirkungs-Gefüge zwischen Grundwasser, Untergrund und Abwasserkanalbauwerk kann demnach nicht oder nur teilweise durch direkte Beobachtungen definiert und in seiner Bedeutung bewertet werden.

Auch vermeintlich klar quantitativ definierbare Untergrundparameter wie z.B. Durchlässigkeit, Transmissivität, Speichervermögen und Porenraum, die in der Hydrogeologie durch entsprechende Kennwerte repräsentiert werden, sind keineswegs so eindeutig wie sie scheinen. Hydrogeologische Kennwerte sind als lokale Repräsentanten eines bestimmten Gesteinstyps innerhalb eines bestimmten Raumes zu sehen, die natürlichen Schwankungen und Bandbreiten unterworfen sind. Diese werden u.a. durch unterschiedliche fazielle Ausprägungen der Gesteinslithologie, wechselnde durchflusswirksame Gesteinshohlräume und unterschiedliche tektonische Überprägung begründet, die selbst kleinräumlich und richtungsabhängig wirksam werden können. Entsprechende Zahlenwerte können demnach zwar als charakteristisch, jedoch nicht als feststehend und unveränderlich angesehen werden. Meist stellen sie Mittelwerte dar, die aus einer integralen Betrachtung des Untergrundes resultieren.

Im Hinblick auf entscheidungsrelevante Abwägungen sind durch numerische Werte fassbare Untergrundgegebenheiten meist nur im Verbund mit anderen Angaben zum Aufbau und den Eigenschaften des Untergrundes nutzbar und zu bewerten, welche oft verbalargumentativer Art sind. Wurde z.B. für einen Grundwasserleiter ein Durchlässigkeitsbeiwert ermittelt, ist dieser numerische Wert erst dann für eine Aussage z.B. zur Sensibilität des Untergrundes gegenüber oberflächennahen Stoffzutritten nutzbar, wenn klar ist, ob sich der Untergrund als vertikal homogen durchströmter klastischer Lockergesteinsaquifer darstellt oder einen Festgesteinsgrundwasserleiter repräsentiert, bei dem sich der Grundwasserzustrom vertikal auf eng begrenzte Leitschichten oder Klüfte konzentriert. Der gleiche Durchlässigkeitsbeiwert wird bei den beiden hydrogeologisch grundverschiedenen Rahmenbedingungen unterschiedliche Schlussfolgerungen nach sich ziehen.

Selbst durch numerische Werte definierbare Untergrundbedingungen sind damit nicht zwangsläufig hinsichtlich ihrer Einflussbedeutung klar einzuordnen. Der Geowissenschaftler wägt relevante Faktenkonstellationen qualitativ untereinander ab, kann die einzelnen Einflüsse

und Abwägungen jedoch oft nicht mit Zahlenwerten fassen oder definieren.

Wirkungszusammenhänge zwischen baulicher Gestaltung des Kanalbauwerks, maßnahmen-durchführungs- und kanalbetriebsspezifischer Gegebenheiten und der Untergrundsituation im Hinblick auf deren etwaige potenzielle Gefährdung der Grundwasserbeschaffenheit sind zwar bekannt und oftmals auch qualitativ abschätzbar, sie können jedoch meist nicht quantifiziert werden, da die relevanten Prozessabläufe im Untergrund nicht messbar sind. Dies führt dazu, dass untergrundspezifische Beobachtungen oftmals weitaus schwieriger auf die gegebene Ausgangskonstellation rückschließen lassen, als in anderen Naturwissenschaften oder der Mathematik. Zusammenhänge und weiterführende Aspekte zwischen Messung, Skalen und Abwägung, auf die an dieser Stelle weiterführend verwiesen wird, erläutert u.a. STRASSET (1995).

Bei Risikobetrachtungen im Rahmen unterschiedlicher Fragestellungen wird mitunter versucht, numerische Werte abzuleiten bzw. zu berechnen, mit denen die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines bestimmten Ereignisses ausgedrückt werden kann. Diese dienen dann als Maß für die Höhe eines Risikos. Ein Risiko wird demnach als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und der aus dem Eintritt resultierenden Konsequenz definiert. So lassen sich auch Wirkungen wie z.B. Gefährdungen und Empfehlungen ableiten.

Bei einer Risikodefinition auf diesem Weg werden mathematisch fassbare Sachverhalte benötigt, an denen sich mögliche Ereignisse bemessen lassen. Die Praxis zeigt jedoch, dass statistische Daten, welche für eine Ableitung von Wahrscheinlichkeitsfunktionen erforderlich wären, bei geowissenschaftlichen und explizit grundwasserbetreffenden Fragestellungen im Normalfall fehlen. Detailliertere statistische Erhebungen zu Kanalschäden liegen bislang nur in Bezug zum Kanalalter und -material vor (vgl. Kap. 1.3) und stehen in keinem kausalen Bezug zum Untergrund.

SCHOLLES (2006) stellt in Bezug auf raum- und umweltbezogene Themen fest, dass „determi-

nistische Feststellungen [...] in der Praxis der Prognose selten getroffen werden [können]. Intensität und Häufigkeit von Wirkungen müssen in der Regel abgeschätzt werden.“ Eine Bildung „subjektiver Wahrscheinlichkeiten“, wie sie u.a. OSTERKAMP (1991) anführt, erscheint nur soweit zulässig, wenn diese für eine qualitative Einschätzung, nicht jedoch eine quantitative Ableitung von Risiken durch konkrete Berechnungen verwendet werden. Das Ziel einer Situations- und Planungsbewertung durch ein Expertensystem anhand anerkannter, belegbarer und nachvollziehbarer Maßstäbe darf nicht durch eine Angabe pseudogenaue Zahlenwerte an Glaubhaftigkeit und Transparenz verlieren, welche eine Genauigkeit der Zielaussage vorgeben, welche fachlich nicht zu rechtfertigen ist.

Eine empirisch, deduktiv und heuristisch abgesicherte, objektive Argumentation ist einer subjektiven stets vorzuziehen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass subjektive Beurteilungen völlig unberücksichtigt bleiben müssen, was sie auch nicht können, da die subjektive Beurteilung von Fakten, wenn auch nur unbewusst und intuitiv, immer mit Teil einer Expertenmeinung ist. Subjektive Beurteilungen sind dabei vom persönlichen Kontext des Experten abhängig, d.h. u.a. dessen Erfahrung mit der betreffenden Thematik, dessen persönlicher Betroffenheit und Wertschätzung. Sie dürfen die Entscheidungsfindung ergänzen, sich jedoch nicht über objektive Erkenntnisse hinwegsetzen und müssen stets begründbar sein und nachvollziehbar bleiben.

Ein auf Berechnungen aufbauender Ansatz, der an dieser Stelle besondere Erwähnung finden soll, weil er gerade in den Raum-, Umwelt- und Geowissenschaften immer wieder zum Einsatz kommt, gründet darauf, Einflussgrößen und deren Ausprägungen mittels Bonus- und Malus-Systemen wiederzugeben. So basieren z.B. verschiedene Verfahren zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung u.a. von HÖLTING (1995) und HEINKELE (2002) (vgl. Kap. 1.4) darauf, dass Untergrundgegebenheiten wie z.B. Gesteinslithologie, -mächtigkeit, -klüftigkeit oder Grundwasserstockwerksbau durch Bonus- oder Maluswerten repräsentiert werden, deren schlussendliche Kombination zur Gesamtaussage führt.

Gemein sind Bonus-Malus-Systemen, dass sie eine meist recht überschaubare Zahl zu berücksichtigender Einflüsse betrachten, welche zudem in einem engen Wirkungsbezug zueinander stehen, der eine Verrechnung situationsver- und -entschärfender Gegebenheiten zulässig erscheinen lässt. Kritisch ist ein derartiges methodisches Vorgehen immer dann, wenn Einflüsse, welche bei der Einschätzung der Gesamtsituation zu betrachten sind, im Einzelnen nicht unmittelbar oder überhaupt nicht miteinander korrelieren, über Wertzuweisungen jedoch in mehr oder minder direkten Bezug zueinander gebracht werden. Es besteht so die Gefahr, dass rechnerische Korrelationen entstehen, die sich real nicht begründen lassen und so nicht nur „Äpfel mit Birnen“, sondern sogar „Äpfel mit Nägeln“ verglichen werden.

Diese Tatsache lässt die Umsetzung eines Bonus-Malus-Systems bei einem derart komplexen Wirkungsgefüge wie dem zwischen Abwasserkanal und Untergrund weder zulässig noch umsetzbar erscheinen. Es bestünde die Gefahr, dass durch ein Aufrechnen von positiven und negativen Bewertungen Einzelaussagen nivelliert würden, was ihrem wahren Aussagecharakter jedoch nicht entspräche und zu einem nicht realitätsgetreuen Abbild der Situation führen würde. Durch geschickt gewählte Rechenoperationen könnten Daten so geschönt werden und besondere Einzelumstände mit gegebenenfalls hoher Bedeutung für die Gesamtbewertung aus der Betrachtung herausfallen.

Grundsätzlich werden für die vorliegende Fragestellung alle Ansätze als ungeeignet angesehen, die auf reinen mathematischen Bewertungsgrundlagen basieren. Es wäre fatal zu versuchen, die Wirkungsabhängigkeiten im Untergrund und im Zusammenhang mit Abwasserkanälen ausschließlich in numerischen Werten zu fassen oder in solche zu transformieren und ihnen Gesetzmäßigkeiten zugrunde zu legen, die fachlich nicht zu rechtfertigen sind.

Es wird sich nicht realisieren lassen, relative Bewertungen und argumentative Einschätzungen in rechnerisch verwertbare Zahlenwerte umzuwandeln, ohne dass sich unzulässige Relationen und Pseudogenauigkeiten ergeben. Die

zu berücksichtigenden Einflüsse besitzen meist kein ausreichend hohes Skalenniveau, das entsprechende Betrachtungen zulassen würde. Klare Relationen sind jedoch notwendig, um Risiken mathematisch abzuleiten.

Graphische Analysen (Überlagerung)

Ziel der **Überlagerung** als Analysemethode ist die Aggregation graphisch vorliegender raumbezogener Informationen durch deren Verschneidung mittels analytischer Operationen. Aus der Kombination unterschiedlicher Sachdatenebenen sollen neue Erkenntnisse auf höherem Aggregationsniveau resultieren (FÜRST 2004). In vielen Anwendungsfällen wird so versucht Aussagen zu räumlichen Sensibilitäten und Risiken abzuleiten und gleichzeitig visuell darzustellen. Für eine Überlagerung ist es erforderlich, dass die zu kombinierenden raumbezogenen Daten in Form physischer, besser elektronischer graphischer Darstellungen zwei-, seltener dreidimensionaler Art, also als thematische Karten vorliegen, in denen betrachtungsrelevante Fakten in Form punktueller, linienhafter oder flächiger Elemente enthalten sind.

Die Analyse graphischer Daten und Karteninhalte erfolgt in heutiger Zeit in der Regel digital über Geographische Informationssysteme (GIS), welche die Verschneidung („Overlay“) digital vorliegender Daten automatisiert übernehmen. Bei vektorbasierten GIS werden hierbei über vektorielle Berechnungen aus Ausgangsgeometrien neue Polygone mit entsprechenden Zielaussagen erzeugt, bei rasterbasierten GIS erfolgt die Datenverschneidung mit Hilfe von Matrixüberlagerungen. Grundlegende Charakteristika von GIS und diesen zugrunde liegenden Datenmodellen einschließlich Aspekten der Datenanalyse, Datenaggregation und Datenpräsentation stellt u.a. DICKMANN (2001) zusammen. Beispiele für die Anwendung von GIS bei geowissenschaftlichen und umweltspezifischen Fragestellungen führt ASCH (1999) an.

Ein Vorteil von Datenanalysen mittels GIS ist sicherlich die Anschaulichkeit und dadurch die oftmals leichtere Vermittelbarkeit der Ergebnisse als Kartenbild, wobei auch hier die der Ergebnis-

findung zugrunde liegende Verschneidungsoperationen für die Belastbarkeit der Zielaussage entscheidend sind. Methodisch erscheinen graphische Analysen nur bei einer überschaubaren Menge unterschiedlicher Datenebenen umsetzbar, da zum einen bei der Kombination der Daten ein zumeist schrittweises serielles Vorgehen erforderlich ist, welches sich bei einer hohen Zahl verschiedener thematischer Ebenen als zeit- und rechenaufwändig erweist, zum anderen eine Kombination vieler Datenebenen unweigerlich zu einer mosaikhaften Zerstückelung der Zieldarstellung führt, welche kontraproduktiv für die Ergebnisfindung ist.

Um aus einer Überlagerung von Daten die gewünschte Zielaussage ableiten zu können ist es erforderlich, dass jedem Ergebnispolygon eine von der abgezielten Fragestellung abhängige Schlussfolgerung bzw. Wertung zugewiesen wird. Dies kann nur dann automatisiert erfolgen, wenn eine mathematische Kombination der einzelnen Datenebenen möglich und fachlich zu begründen ist. Hierzu sind wiederum rechnerisch fassbare Verknüpfungen und Gewichtungen erforderlich, welche die im vorangegangenen Punkt des Kapitels erläuterten Anforderungen an die zu analysierenden Daten stellen und im Hinblick auf die Betrachtung des Wirkungskomplexes zwischen Abwasserkanal und Untergrund zu den geschilderten Problemen führen.

Diesen könnte dann begegnet werden, wenn die Zuweisung der Schlussfolgerung bzw. Wertung nicht automatisiert, sondern manuell erfolgen würde, was jedoch nur bei einer überschaubaren, d.h. geringen Zahl zu verschneidender Datenebenen umsetzbar erscheint. Im vorliegenden Fall ist die Zahl relevanter Einflussfaktoren und damit bei der Bewertung des von Abwasserkanälen ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials zu berücksichtigenden Datenebenen als zu hoch anzusehen, um über serielle Verschneidungen verarbeitet und zielführend zu einem Ergebnis geführt werden zu können. Die Zahl der bei angenommenen einigen Dutzend Einzelformationsebenen durch Verschneidung entstehenden Ergebnispoligone würde die Grenzen der Darstellbarkeit wie auch der menschlichen Aufnahme- und Leistungsfähigkeit bei der Abarbeitung bei Weitem übersteigen.

Hinzu kommt als mit ausschlaggebender Aspekt, dass die betrachtungsrelevanten Einzeldaten in der Praxis nicht oder zumindest nicht vollständig graphisch vorliegen werden, so dass zunächst eine entsprechende Bereitstellung entsprechender Daten in digitaler, von einem GIS verarbeitbarer Form erforderlich wäre, was mit einem zusätzlichen und nicht zu unterschätzenden Zeit- und vor allem Kostenaufwand verbunden wäre. Damit könnte das Expertensystem die an es gestellte Aufgabe einer raschen Ergebnisfindung nicht mehr erfüllen.

Graphische Analysen und damit der Einsatz von GIS erscheinen im Hinblick auf die betrachtete Fragestellung dann sinnvoll und realisierbar, wenn es darum geht, anhand einiger weniger zu berücksichtigender Einflussfaktoren mit besonderem Gewicht eine grundsätzlich mögliche Trassenlage zu finden, nicht jedoch wenn die detaillierte Gefährdungsbeurteilung unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Einflussfaktoren Ziel ist, bei der die Formulierung konkreter Handlungsanweisungen mit im Vordergrund steht. Hierzu wird kein allgemein raumbezogenes, sondern ein speziell situationsbezogenes Bewertungssystem benötigt, welches dem mehrdimensionalen Charakter der Thematik gerecht wird. Ein solches kann in seiner Komplexität und Ausrichtung durch ein GIS nicht in zielführender Art und Weise bereitgestellt werden.

Wirkungsanalysen

Wirkungsanalysen dienen der Aufschlüsselung von Wirkungsbeziehungen. Ihre Aufgabe ist die rückblickende Erklärung von Prozessen und Zuständen bzw. eine vorausschauende Prognose zukünftiger Zustände anhand von Fakten. Kernpunkt ist die Betrachtung von Wirkungen, die als „Veränderung eines Sachverhaltes durch die Veränderung eines anderen“ (SCHARPF 1982) definiert werden. Es gilt zu klären, wer was bei wem wodurch verursacht und damit die Frage zu beantworten, wodurch etwas verursacht wird, welche Wirkungen etwas hat und was passiert, wenn bestimmte Sachverhalte alleinig oder in Kombination eintreten (FÜRST 2004). Hierzu ist eine auf einer funktionalen Betrachtungsweise basierende Systemanalyse die Voraussetzung.

Ökologische Wirkungsanalysen beschäftigen sich mit der natürlichen Umwelt als einem Geflecht aus Ursachen und Wirkungen. Sie prüfen Ursachen umweltrelevanter Ereignisse, wobei sie Wirkungen eines bestimmten räumlichen Nutzungsanspruches systematisch erfassen und bewerten. Sie untersuchen Nutzungen, durch diese ausgelöste Reaktionen auf naturräumliche Potenziale und damit in Verbindung stehende und daher indirekt mit der Ursache verknüpfte Rückkopplungen. Somit werden Wirkungsketten und Wirkungsnetze analysiert, d.h. Wirkungen, welche zu Ursachen für neue Wirkungen werden. Ökologische Wirkungsanalysen versuchen damit, „das System Umwelt in seine Komponenten aufzuschlüsseln und dadurch zu modellieren“ (SCHOLLES 2006), wobei sie systematisch kausal, korrelativ und koinzident begründete Beziehungen untersuchen.

Hinzu kommt, dass sich Wirkungsbeziehungen in natürlichen Systemen infolge des erwähnten, oftmals gegebenen „Black-Box“-Charakters von Prozessen nicht unbedingt eindeutig und in ihrem genauen Stellenwert für den übergeordneten Wirkungskomplex anführen lassen. Wirkungsanalysen sind jedoch nur bei vorliegenden Kausalbeziehungen uneingeschränkt möglich. Aufgrund der Tatsache, dass die Natur jedoch nicht nur einigen wenigen, klar definierten Regeln folgt, lassen sich in vielen Fällen nur Korrelationen feststellen. Wirkungen treten oftmals erst nach längerer Zeit und kumulativ auf und gehen aus dem Zusammenspiel verschiedener, nicht selten zahlreicher Einzeleinflüsse hervor.

Es verbleiben hinsichtlich bestehender und bedeutsamer Wirkungsverknüpfungen sowie der Wahrscheinlichkeit des Eintretens bestimmter Wirkungen damit unvermeidbare Restunsicherheiten, welche auf Modellstrukturfehler, d.h. die erforderliche vereinfachte Berücksichtigung in Wahrheit hochkomplexer natürlicher Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zurückgehen oder durch natürliche Varianzen infolge räumlicher und zeitlicher Heterogenitäten begründet werden. Hinzu kommen Modellparameterfehler, d.h. Mess- und Schätzfehler, die darauf beruhen, dass Einflussgrößen, welche zur Abwägung der Gesamtsituation benötigt werden, z.T. nur schwer messbar bzw. abschätzbar sind.

Ein wichtiges Instrument von Wirkungsanalysen sind **Wirkungs- oder Verfechtungsmatrizen**, deren Ziel es ist, als entscheidungsrelevant erachtete Einflussfaktoren in Beziehung zueinander zu setzen, diese zu bewerten und Schlüsselfaktoren als solche zu identifizieren, um in kurzer Zeit mittels eines Vergleichs von Merkmalen und Phänomenen wichtigste räumliche Sensibilitäten im Hinblick auf eine bestimmte Raumnutzung zu ermitteln (SACHS 2006).

Eine Form der Wirkungsmatrix stellt die Konfliktmatrix dar, welche Aussagen über negative Auswirkungen von Maßnahmen auf die Umwelt macht. Sie zeigt zu erwartende Konsequenzen und potenzielle Konflikte auf, wobei sie Verknüpfungen zwischen relevanten Einflussfaktoren zum Ausdruck bringt. Sie sind als **Checklisten** in vielen Standardmethoden der Raumbewertung, z.B. der Umweltverträglichkeitsprüfung oder der Altlastenbewertung, obligatorisch. Die Schwäche von Verflechtungsmatrizen liegt oft darin, dass Wirkungsbeziehungen angegeben, jedoch in ihrer Art und Weise oft nicht erläutert werden, was die Transparenz der Ergebnisse herabsetzt und die Urteile in Frage stellen kann, da eine nachvollziehbare Rechtfertigung für getroffene Schlussfolgerungen nicht gegeben ist. Gerade die folgerichtige Bewertung von Prozessen und Abläufen ist jedoch für eine Ergebnisfindung entscheidend (FÜRST 2004).

Wirkungsdiagramme als ein anderes Instrument strukturieren zusätzlich Wirkungsabläufe und versuchen, diese Schwäche zu kompensieren. Sie bilden nicht zyklische Graphen mit Knoten und Kanten im Sinne von Fließdiagrammen, die Prozesse, Abläufe und Entwicklungen darstellen. Sie werden bei stark verzweigten Wirkungssystemen jedoch schnell unübersichtlich und verlieren an Nutzbarkeit. Den Vorteil einer weniger abstrakten, da räumlich konkreten Darstellung besitzt die Ökologische Risikoanalyse (s.u.), die neben kausaltypischen Zusammenhängen auch subjektive Wertungen berücksichtigt (SCHOLLES 2006).

Die Wirkungsanalyse stößt methodisch dort auf ihre Grenzen, wo die Menge der relevanten Einflussgrößen nicht mehr verarbeitet werden kann. Es stellt sich damit die Frage nach der

Herangehensweise bei vielschichtigen Wirkungsverknüpfungen. Ist die Zahl zu berücksichtigender Einflussfaktoren und Verknüpfungen gering und die Wirkungsbeziehungen klar und eindeutig bestimmbar, ist die Rede von „einfachen Systemen“ im Gegensatz zu „komplizierten Systemen“, bei denen die Zahl zu berücksichtigender Einflussfaktoren und Verknüpfungen hoch ist, Wirkungsbeziehungen jedoch klar und eindeutig definierbar bleiben.

Prozessabläufe in der Natur und somit auch im geologischen Untergrund sind dadurch, dass sie nur indirekt anhand ihrer Wirkungen definierbar sind, meist nicht klar und eindeutig zu bestimmen, was sie bei einer geringen Anzahl zu berücksichtigender Einflussfaktoren und Verknüpfungen zu „komplexen Systemen“ und bei einer hohen Anzahl zu berücksichtigender Einflussfaktoren und Verknüpfungen zu „überkomplexen Systemen“ werden lässt. Dies macht die Anwendung von Wirkungsanalysen, die alleinig an Algorithmen gebunden sind, unmöglich. Will man bei vielschichtigen und weitverzweigten Wirkungsgefügen dem Problem der Komplexität begegnen, so muss eine endliche Zahl von Einflüssen und Prozessen definiert werden und damit die Komplexität in einem statthaften Maße reduziert werden. SCHOLLES (2006) betont, dass für „keine Wirkungsanalyse [...] jemals alle erforderlichen Daten vollständig und gleichzeitig zur Verfügung stehen“ können.

Hieraus resultiert die bereits genannte Forderung, dass ein analytischer Ansatz auf wesentliche Einflussfaktoren und Wirkungsverknüpfungen beschränkt werden muss (vgl. Kap. 2.2). Das Erfordernis eines zielgerichteten, nach Möglichkeit „einfachen“ Analyseansatzes bedeutet, dass problemspezifisch und normativ wesentliche Einflussfaktoren und Wirkungsverknüpfungen einschließlich deren Anfang und Ende festgelegt werden müssen.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte erscheint ein wirkungsanalytischer Ansatz im Hinblick auf die betrachtete Problematik in Bezug auf die von Abwasserkanälen und Abwasserleitungen ausgehende potenzielle Grundwassergefährdung grundsätzlich geeignet. Das bestehende Emergenzproblem, dass nicht alle Eigen-

schaften eines Wirkungssystems aus den Eigenschaften und Beziehungen seiner Komponenten heraus geschlossen werden können, kann über die Berücksichtigung von Expertenwissen bei der Erarbeitung von Entscheidungsfindungen kompensiert werden. „Ziel muss es [...] sein, analytisch-reduktionistische und holistische Vorgehensweisen zusammenzuführen“ (SCHOLLES 2006).

Bewertungsmethoden

Während es Aufgabe der angeführten Analysemethoden ist, das strukturelle Grundgerüst der Untersuchung eines mitunter komplexen raumbezogenen Sachverhalts zu bilden und geeignete Analysewege und -methoden zu definieren, aus denen sich zielgerichtete neue raumbezogene Kenntnisse ableiten, ist es bei vielen Fragestellungen zudem erforderlich und/oder gewünscht, den analysierten fallspezifischen Daten ein Bewertungsurteil zuzuweisen, das die betrachtete Raumdatenkonstellation gesamtheitlich qualitativ (unter Umständen auch quantitativ) einordnet und den betrachteten Sachverhalt hinsichtlich seiner Wirkungsbedeutung mit anderen Sachverhalten vergleichbar macht.

Welche Art der Bewertungsmethode in Frage kommt, hängt unmittelbar von der Art und Vielschichtigkeit der zu bewertenden Ausgangsdaten wie auch von der Fragestellung ab. Grundsätzlich lassen sich bei umwelt- und raumplanerischen Fragestellungen folgende Bewertungsmethoden und -techniken unterscheiden :

- Präferenzmatrizen und Relevanzbäume,
- Umweltbilanzmethoden,
- Kosten-Nutzen- und Nutzwertanalysen,
- Raumempfindlichkeitsuntersuchungen,
- ökologische Risikoanalysen,
- verbalargumentative Bewertungen.

Die jeweiligen Methoden sind in Reinform, vielfach jedoch auch in kombinierten Misch- und Übergangsformen einsetzbar. Sie werden nachfolgend hinsichtlich ihrer Möglichkeiten sowie im

Hinblick auf ihre Eignung in Bezug auf einen etwaigen Einsatz bei der vorliegenden Fragestellung charakterisiert. Vertieft werden die verschiedenen Methoden u.a. von GNEST (2007), SCHOLLES (2006) und FÜRST (2004) behandelt.

Präferenzmatrizen und Relevanzbäume

Aufgabe von **Präferenzmatrizen** ist eine Zusammenführung weniger Einflussfaktoren zu abstrakteren Einflüssen. Hierzu ist es erforderlich, dass die zu kombinierenden Einflussfaktoren klassifiziert, d.h. zumindest ordinal skaliert vorliegen. Die Aggregation erfolgt dabei durch logische Kombination, d.h. Wenn-Dann-Aussagen, da eine arithmetische Aggregation bei lediglich Ordinalskalen nicht zulässig ist (SCHOLLES (2006)). Präferenzmatrizen sind nur bei der Verknüpfung von zwei („Quadrat- bzw. Rechteckmatrix“) bis drei Einzelinformationen („Würfel- bzw. Quadermatrix“) sinnvoll anwendbar und stoßen bei komplexeren Wirkungsverzweigungen an ihre Grenzen.

Für die vorliegende Fragestellung erscheint es nicht zielführend zu versuchen, die mannigfaltigen Wirkungsverknüpfungen zwischen geologischem Untergrund, Abwasserkanal und Maßnahmendurchführung alleinig durch ein schrittweises Verknüpfen von jeweils nur zwei oder drei Einzeleinflüssen anzugehen, da davon auszugehen ist, dass die Komplexität der Ursache-Wirkungs-Beziehungen hierdurch eine zu starke Abstraktion erhalte. Zudem besteht das Problem, dass so auch Verknüpfungen betrachtet werden, welche für die Zielaussage ohne direkte Bedeutung sind, jedoch die Zeit des Experten bei der Erarbeitung in Anspruch nehmen.

Der Ansatz der Betrachtungen logischer Wenn-Dann-Relationen wird jedoch als grundsätzlich richtige Herangehensweise angesehen, da sie es vermeidet, dass es zu einer Kombination verschiedener Einflussfaktoren über eine Verrechnung von Zahlenwerten kommt. Es sollte sich dabei jedoch auf solche Relationen beschränkt werden, welche von besonderem bzw. überhaupt von Belang für die betrachtete Fragestellung sind, was keineswegs alle theoretisch möglichen Kombinationen von Einflussfaktoren sind.

An diesem Punkt greifen **Relevanzbäume** an, die im Sinne von Fließ- oder Ablaufsdiagrammen komplexere Sachverhalte analytisch in ihre Einzeleinflüsse als Elemente aufgliedern und sich dabei, anders als die Präferenzmatrix, auf wesentliche, d.h. relevante Merkmale und Ausprägungen beschränken. Dies erscheint insbesondere im Hinblick auf bedeutungsstarke Kriterien, welche bereits alleinig zu einer Gesamtaussage führen bzw. eine solche maßgeblich beeinflussen, zweckmäßig.

Mit zunehmender Komplexität der Wirkungsbeziehungen, d.h. steigender Zahl der zu betrachtenden Einflussfaktoren und zu berücksichtigender Verschachtelungen, werden Relevanzbäume und die diesen zugrunde liegenden Wenn-Dann-Verknüpfungen jedoch oftmals ebenfalls unübersichtlich, so dass eine Verarbeitung und Darstellung des gesamten Wirkungskomplexes in einem Relevanzbaum an seine Grenzen stößt und es erforderlich wird, das betrachtete Gesamtwirkungsgefüge in einzelne Relevanzbäume zu untergliedern, die wiederum in Relation zueinander zu setzen sind (FÜRST 2004).

Die Verwendung von Relevanzbäumen als struktureller Grundlage zur Ergebnisfindung und Situations- und Planungsbewertung wird im vorliegenden Fall als durchaus zielführend erachtet, sofern von dem Versuch Abstand genommen wird, das gesamte Wirkungsgefüge in einem gemeinsamen Relevanzbaum zu kombinieren. Vielmehr wird es als sinnvoll angesehen, verschiedene, bestimmte Sachverhalte abdeckende und abfragende Relevanzbäume zu betrachten und deren Ergebnisfindung schlussendlich zusammenzuführen. Als Grundlage dieser einzelnen Relevanzbäume können Wirkungsverknüpfungen mit besonderer Aussagebedeutung im Sinne von Schlüsselprägungen angesehen werden.

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit kann hierbei auf eine graphische Darstellung der Wirkungsbeziehungen im Sinne klassischer Relevanzbäume verzichtet werden, wenn diese als formalisierte Algorithmen mit Hilfe Boole'scher Operatoren dargestellt werden. Dies erscheint auch im Hinblick auf die Bereitstellung einer unmittelbar nutzbaren Programmierschrift sinnvoll.

Kosten-Nutzen- und Nutzwertanalysen

Ziel der **Kosten-Nutzen-Analyse** ist die Prüfung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme und damit die Findung der ökonomisch effektivsten Lösung zu einer gestellten Aufgabe. Die Kosten-Nutzen-Analyse versucht Wirkungen über monetäre Größen zu werten und dadurch die aus finanzieller Sicht sinnvollste Alternative auszuwählen. Hierzu ist es erforderlich, dass sich die zu betrachtenden Wirkungen als Kosten definieren lassen, d.h. dass eine eindeutige Korrelation zwischen eintretenden bzw. absehbaren Folgen und einem Geldwert anführbar ist. Eine solche Verbindung lässt sich jedoch im Hinblick auf Grundwassergefährdungen durch potenzielle Stoffemittenten wie Abwasserkanäle nicht angeben, da es nicht möglich ist, mit dem Bau einer Abwasserkanalisation verbundene Risiken und Folgen für das Grundwasser monetär zu fassen.

Allenfalls einige der bewertungsrelevanten Einflussgrößen, in der Regel diejenigen betreffend den Abwasserkanal als Ingenieurbauwerk, wie z.B. Rohrausführung, Verlegetechnik und Bettungsart, lassen sich gleichzeitig mit Kosten und Grundwassergefährdungspotenzialen in Verbindung bringen. SCHOLLES (2006) führt hierzu an: „Man sollte [...] die Kosten-Nutzen-Analyse für den Zweck benutzen, für den sie erfunden worden ist: für die ökonomische Bewertung. Man sollte sie nicht durch mehr oder weniger aufgesetzte Bewertung von [...] Umweltauswirkungen zweckentfremden. Stattdessen müssen parallel und gleichberechtigt [...] Umweltverträglichkeitsprüfungen durchgeführt werden“.

Trotz ihrer Unzulänglichkeiten ist die Kosten-Nutzen-Analyse bei Infrastrukturmaßnahmen in der Regel obligatorisch, was u.a. daran liegen dürfte, dass Geld bei mehrdimensionalen Zielsystemen der eingängigste Vergleichsmaßstab und damit insbesondere außerhalb von Fachkreisen vermeintlich besser zu vermitteln und zu überschauen ist, als abstrakte Zahlen oder umfangreiche Argumentationen. Bei naturschutzrelevanten Fragestellungen wird die Kosten-Nutzen-Analyse inzwischen vielfach von Prüfverfahren begleitet, welche dem Umweltschutz besser entsprechen wie z.B. ökologischen Wirkungs- bzw. Risikoanalysen.

Dennoch darf der übergeordnete Grundgedanke der Kosten-Nutzen-Analyse, die Findung einer ökonomisch optimierten Lösung bei gleichzeitiger vollinhaltlicher Erfüllung der Planungsaufgabe, bei der Betrachtung der vorliegenden Fragestellung nicht gänzlich unberücksichtigt bleiben. Schließlich wird an das Expertensystem die Forderung gestellt, ökonomische Aspekte bei der Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Abwasserkanalbauplanung zumindest indirekt zu berücksichtigen.

Dies soll einen effektiven Grundwasserschutz bei gleichzeitig effizientem Einsatz finanzieller Mittel gewährleisten und damit Entscheidungen ermöglichen, die in begründeten Fällen bei der Realisierung von Abwasserkanälen innerhalb von Wasserschutzgebieten eine andere als die technische und damit meist auch finanzielle Maximallösung statthaft werden lassen. Kosten-Nutzen-Analysen erscheinen daher als ergänzender Folgeschritt sinnvoll, wenn zwischen verschiedenen, nach Expertenmeinung in ihrem Grundwassergefährdungspotenzial vergleichbaren oder ähnlichen Planungsalternativen die kostengünstigste gefunden werden soll.

Eine andere Art der Kosten-Nutzen-Betrachtung zur Abwägung unterschiedlicher Planungsalternativen stellt die **Nutzwertanalyse** dar. Anders als die Kosten-Nutzen-Analyse beurteilt sie nicht die alleinige wirtschaftliche Effizienz, sondern versucht, über eine weiter gefasste Betrachtung von Nutzwerten u.a. auch umweltrelevanten Aspekten gerecht zu werden (ZANGEMEISTER 1971). Damit untersucht die Nutzwertanalyse weniger die Effizienz, sondern vielmehr die Effektivität einer Planungskonstellation.

Die Methode beruht dabei auf der Annahme, dass sich der Gesamtnutzen als betrachtetes Oberziel in gewichtete Einzelziele untergliedern lässt, aus denen sich das Oberziel über hierarchisch geordnete Indikatoren berechnen lässt. Oft angeführter Kritikpunkt ist hierbei, dass Auswahl und Gewichtung der Indikatoren nicht ausreichend begründet werden, was zu Lasten der Transparenz der Ergebnisfindung geht. SCHOLLES (2006) beurteilt die Zielgewichtung der Nutzwertanalyse daher als „meist mystisch“.

Selbiges gilt für den Nutzwert als abstrakter Zahlenwert. Besonderer Kritikpunkt ist die oben bereits erläuterte Gefahr, dass es beim Versuch, Nutzwerte mathematisch zu bestimmen, dazu kommt, dass kausal voneinander unabhängige und für die Zielaussage individuell bedeutsame Informationen nivelliert werden. Zudem wird sich eine Überführung in vielen Fällen zunächst verbaler Bewertungen zu Nutzwerten nur selten problemlos durchführen lassen, ohne dass sich ein größerer Informationsverlust oder rechnerische Relationen ergeben, die sich fachlich nicht rechtfertigen lassen bzw. dem realen Skalenniveau der Ausgangsdaten nicht gerecht werden. Diesen Schwächen soll die Nutzwertanalyse der zweiten Generation begegnen, die zur Zusammenführung der Nutzwerte statt Rechenoperationen logische, d.h. verbalargumentativ gerechtfertigte Verknüpfungen verwendet. Es verbleibt die Schwierigkeit der Transformation und Formalisierung sowie der Definition von Zielhierarchien und der Aggregation von Einflusskriterien (FÜRST 2004).

Der von der Nutzwertanalyse aufgegriffene Ansatz der Aufgliederung eines komplexen Sachverhaltes in Teilaspekte, aus deren Einzelbewertung letztlich die Gesamtbewertung der betrachteten Planungsalternative resultiert, erscheint im Hinblick auf die Auswahl eines geeigneten Analyse- und Bewertungsansatzes für die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Fragestellung als richtiger Weg. Solange dabei die holistische Betrachtung der Problemstellung berücksichtigt bleibt, ist ein solches Vorgehen auch entscheidungstheoretisch zu rechtfertigen.

Raumempfindlichkeitsuntersuchung

Raumempfindlichkeitsuntersuchungen basieren methodisch auf dem Analyseverfahren der Überlagerung und sind bei der Suche von Verkehrs- und Infrastrukturstrassen oder Standorten für größere punktuelle Anlagen gängig. Ziel ist das Finden konfliktarmer Korridore für Infrastrukturstrassen bzw. Standorte. Zum Zeitpunkt der Untersuchung ist der Trassenverlauf bzw. Standort noch nicht festgelegt, sodass konfliktträchtige Trassen bzw. Standorte frühzeitig ausgeschlossen werden können (FÜRST 2004).

Im Hinblick auf die verfolgte Fragestellung wird eine graphische Lösung und Alternativenbewertung im Sinne der Überlagerung aus den im Punkt „Graphische Analysen (Überlagerung)“ geschilderten Gründen als nicht zielführend angesehen. Sie kann und sollte vor einer konkreten Trassenentscheidung zum Ausschluss ungeeigneter Trassenführungen anhand weniger räumlicher Ausschlusskriterien genutzt werden, nicht jedoch die an das Expertensystem gestellte Aufgabe im Hinblick auf eine detaillierte Abwägung konkreter Planungskonstellationen einer bzw. mehrerer bereits festgelegter Trassen vor dem Hintergrund der mannigfaltigen, die potenzielle Grundwassergefährdung beeinflussenden untergrund- und bauwerksspezifischen Kriterien im Einzelnen erfüllen.

Ökologische Risikoanalyse

Die **Ökologische Risikoanalyse** stellt eine Form der ökologischen Wirkungsanalyse dar, deren Aufgabe es ist, die ökologische Nutzungsverträglichkeit eines Vorhabens oder einer Planung alleinig oder im Vergleich mit anderen Alternativen zu beurteilen, wobei die wirkungsbeschreibenden Zusammenhänge nicht immer kausalanalytisch genau bestimmbar sind, sondern auch subjektive Einschätzungen in Form von Expertenwissen über zu vermutende Prozesse und Abhängigkeiten im betrachteten Kontext berücksichtigt werden (SCHOLLES 2006).

Grundlage ist die Nutzwertanalyse der zweiten Generation. Die Beurteilung der relevanten Sachverhalte erfolgt formal über die Bewertung der Intensität der potenziellen Beeinträchtigung, der räumlichen Empfindlichkeit gegenüber Beeinträchtigungen und dem daraus abzuleitenden Risiko der Beeinträchtigung. Empfindlichkeit und Intensität einer Beeinträchtigung werden durch geeignete Indikatoren im Sinne von Einflussfaktoren repräsentiert und einander gegenüber gestellt. Die Ableitung von Werturteilen und die Bestimmung des Risikos erfolgt über Präferenzmatrizen und/oder -bäume, bei denen Zuordnungen verbalargumentativ erfolgen. Ob Teilrisiken oder aber eine alle Teilrisiken umfassende Gesamtrisikobewertung Ziel der Betrachtung ist, ist einzelfallabhängig und vom betrachtenden

Wirkungsgefüge und der inhaltlichen Verknüpfung der betrachteten Teilaspekte abhängig.

Im vorliegenden Fall erscheint ein methodisches Vorgehen gemäß der Ökologischen Risikoanalyse sinnvoll, allerdings soll durch das Expertensystem nicht nur eine Aussage zum Grundwassergefährdungspotenzial, das von der Errichtung von Abwasserkanälen ausgeht, gemacht werden, sondern auch Handlungsempfehlungen formuliert werden, die zu einer etwaigen Planungsmodifikationen führen können, welche das Grundwassergefährdungsrisiko verringern können. Daher wird es erforderlich, bei der Betrachtung von Wirkungsverknüpfungen auch zu berücksichtigen, wie die potenzielle Grundwassergefährdung durch Planungsveränderungen positiv beeinflusst werden kann. Durch das zu betrachtende komplexe Wirkungsgefüge wird die Betrachtung zudem auf Wirkungsverknüpfungen beschränkt werden müssen, welche für die Ergebnisaussage von unmittelbarem oder mittelbarem Belang sind, damit ein handhabbarer Rahmen an zu prüfenden Wirkungsverknüpfungen gewährleistet bleibt (vgl. Kap. 2.4).

Verbalargumentative Bewertungen

Verbalargumentative Bewertungen stellen im menschlichen Gebrauch die gängigste Form der Beurteilung dar. Sie verfolgen das Ziel, Sachverhalte ausschließlich durch textliche Argumentation und ohne Zuhilfenahme arithmetischer oder logischer Aggregation zu bewerten und auf diesem Weg Wirkungen abzuleiten. Sie zählen in Reinform zu den nicht quantifizierenden Bewertungssystemen, wodurch auf die Formulierung von Zielsystemen verzichtet werden kann.

Die fehlende Formalisierung ist gleichsam auch die Schwäche der Methode. In vielen Anwendungsfällen lassen sich infolge der Komplexität der zu betrachtenden Wirkungsgefüge Formalisierungen nicht vollständig vermeiden und werden unabdingbar, um die zu bewertenden Sachverhalte verarbeiten und bewerten zu können. Lediglich bei überschaubaren Thematiken kann auf eine Zuordnung kardinaler oder ordinaler Werturteile wie z.B. Gefährdungsklassen dadurch verzichtet werden, dass Ursache-Wir-

kungs-Beziehungen tabellarisch als Fakten einander gegenübergestellt und gesamtheitlich über eine ausschließlich verbale Betrachtung von Kausalketten bewertet werden.

Bei einer höheren Zahl zu betrachtender Einflussgrößen, Wirkungsverknüpfungen und Folgen stößt dieses Vorgehen rasch an seine Grenzen, da eine unformalisierte verbalargumentative Bewertung auf unmittelbaren Paarvergleichen basiert. Dabei werden bewertungsrelevante Einflussgrößen, welche verschiedene Planungsalternativen repräsentieren, einander gegenübergestellt und dabei verglichen, welche Ausprägung der betrachteten Einflussgröße vor dem Hintergrund der Minimierung von Nachteilen besser oder schlechter abschneidet. Theoretisch muss so jedes relevante Einflusskriterium einer Alternative mit dem aller weiterer Alternativen verglichen werden. Dies bedeutet jedoch, dass die Zahl der durchzuführenden Paarvergleiche exponentiell mit der Zahl der Einflusskriterien bzw. deren Ausprägungen steigt.

Eine gewisse Formalisierung ist daher auch bei verbalargumentativen Bewertungen vielfach unerlässlich, was jedoch zu Unschärfen in der methodischen Abgrenzung z.B. zur Ökologischen Risikoanalyse oder zur Nutzwertanalyse der zweiten Generation führt, die wie erläutert ebenfalls verbalargumentative Schritte enthalten. So greifen viele verbalargumentative Bewertungen beispielsweise auf Rangordnungen („Rankings“ bzw. „Ratings“) zurück, die unterschiedliche Ausprägungen von bewertungsbedeutsamen Einflusskriterien und somit letztlich Planungsalternativen und resultierende Empfehlungen gegeneinander abgrenzen. Verbreitet ist auch das Arbeiten mit Tabellen, Checklisten oder Prüfkriteriumskatalogen (KNOSPE 1998).

Der Vorteil des verbalargumentativen Ansatzes liegt ohne Zweifel darin, Wirkungsverknüpfungen über verbale Wenn-Dann-Hypothesen zu beschreiben und dadurch zweifelhafte Transformationen in abstrakte Nutzwerte oder Berechnungsgrößen zu vermeiden. Dies ermöglicht ein zielgerichteteres Anpassen des Bewertungsverfahrens an die zu betrachtende Fragestellung. Da die verbalargumentative Bewertung praktisch keinerlei methodischen Vorgaben un-

terliegt und dahingehend Spielraum für willkürliche und unvollständige Bewertungen besitzt, macht sie eine textliche Erläuterung der betrachteten Wirkungsverknüpfung erforderlich, um die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Ansatzes zu wahren.

Der Grundgedanke der verbalargumentativen Bewertung wird in Bezug auf die innerhalb dieser Dissertation behandelte Fragestellung im

Hinblick auf das Problemfeld zwischen Abwasserkanal, Untergrund und Trinkwassergewinnung als möglicher Ansatz bewertet, wobei infolge der besonderen Komplexität des betrachteten Wirkungsgefüges auf eine gewisse Formalisierung und damit eine Übergangsform zu formalisierten Bewertungsmethoden nicht verzichtet werden kann. In Reinform erscheint die Verbalargumentation aus den geschilderten Gründen ungeeignet.

2.4 Auswahl und Anpassung eines zielführenden Analyse- und Bewertungsansatzes sowie dessen immanente Charakteristiken und anwendungsspezifische Möglichkeiten

Formalisierter oder nicht formalisierter Prognoseansatz

An wissenschaftliche Prognosen ist die Forderung zu stellen, dass diese objektiv, überprüfbar, nichttrivial sowie zielführend sind. Ihre Aufgabe ist es, einen zukünftigen Sachverhalt und somit eine Entwicklung vorauszusagen, damit unterstützende Maßnahmen zu deren Eintritt oder aber Gegenmaßnahmen zu deren Abwendung bzw. Veränderung ergriffen werden können. Eine Prognose setzt sich damit aus dem Vorauszusagenden, den Gesetzmäßigkeiten, auf deren Grundlage zukünftige Zustände abgeleitet werden, und den Anwendungsbedingungen zusammen (STIENS 1996).

Grundsätzlich gilt festzuhalten, dass das für eine Analyse und Bewertung raumbezogener Informationen und Faktenkonstellationen einzusetzende Werkzeug, d.h. in diesem Fall die Struktur, der Aufbau und die Funktion des Expertensystems zur Einschätzung des von zu errichtenden Abwasserkanälen ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials innerhalb von Wasserschutzgebieten, nach der Problemstellung und damit dem gesamtheitlich zu betrachtenden Komplex sich teilweise gegenseitig bedingender und die Bewertung beeinflussender Abwägungskriterien auszuwählen ist.

Wie die vorangegangenen Ausführungen gezeigt haben (vgl. Kap. 2.3), verfügen die verschiedenen in den Raum- und Umweltwissen-

schaften verfügbaren Verfahren und Ansätze zur Analyse und Bewertung räumlicher Sachverhalte und darauf einwirkender anthropogener Einflüsse alle über unterschiedliche methodische Schwächen, deren Abwägung dazu führt, dass keine der vorgestellten Methoden für die vorliegende Ausgabenstellung uneingeschränkt, also in Reinform anwendbar angesehen wird.

Strikt formalisiert aufgebaute Analyse- und Bewertungsmethoden scheiden aus, da bei ihnen die Abwägungskriterien, die den zu betrachtenden Sachverhalt zwischen Abwasserkanal und Untergrund beschreiben, nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ fassbar sein müssten. Es wird fachlich weder als sinnvoll noch als begründbar angesehen zu versuchen, alle entsprechenden Einflussfaktoren in abstrakte numerische Werte zu transformieren, aus denen durch rechnerische Operationen ein Werturteil abgeleitet wird. Hierzu erforderliche mathematisch klar definierbare Abhängigkeiten und Relationen zwischen den Abwägungskriterien lassen sich wissenschaftlich in den meisten Fällen nicht begründen. Grund hierfür ist u.a., dass das Skalenniveau vieler Kriterien für entsprechende Rechenoperationen nicht ausreichend hoch ist, sowie die Tatsache, dass viele zu betrachtende Wirkungsverknüpfungen zwischen einzelnen Abwägungskriterien nicht kausalen, sondern korrelativen und koinzidenten Charakter besitzen. Gegen strikt formalisiert aufgebaute Analyse- und Bewertungsmethoden spricht außerdem

die Komplexität der Aufgabenstellung und die weite Verzweigung des Wirkungsgefüges zwischen Kanalbauwerk und Untergrund.

Auch ein rein verbalargumentativer Ansatz mit Berücksichtigung aller denkbarer Kombinationen bewertungsrelevanter Einflussgrößen ist nicht umsetzbar. Ginge man z.B. von einer Zahl von 50 zu berücksichtigten Indikator- bzw. Abwägungskriterien mit jeweils nur zwei Ausprägungsalternativen aus¹¹, würden hieraus weit über 1.125.000.000.000.000, d.h. über 1,125 Billionen mögliche Kombinationen von Ausprägungsverknüpfungen resultieren, die unmöglich alle mit einer Handlungsanweisung oder Gefährdungseinschätzung verknüpft werden könnten. Selbst wenn man davon ausginge, dass ein Mensch für das Zuweisen einer Handlungsempfehlung lediglich eine Minute bräuchte – was bei einer Kombination von so vielen Einzelkomponenten bereits unrealistisch wenig Zeit wäre – würde eine Gruppe von 1.000 Experten zur Bewältigung dieser Menge an zu betrachtenden Permutationen noch immer etwa 2,1 Millionen Jahre Arbeitszeit benötigen, und das, ohne dabei nur eine Minute pausiert zu haben!

Kombinierter Ansatz als gewählte Lösungsstrategie

Aufgrund der dargestellten Schwierigkeiten und Ausschlussgründe wird für die vorliegende Aufgabenstellung ein kombinierter Analyse- und Bewertungsansatz auf Grundlage einer verbalargumentativen Betrachtung relevanter Wirkungsverknüpfungen mit Berücksichtigung einer formalen Struktur ähnlich der von Wirkungsanalysen und der Ökologischen Risikoanalyse als eine theoretisch mögliche und gleichzeitig praktisch umsetzbare Methode angesehen, um den benötigten Analyse- und Bewertungsalgorithmus zu definieren und damit die Inferenzmaschine des Expertensystems GRABWAS aufzubauen.

Mit einer Kombination aus Verbalargumentation und Formalisierung kann bei der Erhebung der Ausgangs- und der Planungssituation bezüglich vorgesehenem Kanalbauwerk und betroffenem

Wasserschutzgebiet die Zahl der zu beachtenden Fallpermutationen begründbar auf ein handhabbares Maß reduziert werden. Die Gesamtaussage geht dabei aus der Einzelbetrachtung verschiedener Abwägungskriterien und deren Ausprägungen hervor, die argumentativ gewichtet und miteinander verknüpft werden. Da nicht jedes Abwägungskriterium zur Bewertung der Ausgangs- und Planungssituation die gleiche Aussagekraft besitzt und nicht jede Verknüpfungskombination von Relevanz für die Abschätzung der Grundwassergefährdung und die Formulierung von Empfehlungen zur Planungsabsicherung ist, ist eine Betrachtung aller möglicher Kriteriumspermutationen nicht notwendig. Jeder theoretisch denkbare Verknüpfung von Einflussgrößen eine zielführende Aussage abzuleiten ist nicht nur nicht möglich, sondern auch nicht erforderlich.

Damit kann sich auf solche Wirkungsverknüpfungen konzentriert werden, die von Entscheidungsbedeutung für die Ergebnisfindung sind. Welche Kombinationen dies sind, muss fachlichwissenschaftlich abgewogen werden. Hierzu sind Kriterien und Kombinationen von Kriterien zu definieren, welche von Bedeutung für die angestrebte Zielaussage sind und damit von Relevanz für die Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials bzw. für die Formulierung von Handlungsempfehlungen zur etwaigen Reduzierung des Grundwassergefährdungsrisikos. Hinzu kommen Verknüpfungen mit deskriptivem Charakter, welche für eine gesamtheitlich abgerundete und reflektierte Betrachtung benötigt werden. Methodisch kann das Aufspüren entsprechender Wirkungsverknüpfungen über definierte Bedingungsregeln und ein „Backward Chaining“ erfolgen (vgl. Kap. 2.1). Die Verkettung und Gewichtung von Abwägungsgrößen und Wirkungsverknüpfungen erfolgt dabei argumentativ auf Grundlage von Expertenwissen, welches den aktuellen wissenschaftlichen und fachlichen Stand der Kenntnis widerspiegelt.

Auf den detaillierten Aufbau des Expertensystems GRABWAS und des diesem zugrunde liegenden Analyse- und Bewertungsmodells wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen, welche zunächst das methodische Vorgehen zur Entwicklung des Expertensystems do-

¹¹ im Wahrheit wird die Anzahl der Alternativen in vielen Fällen durchaus mehr als nur zwei betragen

kumentieren (vgl. Kap. 3) sowie im Anschluss dessen Struktur, Funktion und Zielfindung erläutern (vgl. Kap. 4 bis 7) und an einem Fallbeispiel verdeutlichen (vgl. Kap. 8).

Durch die textlichen und tabellarischen Erläuterungen zum Analyse- und Bewertungsmodell, insbesondere zur Wahl und Bedeutung der Abwägungskriterien sowie zu den darauf aufbauenden Interaktionen zwischen verschiedenen Kriterien und zur Zuweisung von Handlungsempfehlungen und Gefährdungseinschätzungen, wird die geforderte Transparenz des Analyse- und Bewertungsansatzes gewährleistet. Generalisierungen und Klassifizierungen haben sich dort, wo diese notwendig werden, ebenso wie Angaben zu ausprägungsindividuellen Gefährdungsbewertungen nach anerkannten Klassifizierungs- und Bewertungsmaßstäben zu richten. Damit soll eine größtmögliche Objektivität gewährleistet werden. Dennoch sind konträre oder voneinander abweichende Meinungsbilder im Hinblick auf betrachtete und bewertete Interaktionen nicht immer auszuschließen, weswegen die Erläuterungen getroffene Entscheidungen nachvollziehbar machen sollen.

Mit Hilfe dieses Vorgehens und der Definition entscheidungsrelevanter Verknüpfungen zwischen Abwägungskriterien und deren Ausprägungen werden methodische Schwächen der Analyse- und Bewertungssysteme in Reinform umgangen und eine methodische Umsetzbarkeit gewährleistet, die auf einem handhabbaren Rahmen zur zielgerichteten Realisierung der Zielvorgabe gründet.

Das Maß der potenziellen Grundwassergefährdung wird im vorliegenden Fall aufgrund der geschilderten Probleme nicht quantitativ definiert, sondern wie bereits angeführt in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ (DWA 2002a) in Form einer Klassifizierung in die Gefährdungsbewertungen „weniger hoch“, „hoch“ und „besonders hoch“. Eine Definition von mehr als drei Klassen erschien nicht begründbar und hätte im Hinblick auf die Gesamtaussage zu keinem höheren Aussagegehalt, sondern eher einer nicht zu begründenden Pseudogenauigkeit geführt.

Möglichkeiten und Grenzen des Ansatzes

Die Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser erfolgt qualitativ durch Einstufung in die drei zuvor angeführten Gefährdungsklassen. Eine quantitative Einstufung des Gefährdungspotenzials, beispielsweise im Sinne von Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Schadensfälle bzw. eines als negativ eingestuften Ereignisses mit Rückschlüssen auf das Risiko für das Grundwasser, ist nicht möglich. Bei einer wie im vorliegenden Fall komplexen Fragestellung ist bei der Erarbeitung des Analyse- und Bewertungsalgorithmus die Konzentration auf entscheidungsrelevante Betrachtungspunkte notwendig, um eine Anwendbarkeit des Systems bei den unterschiedlichsten Konstellationen zwischen Kanalbaumaßnahme und Untergrund in der Praxis zu ermöglichen.

Trotz der Aufgabe, durch eine umfassende Berücksichtigung als bedeutsam beurteilter Einflüsse vielen Ausgangs- und Planungssituationen der Praxis gerecht zu werden und damit eine weitreichende Anwendbarkeit des Expertensystems zu gewährleisten, bleibt anzumerken, dass sich mittels des Expertensystems dennoch lediglich die potenzielle Grundwassergefährdung abschätzen, nicht aber die tatsächliche Gefährdung des Grundwassers angeben lässt. Wechselbeziehungen und Wirkungseinflüsse sind je nach einzelfallspezifischer Situation nicht immer mit Sicherheit oder zweifelsfrei vorherseh- oder anführbar (vgl. Kap. 2.3), so dass selbst bei bestmöglicher Datenlage eine begründete Einschätzung eines Sachverhaltes kein Anspruch auf ein in jedem Fall einhundertprozentig zutreffendes Abbild der Realität besteht. Es verbleibt damit ein gewisses Restrisiko, dass eine Gefährdungseinschätzung zu kritisch oder aber nicht kritisch genug ist. Dieses kann in vielen Fällen durch detaillierte gutachtliche Einzelfallbetrachtungen zwar minimiert, jedoch nicht vollständig vermieden werden.

Ein Expertensystem kann daher lediglich das Gefährdungspotenzial, d.h. das situations- und planungsbedingt absehbare Risiko einer eintretenden Gefährdung anführen, nicht jedoch die wirkliche Gefahr. Dies beruht darauf, dass in Modellsystemen, welche natürliche Wirkungsge-

füge betrachten, oft nur Annahmen zum aus Expertensicht wahrscheinlichen Zusammenwirken verschiedener Einflusskriterien berücksichtigt werden können, nicht aber gesagt werden kann, ob diese sicher eintreten. So geht z.B. in Gebieten, die von Bodensetzungen betroffen sind, von Rohren mit Steckverbindungen eine grundsätzlich geringere potenzielle Gefährdung aus, da sich Steckverbindungen flexibler gestalten als Schweißverbindungen und damit das Risiko von Abwasserkanalleckagen nach Bewegungen im Untergrund geringer ist als bei starren Schweißverbindungen. Diese grundsätzliche Einschätzung sagt jedoch nichts darüber aus, ob die letztendliche Gefahr bei der entsprechenden Verwendung von Schweißverbindungen wirklich zu einer realen Gefährdung führt, schließlich müssen Bodenbewegungen bei Schweißverbindungen nicht zwangsweise zu Undichtigkeiten an Rohrstößen führen.

Die Angabe einer konkreten Gefahr wäre nur bei bereits bestehenden, nicht aber bei geplanten Abwasserkanälen und -leitungen möglich. Wurden in einem Setzungsgebiet Abwasserrohre mit Steckverbindungen verwendet und ist es durch Bodensetzungen zu Undichtigkeiten gekommen, dann besteht je nach Art und Menge des austretenden Abwassers, der baulichen Ausführung der Bettungszone, dem Aufbau des Untergrundes sowie dem Grundwasserstand im Verhältnis zur Kanalsohle nicht nur eine potenzielle, sondern eine konkrete Gefahr für das Grundwasser. Es kann demnach nur dann von einer Gefahr im Gegensatz zu einem Gefährdungspotenzial oder Risiko gesprochen werden, wenn der Eintritt einer Schädigung bereits nachzuweisen oder zumindest mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist.

Ein wie das Expertensystem GRABWAS an definierte Abwägungskriterien und deren kausal, korrelativ und koinzident begründete Wirkungsverknüpfungen angelehntes Modellsystem stellt oft die einzig geeignete methodische Möglichkeit dar, komplexe Fragestellungen mit geowissenschaftlichem Hintergrund und entsprechendem Blackbox-Charakter adäquat anzugehen und einer Analyse bzw. Bewertung zuzuführen, weswegen dies auch für die in der vorliegenden Arbeit betrachtete Beurteilung des von Abwas-

serkanälen ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials in Wasserschutzgebieten als zielführendes Instrument angesehen wird.

Noch einmal soll an dieser Stelle betont werden, dass ein Expertensystem lediglich der Entscheidungshilfe dienen kann, nicht jedoch den Ingenieur und Geowissenschaftler vollständig ersetzen kann und darf (vgl. Kap. 2.1). Von einem Expertensystem gelieferte Aussagen können eine detaillierte Projektplanung und Standortabwägung nicht ersetzen, sondern lediglich unterstützend zum Einsatz kommen, um diese abzusichern oder tendenzielle, gegebenenfalls steuernde Vorabüberlegungen zu ermöglichen.

Zudem bleibt zu berücksichtigen, dass die Aussagequalität eines Expertensystems immer nur so gut sein kann, wie die Kenntnisse des Anwenders hinsichtlich der beabsichtigten Planungs- und der gegebenen Untergrundsituation sind. Probleme, die aus dem unbedachten Beantworten von Erhebungsfragen ausgehen, können nur durch den Nutzer selbst vermieden werden. Einem Missbrauch des Expertensystems durch bewusste Falschbeantwortung von Erhebungsfragen zur Beeinflussung oder Schönung der Zielaussage kann nicht vorgebeugt werden. Eine gewissenhafte Nutzung ist Voraussetzung dafür, zu belastbaren Ergebnissen zu gelangen. Die sinnvolle Anwendung eines Expertensystems ist damit nur dann möglich, wenn der Nutzer ausreichend mit den einflussnehmenden und im System berücksichtigten Einflussgrößen, also der Ausgangs- und Planungssituation betreffend Kanalbauwerk, Umfeld und Untergrund vertraut ist.

Das erarbeitete Bewertungssystem ist so konzipiert, dass es als methodische Bewertungsbasis in eine EDV-gestützte Entscheidungshilfeprogrammierung überführt werden kann. Eine derartige Weiterführung wäre aus Sicht einer besseren Nutzbarkeit des Bewertungssystems sowie einer im Vergleich zur manuellen Auswertung von Erhebungsbögen schnelleren Ergebnisfindung sinnvoll, ist jedoch nicht Zielsetzung der vorliegenden Arbeit sowie der vorausgegangenen Forschungs- und Entwicklungsprojekte, welche sich auf die inhaltliche Entwicklung des Expertensystems beziehen.

3 Methodik zur Entwicklung des Expertensystems zur fallspezifischen Grundwassergefährdungseinschätzung

3.1 Übersicht über die Arbeitsbausteine zur Entwicklung des Expertensystems und den methodischen Ablauf

Modulare Herangehensweise

Die methodische Vorgehensweise zur Entwicklung des Expertensystems GRABWAS gliedert sich in fünf aufeinander aufbauende, sich inhaltlich teilweise überlappende modulare Bearbeitungsschritte. Schwerpunkte und Zielsetzung der einzelnen Bausteine sowie die diesbezügliche methodische Herangehensweise und die erzielten Ergebnisse, welche in den nachfolgenden Kapiteln im Detail erläutert werden (vgl. Kap. 3.2 bis 3.6), lassen sich zusammenfassend hinsichtlich ihrer Kernpunkte wie folgt skizzieren:

Im **ersten Arbeitsbaustein** erfolgt zunächst die Analyse der fachlich-wissenschaftlichen Grundlagen als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines entsprechenden Expertensystems zur Entscheidungshilfe und damit die Schaffung und Bereitstellung der benötigten Wissensbasis. Bewertungsrelevante Abwägungskriterien zur Einschätzung der fallindividuellen örtlichen Ausgangs- und Planungssituation bei einer geplanten Errichtung einer Abwasserkanalisation innerhalb eines Wasserschutzgebietes sind zu definieren und zu differenzieren. Aufgabe ist es dabei Bewertungskriterien zu finden, die als Abwägungsgrößen eine Aussagekraft bei der fachlich richtigen Einschätzung der Grundwassergefährdungssituation besitzen und relevant für die Absicherung, Überprüfung und etwaige Modifikation der beabsichtigten Abwasserkanalbauplanung innerhalb eines wasserwirtschaftlich genutzten Raumes sind.

Nach einer Sammlung und geordneten Zusammenstellung entsprechend einfluss- und bewertungsrelevanter Kriterien folgt im nächsten Schritt deren Differenzierung nach möglichen Ausprägungen, d.h. der Gestalt, die diese annehmen können. Die differenzierten Ausprägungen gilt es danach im Hinblick auf deren indivi-

duelles Grundwassergefährdungspotenzial zu bewerten. Die erzielten, textlich dokumentierten und begründeten Ergebnisse werden in thematischen Checklisten zusammengeführt, die einzelne Kriteriengruppen widerspiegeln und die späteren anwenderbezogenen Erhebungsbögen zur Einspeisung der Ausgangs- und Planungssituation darstellen, welche dem Expertensystem als Instrument zur fallspezifischen Faktenaufnahme dienen und zur Schnittstelle zwischen Wissensbasis und zu bewertendem Planungssachverhalt werden (vgl. Kap. 2.1).

Als Zielorientierung und Arbeitsgrundlage für die anschließenden Betrachtungen werden Handlungsempfehlungen zur Überprüfung und Modifikation der Kanalbauplanung zusammengestellt, die später aus den erhobenen Aspekten zu Abwasserkanalbauwerk, Maßnahmendurchführung, räumlichem Umfeld und Untergrund resultieren können und die gegebenenfalls zu einer Verringerung des Grundwassergefährdungsrisikos durch Veränderung der angestrebten Kanalplanung beitragen können. Welche der Empfehlungen letztlich ausgesprochen werden, ist später einzelfallspezifisch von der jeweiligen Faktenkonstellation abhängig. Die Zielaufstellung berücksichtigt auch verschiedene Gefährdungsurteile in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) bzw. das DWA-Merkblatt M 146 (2004), welche aus der Bewertung der örtlichen Gegebenheiten und kanalspezifischen Planungen hervorgehen und das Grundwassergefährdungspotenzial gesamtheitlich charakterisieren und damit die Ergebnisfindung des Expertensystems abschließend zusammenfassen sollen.

Darauf aufbauend werden im **zweiten Arbeitsbaustein** bestehende und abzubildende fachlich-inhaltliche wie auch plausibilitätsbezogene Wirkungsverknüpfungen der einfluss- und bewertungsrelevanten Abwägungskriterien, welche

im System später für die Abwägung der Ausgangs- und Planungssituation und die Zuweisung von Gefährdungsurteilen und Handlungsempfehlungen erforderlich sind, analysiert und untereinander bestehende Wirkungszusammenhänge, Wirkungsbeeinflussungen und Wirkungsabhängigkeiten herausgearbeitet. Diese Interaktionen repräsentieren das zu betrachtende Wirkungsgefüge, an welches die Inferenzmaschine des Expertensystems (vgl. Kap. 2.1) anzupassen ist und das als elementarer Bestandteil in die Entwicklung des Analyse- und Bewertungsmodells mit einfließt.

Hierzu wird es erforderlich, kritische Verknüpfungen von Kriteriumsausprägungen miteinander interagierender Abwägungskriterien, d.h. Faktenkonstellationen zwischen räumlichen Gegebenheiten, der geplanten Ausführung des Abwasserkanals und der Art der Umsetzung der Baumaßnahme zu erkennen und in ihrer Bedeutung hinsichtlich einer gesamtheitlichen Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und auszusprechender Empfehlungen zur Planungsüberprüfung und etwaigen Planungsmodifikation einzuordnen. Dabei wird gleichzeitig die Zusammenstellung der Handlungsempfehlungen konkretisiert. Die diesbezüglich erzielten Ergebnisse werden unter Berücksichtigung der als relevant erachteten Ausprägungsverknüpfungen tabellarisch zusammengestellt und erläutert, wodurch der Entscheidungsprozess transparent gestaltet werden soll.

Im Anschluss werden im **dritten Arbeitsbaustein** die Ergebnisse der vorangegangenen Schritte in einen Analyse- und Bewertungsalgorithmus überführt, der als Kernbaustein die Inferenzmaschine des Expertensystems darstellt und den Aufbau und Inhalt des Analyse- und Bewertungsmodells widerspiegelt. Dieser beruht auf eindeutigen Zuordnungen, welche entscheidungsrelevante Ausprägungsverknüpfungen mit räumlichen Risiken und Sensibilitäten und damit letztendlich dem Grundwassergefährdungspotenzial sowie mit Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der Kanalbauplanung und Maßnahmendurchführung kombinieren. Hierzu werden zur Zuweisung der Handlungsempfehlungen und zur Ableitung des ge-

samtheitlichen Grundwassergefährdungspotenzials verschiedene Zuordnungstabellen ausgearbeitet, über sie sich die gewünschten Zielaussagen nachvollziehbar ableiten lassen.

Danach werden im **vierten Arbeitsbaustein** Textbausteine formuliert, welche die vom Nutzer des Expertensystems eingegebenen fallindividuell zutreffenden Fakten als automatisierte Textdarstellung der Ausgangs- und Planungssituation zusammenfassen und die resultierende Einschätzung von Risiken, Sensibilitäten und schließlich der potenziellen Grundwassergefährdung sowie der auszusprechenden Handlungsempfehlungen als abschließendes Kurzgutachten ausgeben. Durch die Bereitstellung des Analyse- und Bewertungsalgorithmus und der Textbausteine sind die Programmiergrundlagen für eine mögliche Umsetzung des Bewertungssystems in eine Computersoftware oder Webapplikation gegeben.

Abschließend erfolgt im **fünften Arbeitsbaustein** in Rückkopplung zu den vorangegangenen Arbeitsbausteinen eine Verifizierung der Entscheidungsfindung des Analyse- und Bewertungsmodells und damit des Expertensystems anhand verschiedener Fallbeispiele, welche die letzte Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser im von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet und die resultierenden Handlungsempfehlungen anhand von Anwendungsbeispielen kritisch reflektiert. Eines der betrachteten Fallbeispiele wird dabei in der Arbeit zur Veranschaulichung des Entscheidungsverlaufes und der Ergebnisfindung des Expertensystems exemplarisch und ausführlich erläutert.

Ablaufschema

Abb. 11 stellt die einzelnen Arbeitsbausteine, die im Weiteren hinsichtlich ihres methodischen Vorgehens (vgl. Kap. 3.2 bis 3.6) und der erzielten Ergebnisse (vgl. Kap. 4 bis 8) ausführlich dokumentiert werden, in einem graphischen Schema dar, das den Ablauf der Entwicklung des Expertensystems GRABWAS in einer Übersicht darstellt.

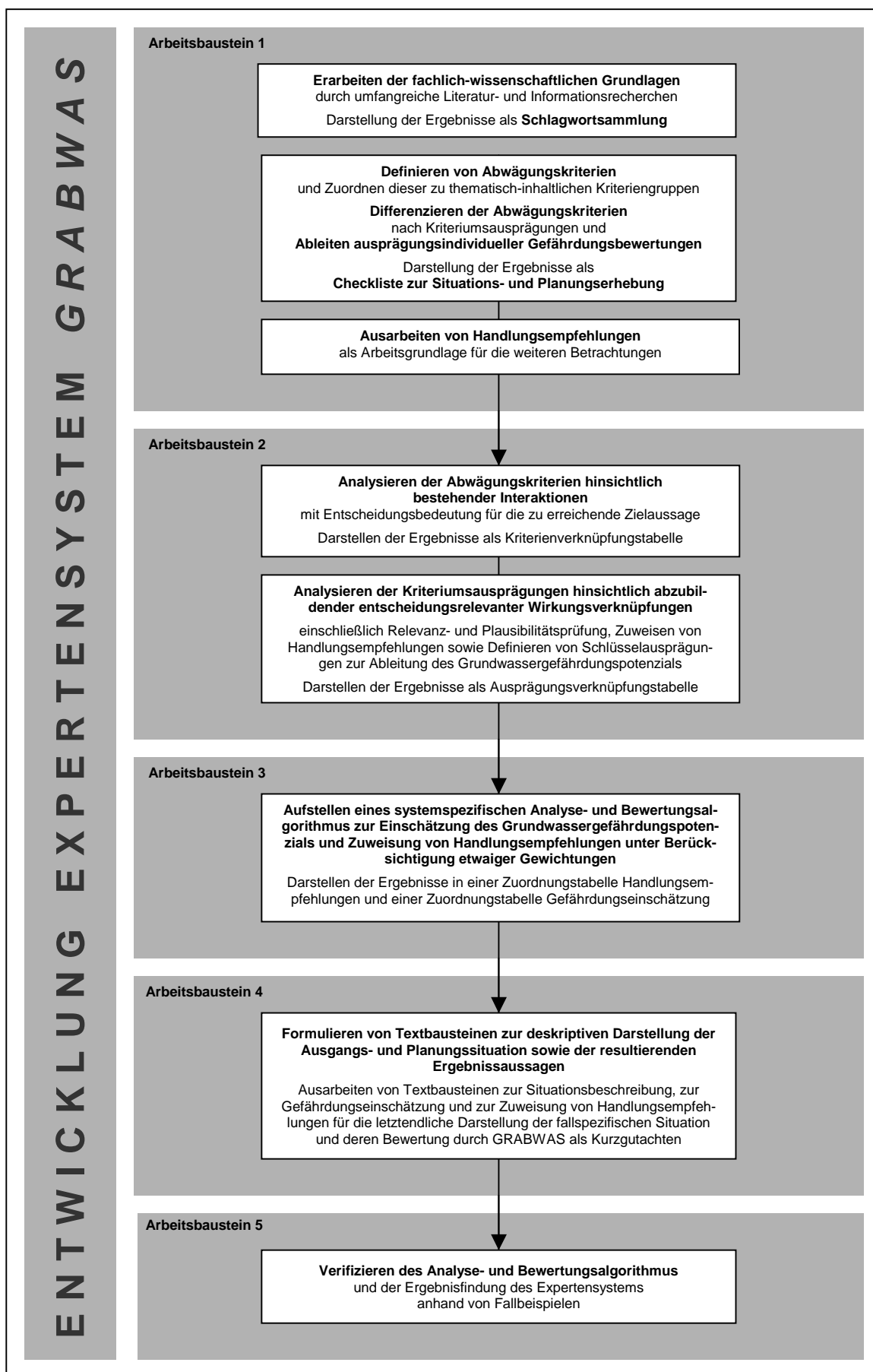


Abb. 11: Methodischer Ablauf der Entwicklung des Expertensystems

3.2 Arbeitsbaustein 1: Erarbeiten der fachlich-wissenschaftlichen Grundlagen und Definieren einfluss- und bewertungsrelevanter Kriterien zur Beurteilung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation

Grundlagenermittlung

Innerhalb des ersten Arbeitsbausteins gilt es zunächst, die wissenschaftlichen Zusammenhänge als Grundlage für das zu entwickelnde Expertensystem zu erarbeiten, wozu eine umfangreiche **Literatur- und Informationsrecherche** zum aktuellen Meinungsbild und zum derzeitigen Stand der Technik erforderlich ist. Die Recherche umfasst ein Auswerten anerkannter Standardwerke und Lehrbücher der Geo-, Umwelt- und Ingenieurwissenschaften sowie aktueller Fachveröffentlichungen zu den Themen Grundwasserressourcenmanagement, Grundwasserschutz und -sensibilität sowie zum Bau und Betrieb von Abwasserkanälen sowie zu auftretenden Schadensbildern bei Kanälen und zu deren Instandsetzung. Ergänzend wird auch nachbarwissenschaftliches Fachwissen u.a. der Bodenkunde, Mikrobiologie und Chemie betrachtet. Auch ältere Veröffentlichungen, welche im Laufe der Zeit möglicherweise veränderte fachliche Ansichten wiedergeben und damit im Vergleich zur derzeitigen Meinung von Relevanz sein können, sind zu berücksichtigen.

Von besonderer Bedeutung ist u.a. das technische Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) sowie des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) wie auch Gesetze, Verordnungen, Richtlinien sowie Normen mit unmittelbarem und mittelbarem Bezug zum Grundwasserschutz sowie zum Abwasserkanal als Ingenieurbauwerk. Sie spiegeln den Stand der Technik und damit das anerkannte fachlich-wissenschaftliche Meinungsbild wider. Auch die Themenstellung betreffende oder flankierende Veröffentlichungen anderer Institutionen, z.B. verschiedener Fachbehörden sowie dem Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW), sind berücksichtigt.

Ein Schwerpunkt liegt auch auf Einzelveröffentlichungen zum Thema Grundwassergefährdung durch Abwasserkanalisationen sowie Alterungs-

erscheinungen an Abwasserkanälen und Abwasserleitungen. Hierbei erweisen sich insbesondere Zeitschriften des Wasserfaches und Bauingenieurwesens sowie Tagungs- und Symposiumsbände zu entsprechenden Veranstaltungen als wichtige Rechercheansätze.

Insgesamt zeigt sich, dass die Thematik der potenziellen Grundwassergefährdung durch Abwasserdurchleitungen vielfach zwar als gegeben und in ihrer Bedeutung als nicht zu unterschätzen angesehen wird, differenzierte Betrachtungen in einer umfassenden Art und Weise fehlen jedoch, was zulässige bzw. erforderliche Arten der baulichen Ausführung eines Abwasserkanalbauwerks innerhalb von Wassergewinnungsgebieten sowie insbesondere die Grundwassergefährdung vor- oder nachteilig beeinflussende räumliche und/oder bauwerks- und maßnahmenumsetzungsspezifische Gegebenheiten angeht. Dies ist auch mit Grund für das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gewesen, die beiden Forschungsprojekte zur entsprechenden Grundlagenermittlung zu fördern, auf denen diese Arbeit aufbaut (STEIN 2003; STEIN 2006).

Im Hinblick auf die Entwicklung eines Expertensystems zur Entscheidungsfindung sind darüber hinaus bereits vorliegende Expertensysteme u.a. für geowissenschaftliche Fragestellungen und diesbezügliche Veröffentlichungen zu analysieren und auf mögliche Hilfestellungen für die betrachtete Fragestellung zu untersuchen. Auch grundlegendes Wissen zu Analyse-, Prognose- und Bewertungstechniken und -methoden der Raum- und Umweltwissenschaften und deren mögliche Umsetzbarkeit im vorliegenden Fall werden ausführlich betrachtet (vgl. Kap. 2)

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Literatur- und Informationsrecherche werden in einer Art **Schlagwort-**

sammlung zusammengetragen, die Gesichtspunkte anführt, welche aus fachlicher Sicht eine Rolle zur Beurteilung der Grundwassergefährdungssituation besitzen könnten. Die Zusammenstellung muss mit besonderer Sorgfalt erfolgen und sollte nach Möglichkeit alle unter Umständen relevant erscheinenden Abwägungsgrößen umfassen. Dies ist insofern wichtig, als dass eine zielgerichtete Informationserhebung für eine qualifizierte und belastbare Ergebnisfindung unerlässlich ist.

Die etwaig als relevant zu erachtenden Aspekte werden zunächst bezugslos, dann thematisch nach Betrachtungsschwerpunkten geordnet aufgelistet. Etwaige Widersprüchlichkeiten sowie im Laufe der Zeit veränderte Ansichten und Meinungsbilder sind zu berücksichtigen und zu vergleichen. Erste fachinhaltliche und wissenschaftliche Zusammenhänge werden als solche identifiziert und in Vorgriff auf die sich anschließenden Arbeitsschritte festgehalten. Neben der redaktionellen Arbeit zeigt sich innerhalb des ersten Arbeitsbausteins insbesondere das fachwissenschaftliche Auswerten und Abwägen unterschiedlicher Quellen und Aussagen von Bedeutung. Dabei liegt eine besondere Aufgabe darin, geo- und ingenieurwissenschaftliche Betrachtungsaspekte und Ansichten aufeinander abzustimmen und im Hinblick auf die verfolgte Zielsetzung zusammenzuführen.

Definieren von Abwägungskriterien

Auf Grundlage der ausgewerteten und hinsichtlich ihrer Aussagen aufeinander abgestimmten Fachliteratur sind die wissenschaftlichen Zusammenhänge zu erarbeiten, welche das zu betrachtende Wirkungsgefüge repräsentieren. Hierzu sind zunächst einfluss- und bewertungsrelevante Kriterien zur Einschätzung der fallspezifischen örtlichen Situation zu definieren.

Vorgabe hierbei ist, Bewertungsgrößen zu finden, die eine Aussagekraft zur fachlich richtigen Einschätzung der potenziellen örtlichen Grundwassergefährdungssituation und/oder eine Relevanz für die Absicherung, Überprüfung und Modifikation der beabsichtigten Abwasserkanalbauplanung besitzen. Hierzu sind **Abwägungs-**

kriterien zu definieren, welche es erlauben, die für eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung der Abwasserkanalbauplanung vor dem Hintergrund der lokalen Gegebenheiten und Einflüsse im betroffenen Wassergewinnungsgebiet erforderlichen Sachverhalte zu fassen und diese für eine Verarbeitung im Expertensystem bereit zu stellen.

Die Auswahl dieser Kriterien erfolgt auf Grundlage der erarbeiteten Schlagwortsammlung, welche komprimiert und konzentriert wird. Es ist zu prüfen, inwiefern dort zusammengestellte Schlagwörter gleiche oder ähnliche Aspekte abdecken und dadurch zusammengefasst oder vernachlässigt werden können. Ausgehend davon werden Kriterien mit Bezug zur Gestaltung des Kanalbauwerks und zur Durchführung der Baumaßnahme sowie solche, welche Charakteristiken und Besonderheiten des trassenumgebenden Geländes sowie insbesondere des potenziell betroffenen Grundwassers beschreiben, gesucht. Diese sind **Kriteriengruppen** zuzuordnen, welche die Betrachtungsaspekte thematisch strukturieren und damit die Grundlage für die Analyse des Wirkungsgefüges zwischen Abwasserkanal, Untergrund, Grundwasser und Wassergewinnung darstellen.

Insgesamt werden sieben Kriteriengruppen unterschieden, denen jeweils eine unterschiedlich hohe Zahl von Abwägungskriterien zugeordnet wird. Eine berücksichtigt abwasserkanalspezifische Kriterien, wie u.a. Art und Tiefenlage des Kanals, Konstruktion, Nennweite und Länge der Rohre sowie Art des abzuleitenden Abwassers, eine zweite baudurchführungsspezifische Kriterien, wie u.a. Bauweise bzw. Bauverfahrenstechnik und Dauer der Maßnahme. Des Weiteren sind wassergewinnungsspezifische Kriterien von Belang, darunter u.a. die von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutz-zonen, die Art der potenziell betroffenen Wassergewinnungsanlagen sowie deren Stellenwert für die Wasserversorgung. Eine weitere Kriteriengruppe fasst geländespezifische, d.h. geographische Kriterien zusammen, worunter u.a. Geländemorphologie, Oberflächenabfluss und besondere räumliche Charakteristiken wie Überschwemmungs- und Setzungsgefährdungen fallen.

Darüber hinaus werden untergrundspezifische, d.h. lithologische und hydrogeologische Kriterien berücksichtigt, die u.a. Aufbau und Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung und des Grundwasserleiters sowie Charakteristiken des potenziell gefährdeten Grundwassers erfassen. Ergänzend dazu sind datenkenntnispezifische Kriterien wichtig, welche dazu dienen, Qualität und Umfang der vorliegenden untergrundspezifischen Kenntnisse einordnen zu können. Diese stehen in unmittelbarem Bezug zur Belastbarkeit der später für einen konkreten Betrachtungsfall erzielten Ergebnisaussage.

Neben den angeführten Aspekten werden für jede Kriteriengruppe weitere Abwägungskriterien gesucht und geprüft. Dabei gilt es zwar nach Möglichkeit alle einfluss- und bewertungsrelevanten Kriterien zu beachten, jedoch muss im Hinblick auf die Gewährleistung der späteren Umsetzbarkeit im Analyse- und Bewertungsmodell des Expertensystems bedacht werden, dass die Menge der letztlich zu berücksichtigenden Abwägungskriterien überschaubar bleibt. Es ist ferner darauf zu achten, dass es sich um Gesichtspunkte handelt, über die im konkreten Anwendungsfall auch mit hoher Wahrscheinlichkeit verlässliche Angaben möglich sind.

Das Ergebnis der Suche nach geeigneten einfluss- bzw. bewertungsrelevanten Kriterien ist eine **Checkliste**, welche Arbeitsgrundlage für die weiteren Betrachtungen ist und möglichst alle Abwägungsgrößen umfasst, die nach fachlicher und gutachtlicher Ansicht für eine folgerichtige Einschätzung der von der Errichtung einer Abwasserkanalisation innerhalb eines Wassergewinnungsgebietes ausgehenden potenziellen Grundwassergefährdung bedeutsam sind. Ein Ansatz zu einer solchen Erhebungsmatrix findet sich bereits im DWA-Merkblatt M 146 (2004) (vgl. Kap. 1.2) und ist in vergleichbarer Form auch Ausgangspunkt anderer Bewertungsschlüssel und Expertensysteme, wie u.a. denen von WAGNER (2003) und GREWING (1994).

Differenzieren der Abwägungskriterien

Im nächsten Schritt wird es erforderlich, die als einfluss- und bewertungsrelevant erachteten

Abwägungskriterien nacheinander detailliert zu betrachten und zu prüfen, inwiefern diese differenziert werden können.

Ziel hierbei ist es, **Kriteriumsausprägungen** abzuleiten, welche jedes Kriterium näher beschreiben und von Bedeutung für die Ergebnisfindung und das darauf abzielende Analyse- und Bewertungsmodell sind. Die Kriterien stellen die späteren Erhebungsfragen für das Expertensystem dar, ihre Ausprägungen die dem Nutzer angebotenen Antwortalternativen, aus denen dieser die für die jeweilige Fallsituation zutreffende auszuwählen hat. Methodisch wird hierzu die bis dato einspaltige Liste um eine zweite Spalte erweitert, in der jedem Kriterium seine jeweiligen Ausprägungen zugeordnet werden.

Auch bei der Auswahl der zu berücksichtigenden Ausprägungen ist es erforderlich, deren Zahl auf das notwendige Maß zu beschränken, wozu eine wissenschaftliche Komprimierung erforderlich wird. Diese erfolgt dergestalt, dass Ausprägungen teilweise gruppiert werden, sofern von ihnen eine vergleichbare Bedeutung für die Ergebnisfindung ausgeht, was zuvor fachlich abzuwägen ist. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Anzahl der später zu betrachtenden Wirkungsverknüpfungen verarbeitbar bleibt und die fachliche Grundlage für die Entwicklung der Inferenzmaschine die Möglichkeiten der methodischen Umsetzbarkeit nicht übersteigt (vgl. Kap. 2.4).

Für das Abwägungskriterium „Lithologie des Grundwasserleiters“ wären beispielsweise in Bezug auf einen Festgesteinsgrundwasserleiter u.a. die Ausprägungen „Konglomerat“, „Sandstein“, „Karbonatgestein“, „Magmatit“ oder „Metamorphit“ denkbar. Hinsichtlich ihrer hydrogeologischen Eigenschaften können „Konglomerat“ und „Sandstein“ sowie „Magmatit“, „Metamorphit“ und „Karbonatgestein“ jeweils zusammengefasst werden, da es sich bei Ersteren um biporöse Poren-Kluft-Aquifere bzw. Kluftaquifere mit relevanter Porenraumbedeutung, bei Letzteren um klassische Kluft- oder gar Karstaquifere ohne Porenraumbedeutung handelt.

Mit jeder Vereinfachung und jedem Zusammenschluss von Ausprägungen zu Klassen oder

Gruppen ist ein unvermeidlicher Verlust an Informationen verbunden. Eine fachliche Komprimierung ist daher nur soweit statthaft, wie sie begründbar und für eine belastbare Ergebnisfindung zweckdienlich ist. Sie stößt auf ihre Grenzen, wo die Generalisierung zu stark vereinfacht und damit die letztliche Aussage verwässert.

Die Differenzierung eines Abwägungskriteriums erfolgt grundsätzlich qualitativ, kann gleichzeitig jedoch auch quantitativ sein. Dies zeigt sich vom jeweiligen Kriterium selbst und dem von ihm umfassten Sachverhalt abhängig. Eine quantifizierte Differenzierung erfordert, dass klar anzuführende und fachlich begründbare Maßstäbe zur Quantifizierung vorliegen, d.h. dass Größenwerte und gegebenenfalls bestimmte Wertespannen umfassende Klassen klaren qualitativen Aussagen zugeordnet werden können.

Diesbezügliche Zuweisungen müssen dem allgemein anerkannten fachlichen Meinungsbild entsprechen und für die betrachtete Fragestellung zielführend sein. Die Differenzierung von Einfluss- und Bewertungskriterien sowie gegebenenfalls erforderlich werdende Klassifizierungen haben sich daher, wo dies möglich ist, Maßstäben, welche aus Lehrbüchern, anerkannten Fachveröffentlichungen oder technischen Regelwerken stammen, zu bedienen oder auf solchen begründet aufzubauen. Hierdurch soll nicht begründbaren Klassifizierungen und Zuordnungen vorgebeugt werden. Insgesamt sind Abwägungskriterien mit wenigen, eindeutigen Ausprägungen mit diskretem Charakter am besten zu differenzieren. Am einfachsten ist eine Differenzierung dann, wenn es nur zwei Ausprägungen im Sinne von „Ja“ und „Nein“ zu berücksichtigen gilt.

Bei zahlreichen untergrundspezifischen Sachverhalten wie z.B. der Untergrunddurchlässigkeit, der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung oder dem Grad der Oberflächenversiegelung kann sich vorliegender Klassifizierungen bedient werden. Liegen verschiedene anerkannte Klassifizierungen alternativ zueinander vor, ist ein Vergleich dieser untereinander durchzuführen und sich für eine zu entscheiden. Kann keine Klassifizierung ermittelt werden oder scheinen vorliegende Klassifizierungen ungeeignet

für das Expertensystem, sind eigene Klassenbildungen begründet vorzuschlagen.

Bei Abwägungskriterien wie z.B. der Verlegetiefe des Abwasserkanals, der Mächtigkeit von Gesteinsschichten oder der Untergrunddurchlässigkeit, deren Ausprägungen stetigen Charakter besitzen (vgl. Kap. 2.3), wird eine Klassifizierung aufgrund der unendlich großen Anzahl möglicher Ausprägungen zwangsweise erforderlich. Die Klassifizierung kann hierbei verbal umschreibend oder anhand numerischer Grenzwerte erfolgen. Aus einem Verzicht auf konkrete Zahlenwerte als Klassengrenzen können dann Probleme resultieren, wenn Uneinigheiten darüber bestehen, wann ein Fall einer bestimmten verbal definierten Klasse zuzuordnen ist.

Im Hinblick auf die Untergrunddurchlässigkeit sind z.B. die verbalen Klassen „undurchlässig“, „gering durchlässig“, „durchlässig“ und „gut durchlässig“ denkbar. Je nach Ansicht des Betrachters könnte z.B. ein Gestein, das für jemanden, der die Beurteilung von Festgesteinen gewohnt ist, subjektiv bereits „gut durchlässig“ erscheint, von einem anderen, der im Bereich von Lockergesteinen erfahren ist, jedoch nur als „durchlässig“ beurteilt werden. Dass zudem in der Fachwelt unterschiedliche Klassifizierungen für die Untergrunddurchlässigkeit existieren, welche den einzelnen Verbalbeschreibungen mitunter unterschiedliche Durchlässigkeitsbeiwerte zuordnen, verschärft das Problem. In solchen Fällen lässt sich Missverständnissen und Fehlzuordnungen dadurch entgegenwirken, dass auf Klassifizierungen zurückgegriffen wird, die auf eine verbale Klassendefinition entweder ganz verzichten oder die verbale mit einer numerischen Klassendefinition kombinieren.

In Fällen, in denen Werturteile nur schwer oder gar nicht an Zahlenwerte zu knüpfen sind, können durch eine verbale Klassendefinition entstehende Unschärfen jedoch auch gewollt und von Vorteil sein. Soll z.B. die Verlaufsänge eines geplanten Abwasserkanals in einer Wasserschutzzone bewertet werden, ist die Wahl unbestimmter, qualitativ differenzierter Ausprägungen wie „über kurze Entfernung“ und „über längere Entfernung“ weitaus sinnvoller als die Wahl bestimmter, quantitativ differenzierter Ent-

fernungsangaben in Metern. Hierbei hängt es von der Einschätzung des Antwortenden ab, wie eine spezifische Fallsituation einzustufen ist.

Bei Kriterien mit diskreten Ausprägungen wie z.B. der von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzzone sind die möglichen Ausprägungen endlich und oft auch überschaubar. Allerdings ist auch hier bisweilen eine Klassifizierung sinnvoll oder gar erforderlich, um die Zahl der wählbaren Antwortalternativen bei der Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation im späteren Expertensystem zu begrenzen. Auch wenn vermieden werden soll, dass mehrere Antwortalternativen gleichzeitig zutreffen können, erscheint eine Gruppierung von Ausprägungen zweckdienlich, um eine Verkomplizierung der Struktur des Analyse- und Bewertungsmodells zu vermeiden.

So könnte z.B. innerhalb eines Wassergewinnungsgebietes mehr als nur eine Schutzzone von einer geplanten Abwasserdurchleitung betroffen sein, weswegen bei der Differenzierung und Auswahl der Ausprägungen Gruppierungen bzw. Verkettungen zu berücksichtigen sind. Würden lediglich „Schutzzone I“, „Schutzzone II“ und „Schutzzone III“ differenziert, träfe unter Umständen mehr als nur eine Ausprägung zu. Wird unter Beachtung eines sich gegenseitigen Ausschließens dagegen „nur Schutzzone III“, „Schutzzone II und III“, „nur Schutzzone II“ und „unter anderem Schutzzone I“ differenziert, kann immer nur eine Alternative zutreffen.

Bewerten der Differenzierungen

Aufbauend auf den vorherigen Betrachtungen erfolgt im Anschluss ein Bewerten der einzelnen Differenzierungen hinsichtlich ihres individuellen Einflusses auf die potenzielle Grundwassergefährdung. Jeder Ausprägung ist dabei eine nachvollziehbare Wertung zuzuordnen, die eine Aussage dazu macht, ob die jeweilige Ausprägung verschärfenden oder entschärfenden bzw. gegebenenfalls auch neutralen Charakter im Hinblick auf das Grundwassergefährdungsrisiko besitzt. Nachvollziehbar heißt in diesem Zusammenhang, argumentativ nachvollziehbare Zuordnungen vorzunehmen.

Bei der **ausprägungsindividuellen Gefährdungsbewertung** ist im Besonderen auf solche Ausprägungen zu achten, von denen ein höheres Gewicht auf die Bewertung der Gesamtsituation ausgeht bzw. ausgehen kann. Bereits dem Zutreffen eines Faktums allein ist unter Umständen so viel Bedeutung zuzumessen, dass hierdurch bereits eine Handlungsempfehlung bedingt wird.

Eine solche, in verschiedenen Bewertungssystemen u.a. als „K.O.-Fall“ bezeichnete Ausprägung, wäre im vorliegenden Fall z.B. eine beabsichtigt Abwasserkanalführung durch eine Wasserschutzzone I. Aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen und Festlegungen des DVGW-Arbeitsblattes W 101 (2006) sind, wie erwähnt, innerhalb des Fassungsgebietes einer Wassergewinnung Abwasserkanäle auch in Ausnahmefällen nicht statthaft. Soll ein solches Vorhaben dennoch realisiert werden, wäre damit unmittelbar die Konsequenz verbunden, die Kanaltrasse zu verlegen oder aber die betroffene Wassergewinnung dauerhaft aufzugeben.

Jeder Ausprägung der einfluss- und bewertungsrelevanten Kriterien wird ein objektives Bewertungsurteil zugeordnet, das deren individuelle Grundwassergefährdungsbedeutung definiert, und das jede Differenzierung eigenständig und unabhängig vom Zusammenwirken mit anderen Kriterien betrachtet. Hierbei wird sich folgenden Bewertungsurteilen bedient:

- deutlich gefährdungsbestätigend,
- gefährdungsbestätigend,
- neutral,
- gefährdungsmindernd,
- deutlich gefährdungsmindernd.

Wo einer Ausprägung ohne Wirkungsverknüpfung zu anderen Kriterien und deren Ausprägungen aus fachlicher Sicht kein entsprechendes Urteil zugewiesen werden kann, ist eine neutrale Bewertung zuzuweisen. Grundlage für die jeweiligen Gefährdungseinschätzungen bildet wiederum anerkanntes Fachwissen sowie darauf gründende fachwissenschaftliche Abschätzungen. Die Resultate der individuellen

Gefährdungseinschätzung bilden die dritte Tabellenspalte der erarbeiteten Checkliste.

Wichtig ist anzumerken, dass ein unmittelbarer Vergleich ausprägungsspezifischer Bewertungsurteile verschiedener Kriterien untereinander nicht ohne Weiteres möglich ist, sondern prinzipiell als kriteriumsindividuelles Bewertungsranking zu sehen ist. Die zugewiesenen Individualbewertungen werden sich später von Bedeutung für die Identifizierung kritischer Kriterienkonstellationen im Hinblick auf die Zuweisung von Handlungsempfehlungen sowie insbesondere solchen mit Schlüsselcharakter für die gesamtheitliche Bewertung des Grundwassergefährdungsrisikos erweisen und sind damit wichtige Grundlage für die in den nachfolgenden Arbeitsbausteinen zu betrachtenden Wirkungsverknüpfungen.

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Arbeitsbausteins fließen in sieben thematischen Checklisten zusammen, die insgesamt 54 grundsätzlich als einfluss- und bewertungsrelevant eingestufte Abwägungskriterien umfassen. Diese liefern sachdienliche Hinweise für eine folgerichtige und gesamtheitliche Bewertung des Grundwassergefährdungsrisikos durch eine innerhalb eines Wasserschutzgebiets geplante Abwasserkanalisation und zeigen sich dazu geeignet, im Hinblick auf eine etwaige Verringerung des fallspezifischen Gefährdungsrisikos Empfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und etwaigen Modifikation der Kanalbauplanung abzuleiten.

Die Auswahl und die Bedeutung der jeweiligen Kriterien für die Fragestellung, wie auch deren Differenzierungen einschließlich der gegebenenfalls erfolgten Gruppierung oder Klassifizierung der Ausprägungen, werden ebenso wie die Einschätzung der ausprägungsindividuellen Grundwassergefährdungsrisiken ausführlich textlich erläutert. Zur visuellen Veranschaulichung werden gefährdungsbestätigende Ausprägungen bei Gefährdungsbestätigung (+) bzw. deutlicher Gefährdungsbestätigung (++) mit Pluszeichen, bei Gefährdungsminderung (–) bzw. deutlicher Gefährdungsminderung (– –) mit Minuszeichen

gekennzeichnet. Eine neutrale Bewertung wird durch einen Kreis (o) symbolisiert.

Mit der umfangreichen Dokumentation werden Auswahl- und Differenzierungsprozess fachlich begründet und ein umfassender Erläuterungskatalog zu den erarbeiteten Checklisten gegeben, welche zusammen die Basis für die sich anschließende Betrachtung und Analyse des interagierenden Wirkungsgefüges sind.

Handlungsempfehlungen, Gefährdungseinschätzungen

Als Arbeitsgrundlage für die weiteren Betrachtungen ist ein **Katalog von Handlungsempfehlungen** zur Überprüfung, Ergänzung und etwaigen Modifikation der Abwasserkanalbauplanung zu erarbeiten, welche später über Rückwärtsvernetzungen und Bedingungsregeln (vgl. Kap. 2.1) aus der Wirkungsverknüpfung einfluss- und bewertungsrelevanter Kriterien bzw. deren Ausprägungen hervorgehen und damit die Konsequenz bestimmter Faktenkonstellationen sind.

Dabei ist sich auf solche Handlungsempfehlungen zu konzentrieren, welche dazu beitragen können, die potenzielle Grundwassergefährdung im Zuge der Errichtung und des Betriebs eines Abwasserkanals wirksam zu verringern. Sie sollen dem späteren Anwender des Expertensystems Abwägungspunkte aufzeigen, welche bei der Planung im Hinblick auf den erweiterten Schutzgedanken innerhalb eines Wasserschutzgebietes besonders zu beachten sind. Bei der Auswahl der Handlungsempfehlungen ist darauf zu achten, dass ein Maß gefunden wird, das zum einen ausreichend detailliert und ziel führend ist, das zum anderen jedoch auch so fallübergreifend anwendbar bleibt, dass es nicht nur bei wenigen, speziellen Planungseinzelfällen passgenau ist.

Ähnlich der Handlungsempfehlungen werden auch die drei vom Expertensystem zur Gesamteinschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials zu verwendenden Bewertungsurteile „weniger hoch“, „hoch“ und „besonders hoch“ in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) und das DWA-Merkblatt M 146 (2004) (vgl. Kap. 1.2 und 2.4), welche aus der Bewer-

tung der fallindividuellen Ausgangs- und Planungssituation hervorgehen sollen, in der konzeptionellen Zielauflistung berücksichtigt. Auch ihre Zuweisung wird später ähnlich wie die der Handlungsempfehlungen über regelgebundene Rückwärtsverketten bestimmter einfluss- und bewertungsrelevanter Kriterien erfolgen, wobei hinsichtlich der Gefährdungsbewertungen im Vergleich zur Zuweisung der Handlungsempfehlungen jedoch ein methodisch differenzierteres Vorgehen erforderlich wird. Die Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials bedarf einer ganzheitlichen Abwägung der zu prüfenden fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation, welche methodisch nur über eine zusammenfassende Betrachtung bewertungsbedeutsamer Kriterien und Ausprägungen bewerkstelligt werden kann, denen ein besonderes Gewicht und damit eine Art „Schlüsselcharakter“ bei der Einschätzung des Grundwassergefährdungsrisikos zugesprochen werden kann.

Zur Ableitung von Handlungsempfehlungen ist ein serielles, jedoch nicht zwangsweise ein ge-

samtheitliches Betrachten zuweisungsrelevanter Ausprägungen bzw. Ausprägungskombinationen erforderlich, was deren Zuweisung vereinfacht. Dies bedeutet, dass eine Handlungsempfehlung bereits nach dem Zutreffen weniger, unter Umständen sogar nur einer Kriteriumsausprägung zugewiesen werden kann, während die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials in der Regel die Erhebung mehrerer Abwägungskriterien erfordert.

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die im Expertensystem GRABWAS berücksichtigten Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der Kanalbauplanung werden in einer Auflistung zusammengestellt, die Grundlage für die später zu erarbeitende „Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen“ darstellt, welche die Handlungsempfehlungen inhaltlich konkretisiert und wo erforderlich hinsichtlich ihrer Dringlichkeit nuanciert.

3.3 Arbeitsbaustein 2: Analysieren der ausgewählten Abwägungskriterien und deren Ausprägungen hinsichtlich im Expertensystem abzubildender entscheidungsrelevanter Wirkungsverknüpfungen

Verknüpfen der Abwägungskriterien

Im zweiten Arbeitsschritt erfolgt die Analyse gegebener und bei der Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials zu beachtender Interaktionen, worunter Zusammenhänge, Beeinflussungen und Abhängigkeiten zu verstehen sind, welche zwischen den einzelnen einfluss- und bewertungsrelevanten Kriterien bestehen und letztlich das zu betrachtende Wirkungsgefüge repräsentieren.

Aufgrund des weitverzweigten Wirkungskomplexes innerhalb natürlicher Systeme wie dem geologischen Untergrund ist davon auszugehen, dass die Zahl grundsätzlich denkbarer Wirkungsverknüpfungen mitunter sehr hoch sein kann. Aufgabe ist es daher, für die betrachtete

Fragestellung bedeutungsrelevante und aufgrund ihres Einflusses auf das Grundwassergefährdungspotenzial zu berücksichtigende Wirkungsverknüpfungen zwischen Abwägungskriterien als solche zu erkennen und aus der Menge grundsätzlich gegebener Wirkungsverknüpfungen zu selektieren. Die Kenntnis dieser Interaktionen stellt die Grundlage für die anschließende Analyse aussagebedeutsamer Ausprägungsverknüpfungen dar, aus der Handlungsempfehlungen sowie eine Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials abgeleitet werden.

Eine **Vernetzung von Abwägungskriterien** hat dort zu erfolgen, wo komplexe Wirkungsstrukturen gegeben sind, die im Hinblick auf ihren Beitrag zur Zielaussage gesamtheitlich zu betrachten sind. Hierzu ist es erforderlich, beteiligte

Abwägungskriterien zu verknüpfen und sie in ihrem Zusammenwirken zu charakterisieren.

Konkret heißt dies, dass es bei der Betrachtung bestimmter Sachverhalte wie z.B. einer qualitativen Bewertung der Deckschichtensituation erforderlich ist, mehrere Erhebungsaspekte zur räumlichen und planerischen Ausgangssituation miteinander kombiniert zu betrachten, da nur so eine gutachtliche Beurteilung des Sachverhalts möglich wird. So ist z.B. eine Aussage zur Retardierungswirksamkeit der Grundwasserüberdeckung nur dann möglich, wenn Art, Lithologie, Mächtigkeit und Klüftigkeit der Deckschichten gleichzeitig und zusammenfassend betrachtet werden. Aus einer Kombination von Abwägungskriterien können somit bewertungsrelevante Gesichtspunkte resultieren, die für die Zielaussage von Bedeutung sind, jedoch nicht explizit im Kriterienkatalog erhoben werden.

Aufgrund der Vielzahl inhaltlicher Querverbindungen und Interaktionen muss sich zur Wahrung der Umsetzbarkeit des Analyse- und Bewertungsmodells auf solche Kriterienverknüpfungen konzentriert werden, die für die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und die Zuweisung von Empfehlungen zur Überprüfung und gegebenenfalls Veränderung der Kanalbauplanung unmittelbar von Gewicht sind. Die Analyse der Kriterienverknüpfungen zeigt, dass im vorliegenden Fall unterschiedlich viele der ausgewählten Kriterien ergebnisrelevant miteinander interagieren.

Ergänzend dazu sind im Hinblick auf die spätere Gesamtdarstellung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation im vom Expertensystem automatisiert zu erstellenden Kurzgutachten verschiedene **Verknüpfungen mit deskriptivem Charakter** zu berücksichtigen, welche nicht der Ergebnisfindung, sondern der gesamtheitlichen Situationsdarstellung dienen.

Die Prüfung auf aussagerelevante Kriterienverknüpfungen erfordert eine umfangreiche, fachwissenschaftlich abgesicherte Wissensgrundlage, welche geo- und ingenieurwissenschaftliche Zusammenhänge im Hinblick auf die Wirkungsverknüpfungen zwischen Kanalbauwerk, Untergrund und Grundwasser berücksichtigt. Diesbe-

züglich sind abermals die Recherchen zur Wissensbasis aus dem ersten Arbeitsbaustein Ausgangspunkt der Abwägungen. Methodisch wird so vorgegangen, dass jedes Abwägungskriterium der erarbeiteten Checklisten nacheinander jedem anderen Kriterium gegenübergestellt und mit diesem abgeglichen wird. Dabei ist zu beurteilen, ob zwischen den gegenübergestellten Kriterien ein für die Ergebnisfindung bedeutsamer Wirkungszusammenhang besteht. Sollte es sich als erforderlich erweisen, im Zuge dieser Betrachtung mehr als zwei Abwägungskriterien miteinander zu verknüpfen, ist dies entsprechend zu tun.

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die aus der Analyse hervorgehenden und im Weiteren zu beachtenden Kriterienverknüpfungen werden in einer **Kriterienverknüpfungstabelle** zusammengestellt, welche die als betrachtungsrelevant eingestuften Interaktionen zwischen Abwägungskriterien anführt. Dabei wird erläutert, welchen Beitrag sie für die Betrachtung des Gesamtkontextes besitzen, d.h. welche Bedeutung den berücksichtigten Kriterienverknüpfungen im gesamten Wirkungsgefüge zukommt und warum diese im Expertensystem beachtet werden.

Beim Typ der Kriterienverknüpfungen und damit auch der im nächsten Arbeitsbaustein betrachteten Ausprägungsverknüpfungen wird zwischen plausibilitätsbezogenen und fachinhaltlichen Interaktionen unterschieden. Je nach Wahl der Kriteriumsausprägungen, d.h. der Formulierung der bei der späteren Abfrage einzelfallspezifischer Daten durch das Expertensystem wählbaren Antwortalternativen, können Kriterienverknüpfungen fachinhaltlich oder plausibilitätsbezogen als auch fachinhaltlich und plausibilitätsbezogen von Bedeutung sein.

Fachinhaltlich interagieren Abwägungskriterien, wenn sie inhaltlich in Abhängigkeit zueinander stehen und sich aus ihrem Zusammenwirken für die Beurteilung der Ausgangs- und Planungssituation im Wasserschutzgebiet und die Formulierung von Handlungsempfehlungen wichtige Zusammenhänge ergeben. Plausibilitätsbezoge-

ne Verknüpfungen stellen Interaktionen dar, die im Expertensystem zu berücksichtigen sind, damit es bei der späteren Beantwortung der Erhebungsfragen durch den Systemnutzer zu keinen unstimmen und unsinnigen Antworten kommt. Kriterien, deren Ausprägungen sich gegenseitig ausschließen, sind demnach plausibilitätsbezogen verknüpft.

Zur Gewährleistung einer übersichtlichen Darstellung innerhalb der Kriterienverknüpfungstabelle werden die betrachteten Kriterienverknüpfungen dort durch Zahlenkürzel kodiert. Dabei wird sich auf die durchlaufende Nummerierung aus den Checklisten bezogen und ein Pluszeichen als Verknüpfungssymbol verwendet. Die Wirkungsverknüpfung zwischen den Abwägungskriterien Nr. 26 „Geländemorphologie, Hangneigung“, Nr. 27 „Orientierung des Oberflächenabflusses“ und Nr. 28 „Flächenversiegelung“ wird demnach in der Tabelle als Zahlencode „26 + 27 + 28“ dargestellt.

Verknüpfen der Ausprägungen

Nach Analyse der Kriterienverknüpfungen und damit des bestehenden Wirkungsgefüges und der Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Abwägungsgrößen gilt es darauf aufbauend, **entscheidungsrelevante Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen** zu erkennen und diesen Handlungsempfehlungen bzw. eine Bedeutung bei der Grundwassergefährdungseinschätzung zuzuordnen. Die Verknüpfung der Kriteriumsausprägungen stellt die Basis des Analyse- und Bewertungsmodells dar, auf dem die Entscheidungsfindung des Expertensystems beruht.

Aus der Tatsache, dass Abwägungskriterien untereinander fachinhaltlich und/oder plausibilitätsbezogen interagieren, resultiert nicht automatisch, dass auch alle hieraus hervorgehenden Ausprägungskombinationen von Bedeutungsrelevanz für die Ergebnisfindung sind. Auf Grundlage der Kriterienverknüpfungstabelle ist daher zu untersuchen, welche der Ausprägungsverknüpfungen von miteinander in Wirkungsbezug stehenden Abwägungskriterien für die Ergebnisfindung letztlich von Belang sind.

Hierzu wird eine **Ausprägungsverknüpfungstabelle** erarbeitet, in der jede Ausprägung eines Kriteriums jeder Ausprägung des verknüpften Kriteriums gegenüberzustellen ist, so dass alle aus der Kombination hervorgehenden Permutationen berücksichtigt werden. Sofern mehr als zwei Kriterien miteinander interagieren, ist analog dazu jede Ausprägung eines Kriteriums jeder Ausprägung aller verknüpfter Kriterien gegenüberzustellen. Interagieren z.B. zwei Kriterien mit jeweils drei Ausprägungen, so ergeben sich neun ($3 \cdot 3$) zu analysierende Ausprägungskombinationen, bei drei Kriterien mit zwei, drei und fünf Ausprägungen entsprechend dreißig ($2 \cdot 3 \cdot 5$) Ausprägungskombinationen. Nicht alle diese Kombinationen müssen letztlich von entscheidungsrelevanter Bedeutung für das Expertensystem sein. Auch die Aussagebedeutung einer Ausprägung ohne Verknüpfung mit Ausprägungen anderer Kriterien („Nullverknüpfung“) ist im Zuge dieser Betrachtung zu berücksichtigen, da sich aus ihr gegebenenfalls direkte Empfehlungszuweisungen ableiten lassen.

Aus den Analyse der Kriterienverknüpfungen im vorangegangenen Arbeitsbaustein und der dort innerhalb der Kriterienverknüpfungstabelle als relevant bewerteten Kriterienverknüpfungen resultiert eine Zahl abzuwägender Ausprägungskombinationen von maximal bis zu über 150 pro Kriterienverknüpfung. Im Regelfall ist die Zahl der zu betrachtenden Ausprägungskombinationen jedoch geringer. Die ermittelte Mindestanzahl liegt bei zwei, der Durchschnitt bei etwa 20 Ausprägungskombinationen pro Abwägungskriterium. Die Gesamtzahl der untersuchten Ausprägungsverknüpfungen liegt bei etwa 1.000.

Relevanz- und Plausibilitätsprüfung

Alle Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen sind einer **Relevanzprüfung** zu unterziehen, bei der für die Zuweisung von Handlungsempfehlungen oder die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzial bedeutsame Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen zu erkennen und von solchen zu unterscheiden sind, aus denen keine Empfehlungen resultieren oder die kein besonderes Gewicht

bei der Einschätzung des Gefährdungsrisikos für das Grundwasser besitzen. Die durchgeführte Relevanzprüfung stellt eine erforderliche Vorselektion zur Verringerung des Betrachtungsumfangs und Gewährleistung der Umsetzbarkeit des Analyse- und Bewertungsansatzes dar.

Im Vorfeld der Relevanzprüfung ist zunächst in einer **Plausibilitätsprüfung** die Logik der einzelnen Ausprägungsverknüpfungen zu betrachten. Hierbei ist im Besonderen auf Kriterienverknüpfungen zu achten, bei denen im vorangegangenen Arbeitsbaustein bereits auf plausibilitätsbezogene Verknüpfungen hingewiesen wurde. Die Plausibilitätsprüfung ist gleichsam Ausgangspunkt für die Kontrolle einer schlüssigen Beantwortung der Erhebungsfragen zur fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation, welche in einer Softwareumsetzung des Expertensystems automatisiert erfolgen würde.

Die Gründe, warum bestimmte Ausprägungsverknüpfungen Beachtung im Expertensystem finden, sowie Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz, werden nach einer entsprechenden Analyse und Abwägung in der Ausprägungsverknüpfungstabelle kurz textlich festgehalten. Dabei wird deutlich, dass durch die Interaktion der Abwägungskriterien und deren Wirkungseinflüsse die im ersten Arbeitsbaustein zugewiesenen ausprägungsindividuellen Grundwassergefährdungsbewertungen bestätigt, verstärkt, relativiert oder sogar umgekehrt werden können. Dies betont die besondere Wichtigkeit einer gesamtheitlichen Betrachtung des Wirkungsgefüges und der dortigen Abhängigkeiten und Beeinflussungen.

Zuweisen von Handlungsempfehlungen

Im Hinblick auf eine Absicherung, Ergänzung oder Veränderung der Kanalbauplanung ist zu prüfen, inwiefern sich aus Kausal-, Korrelativ- und Koinzidentbeziehungen zwischen interagierenden Ausprägungen bestimmte Empfehlungen ableiten lassen. Hierbei ist der zuvor als Arbeitsgrundlage und Zielorientierung erarbeitete Katalog der Handlungsempfehlungen zu konkretisieren und in seine abschließende, differenzierte und gewichtete Form zu überführen.

Auf Grundlage dieses Kataloges sowie der Ergebnisse der Relevanz- und Plausibilitätsprüfung gilt es zu ermitteln, welche Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen zu einer bestimmten Handlungsempfehlung führen. Hierzu werden ausgehend von den Empfehlungen über Bedingungsregeln begründete Rückwärtsverkettenungen gesucht (vgl. Kap. 3.4). Aus einer Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung können mehrere Handlungsempfehlungen resultieren, ebenso können auch mehrere Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen gegebenenfalls zur gleichen Handlungsempfehlung führen.

Grundsätzlich können Handlungsempfehlungen, welche bereits beim Zutreffen einer einzigen Kriteriumsausprägung abzuleiten sind als **direkte Handlungsempfehlungen** von solchen unterschieden werden, die als **indirekte Handlungsempfehlungen** das Zutreffen mehrerer interagierender Kriteriumsausprägungen, also einer Ausprägungsverknüpfung, erfordern.

Definieren von Schlüsselausprägungen

Die Einschätzung des von einem geplanten Abwasserkanal ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials und dessen Einstufung als „besonders hoch“, „hoch“ oder „weniger hoch“ erfolgt wie angeführt ebenfalls auf Grundlage bestimmter Ausprägungsverknüpfungen. Hierzu sind Ausprägungen bzw. Kombinationen von Ausprägungen mit besonderem Gewicht als sogenannte **Schlüsselausprägungen** zu definieren, welche besonders kritische und damit relevant gefährdungsverschärfende oder aber relevant gefährdungsentschärfende Gegebenheiten im Hinblick auf den geplanten Abwasserkanal und die Bedingungen im räumlichen Umfeld wiedergeben und damit von besonderer Bedeutung für die Einschätzung des Grundwassergefährdungsrisikos sind. Sie bilden die Voraussetzung für die zu erarbeitenden Zuordnungstabellen als Kernelement des systemspezifischen Analyse- und Bewertungsalgorithmus.

Es gilt risikoentschärfende und risikoverschärfende Schlüsselausprägungen zu finden, wozu alle als plausibel und relevant anzusehenden Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfun-

gen der Ausprägungsverknüpfungstabelle zu überprüfen sind. Hinweise dazu, welche Ausprägungen bzw. Ausprägungskombinationen einer der beiden Schlüsselausprägungstypen zuzuordnen sind, gibt hierbei die im ersten Arbeitsbaustein erfolgte Bewertung des individuellen Gefährdungspotenzials der einzelnen Kriteriumsausprägungen. Besonders – jedoch nicht nur – können Ausprägungen, welche dort mit den Bewertungsurteilen „deutlich gefährdungsbestätigend“ oder „deutlich gefährdungsmindernd“ eingestuft wurden, als Schlüsselausprägungen von Bedeutung sein.

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die Ausprägungsverknüpfungstabelle führt die Ergebnisse des zweiten Arbeitsbausteins zusammen und bildet damit den fachinhaltlichen Ausgangspunkt für die fallspezifische Situations- und Planungsbewertung durch das Expertensystem und den diesbezüglichen Analyse- und Bewertungsalgorithmus.

Die Darstellung der Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen in der Antwortenverknüpfungstabelle erfolgt kodiert als Zahlenkürzel, bei dem die Nummer des Kriteriums gemäß der durchlaufenden Nummerierung in den Checklisten als Basiszahl und die jeweilige Ausprägung als Exponent angeführt wird. Die drei Ausprägungen des Kriteriums Nr. 26 „Geländemorphologie, Hangneigung“ werden demnach mit 26^1 , 26^2 und 26^3 kodiert. Durch ein Pluszeichen werden Ausprägungen zu Ausprägungsverknüpfungen kombiniert. Die Interaktion zwischen der Ausprägung Nr. 3 des Kriteriums Nr. 26, der Ausprägung Nr. 1 des Kriteriums Nr. 27 und der Ausprägung Nr. 1 des Kriteriums Nr. 28 wird demnach durch den Zahlencode $26^3 + 27^1 + 28^1$ repräsentiert.

Um nicht erforderliche Dopplungen innerhalb der Ausprägungsverknüpfungstabelle zu vermeiden, werden die aus der Interaktion mehre-

rer Kriterien hervorgehenden Ausprägungsverknüpfungen nur bei dem Kriterium mit der niedrigsten Ordnungszahl angeführt. Bei den verknüpften Kriterien mit höherer Ordnungszahl wird in der Tabelle ein Querverweis eingefügt.

Das Ergebnis der erfolgten Plausibilitätsprüfung wird in der Antwortenverknüpfungstabelle in einer eigenen Spalte verzeichnet. Nicht verknüpfte Ausprägungen stellen sich in sich immer als plausibel dar, wodurch auf deren Plausibilitätsprüfung verzichtet werden kann. Analog hierzu wird das Ergebnis der Prüfung auf fachinhaltliche Relevanz der einzelnen Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen ebenfalls in der Tabelle festgehalten. In den nachfolgenden Betrachtungen werden nur solche Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen weiter beachtet werden, welche gleichzeitig als plausibel und fachinhaltlich relevant einzustufen sind.

Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen, denen eine Schlüsselbedeutung bei der Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials zugesprochen wird, werden als solche gekennzeichnet, wobei Schlüsselausprägungen, welche eine Risikoverschärfung repräsentieren, von solchen unterschieden werden, die für eine Risikoverschärfung stehen. Die Zahl der Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen mit entsprechender Bedeutung liegt bei über 300.

Lassen sich aus Ausprägungen bzw. Ausprägungskombinationen Handlungsempfehlungen ableiten, wird dies in der Tabelle verzeichnet. Hierzu wird das Spaltenkürzel „HE“ und eine fortlaufende Nummerierung verwendet, welche die zutreffende Handlungsempfehlung repräsentiert und sich auf die spätere „Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen“ bezieht.

Im vorliegenden Textband erfolgt lediglich die exemplarische Darstellung eines Auszuges der insgesamt fast 40-seitigen Antwortenverknüpfungstabelle. Die gesamte Tabelle wird in Anlage 1 des Anlagenbandes der Arbeit angeführt.

3.4 Arbeitsbaustein 3: Aufstellen eines systemspezifischen Analyse- und Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und Zuweisung von Handlungsempfehlungen

Erarbeiten von Zuordnungstabellen

Mittelpunkt des dritten Arbeitsbausteins ist das Aufstellen eines Analyse- und Bewertungsalgorithmus für die fallspezifische Abwägung des Grundwassergefährdungspotenzials unter Berücksichtigung hierzu erforderlicher Gewichtungen sowie für die Ableitung von Empfehlungen zur etwaigen Risikoverringerung auf Grundlage der zuvor betrachteten Wirkungsverknüpfungen und entscheidungsrelevanten Interaktionen.

Der Analyse- und Bewertungsalgorithmus als Inferenzmaschine des Expertensystems wird als Ereignis-Konsequenz-Modell über Zuordnungen definiert, welche über Rückwärtsverkettung Bedingungsregeln festlegen. Das erforderliche Einspeisen der zu bewertenden räumlichen und planerischen Ausgangssituation in das Expertensystem durch den Anwender erfolgt über die Checklisten als Benutzeroberfläche und Schnittstelle zur Wissensbasis (vgl. Abb. 10).

Die Zuordnungen machen Aussagen dazu, welche Kriterien- bzw. Ausprägungskonstellationen zu welchen Schlussfolgerungen führen und gründen auf den in den innerhalb der Kriterien- und der Ausprägungsverknüpfungstabelle angeführten Analyseergebnissen, die in eine programmtechnisch fassbare Form überführt werden. Einem „WENN“ als bedingendes Ereignis wird jeweils ein „DANN“ als resultierende Konsequenz zugeordnet. Als Konsequenzen kommen dabei Gefährdungs-, Sensibilitäts- und Risikoeinschätzungen wie auch Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Überprüfung der Kanalbauplanung in Frage.

In ihrer einfachsten Form haben entsprechende Zuordnungen verbal formuliert folgende Form:

WENN
Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung A zutrifft,
DANN
folgt hieraus Konsequenz X

Die Zuweisung von Handlungsempfehlungen erfolgt unmittelbar auf diesem Weg. Bei der Gefährdungseinschätzung ergibt sich aus dem Erfordernis einer gesamtheitlichen Betrachtung eine komplexere Zuweisungsstruktur, welche ein Kombinieren verschiedener Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen mit Schlüsselbedeutung (Schlüsselausprägungen, vgl. Kap. 3.4) erfordert. Hierzu werden „UND“ und „ODER“ als einschließende bzw. als ausschließende Kombinationsoperatoren verwendet:

WENN
Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung A zutrifft
UND
gleichzeitig
Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung B zutrifft
UND
gleichzeitig
 ...
ODER
stattdessen
Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung N zutrifft
DANN
folgt hieraus Konsequenz X

Ein auf entsprechenden Bedingungsregeln basierender Analyse- und Bewertungsalgorithmus lässt sich programmtechnisch recht einfach umsetzen, da die Programmierschriften auf IF-THEN-ELSE-Operationen beruhen.

Die Darstellung der Zuweisungsregeln erfolgt in **Zuordnungstabellen**, in denen relevanten Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen resultierende Gefährdungs-, Sensibilitäts- und Risikoeinschätzungen bzw. Handlungsempfehlungen gegenübergestellt werden. Hierzu sind die aussagebedeutsamen Verknüpfungen der Ausprägungsverknüpfungstabelle zu formalisieren. Für die Zuweisung der Handlungsempfehlungen und der gesamtheitlichen Grundwassergefährdungseinschätzung werden verschiedene Zuordnungstabellen erstellt.

In der **Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen** werden die im Expertensystem berücksichtigten Handlungsempfehlungen den Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen gegenübergestellt, aus denen die einzelnen Empfehlungen resultieren. Führen mehrere Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen zur selben Handlungsempfehlung, ist abzuwägen, ob die verschiedenen Möglichkeiten der Zuweisung eine graduelle Abstufung der Handlungsempfehlungen zulassen oder gar erforderlich machen. Sofern sich eine solche **Gewichtung** im Hinblick auf die Ergebnisfindung als sinnvoll und begründbar erweist, ist bei der Zuordnung ein **Rating** zu berücksichtigen, d.h. eine je nach gegebener Konstellation der einfluss- und bewertungsrelevanten Kriterien bzw. deren Ausprägungen auszusprechende Nuancierung der Handlungsempfehlungen.

Hierzu sind alle Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen, welche zur gleichen Empfehlung führen, im Vergleich untereinander zu betrachten und abzuwägen, ob eine oder mehrere von ihnen die bedingende Handlungsempfehlung mehr oder weniger erforderlich macht bzw. machen als andere. Grundsätzlich können hierbei verschiedene Ratingskalen zur graduellen Abstufung zum Einsatz kommen.

Tab. 2 führt die diesbezüglich auf eine mögliche Anwendung im Expertensystem überprüften denkbaren Gewichtungen an.

Tab. 2: Ratingskalen zur graduellen Abstufung bzw. Gewichtung von Handlungsempfehlungen

Ratingskalen			
zur graduellen Abstufung der			
Dringlichkeit	Intensität	Häufigkeit	Wahrscheinlichkeit
<i>Zeitraumen, in dem zu handeln ist</i>	<i>Ausmaß, in dem zu handeln ist</i>	<i>des Auftretens eines Phänomens</i>	<i>des Auftretens eines Phänomens</i>
dringend	grundlegend	immer	sicher
baldig	in mehreren Punkten	oft	wahrscheinlich
unter Umständen	in einigen Punkten	gelegentlich	vielleicht
später	in wenigen Punkten	selten	wahrscheinlich nicht
nie	in keinem Punkt	keinesfalls	nicht

Da es Aufgabe des Expertensystems sein soll, eine Entscheidungshilfe zu geben, wie in einem bestimmten Einzelfall zu handeln ist, und nicht etwa, wie nicht gehandelt werden braucht, kann auf die unterste Ratingstufe verzichtet werden.

Bei der Abwägung der Gewichtungen zeigt sich, dass bei der betrachteten Fragestellung von den vorstellbaren Ratings ein Nuancieren der Dringlichkeit von größter Bedeutung ist, weswegen dieses zur etwaigen Abstufung der Zuweisung von Handlungsempfehlungen berücksichtigt wird. Ein vierstufiges Rating wird im vorliegenden Fall jedoch als schwer zu begründen angesehen, weswegen die Dringlichkeitsabstufung auf drei Stufen angepasst wird.

Tab. 3 zeigt die ausgewählte Gewichtung zur graduellen Abstufung der Dringlichkeit auszusprechender Handlungsempfehlungen.

Tab. 3: Gewählte dreistufige Ratingskala zur graduellen Abstufung der Dringlichkeit auszusprechender Handlungsempfehlungen

Dringlichkeit
dringend empfohlen
empfohlen
nach Möglichkeit empfohlen

Sollte aus dem fallspezifischen Zutreffen von Ausprägungen und Ausprägungskombinationen mehrfach die gleiche Handlungsempfehlung hervorgehen, diese jedoch unterschiedlich graduell abgestuft werden, würde in einer Softwareumsetzung des Expertensystems vorgesehen sein, dass lediglich das Rating mit der höchsten Dringlichkeit im automatisierten Kurzgutachten berücksichtigt wird. Bei der Nutzung des Expertensystems in der hier vorliegenden Papierform braucht das Rating mit der geringeren Dringlichkeit zu Gunsten dessen mit der höheren Dringlichkeit nicht beachtet zu werden.

Das Ableiten der potenziellen Grundwassergefährdung erfolgt anhand einer mehrteiligen **Zuordnungstabelle Gefährdungseinschätzung**, in der ausgewählte, aus der fallindividuellen Ausgangs- und Planungssituation resultierende Risiken und Sensibilitäten betrachtet werden.

Ausgangspunkt für die Bewertung des von einer geplanten Abwasserkanalisation ausgehenden Grundwassergefährdungsrisikos und Grundlage der diesbezüglichen Betrachtungen stellen die gefährdungsverschärfenden und die gefährdungsentzärfenden Schlüsselausprägungen der Ausprägungsverknüpfungstabelle dar. Aus ihrem gesamtheitlichen Zusammenwirken soll die Zuweisung eines der Bewertungsurteile:

- Grundwassergefährdungspotenzial besonders hoch,
- Grundwassergefährdungspotenzial hoch,
- Grundwassergefährdungspotenzial weniger hoch

erfolgen. Dabei wird angenommen, dass das Grundwassergefährdungspotenzial in einem Wasserschutzgebiet aus Gründen der Vorsorge und Nachhaltigkeit grundsätzlich als „hoch“ einzustufen ist, wenn keine besonderen Kriterienkonstellationen für eine andere Einstufung sprechen. Diese formale Zuweisung erfolgt zur Betonung der besonderen Bedeutung des Schutzgutes Grundwasser in einem wasserwirtschaftlich zur Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser genutzten Raum. Liegen örtlich bestimmte risikoverschärfende oder risikoentschärfende Gegebenheiten vor – im Expertensystem repräsentiert durch das Zutreffen von Schlüsselausprägungen –, kann das gesamtheitliche Gefährdungsrisiko im Einzelfall anstelle von „hoch“ gegebenenfalls als „weniger hoch“, aber auch als „besonders hoch“ eingestuft werden.

Infolge der für eine Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials erforderlichen gesamtheitlichen Betrachtung des fallspezifischen Wirkungsgefüges ist eine einfache Zuordnungstabelle, wie sie sich für die Zuweisung von Handlungsempfehlungen als zielführend erweist, für die Ableitung des Grundwassergefährdungspotenzials nicht geeignet. Die Zahl der zu berücksichtigenden Bedingungsregeln ist so komplex, dass diese ein differenzierteres Vorgehen erfordert. Während die Zuweisung der Handlungsempfehlungen seriell möglich ist, ist bei der Gefährdungsbetrachtung erst nach zusammenfassender Abwägung aller bewertungs-

relevanten Kriterien bzw. Ausprägungen eine wertende Gesamtaussage möglich.

Infolge dessen werden Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen mit Schlüsselbedeutung für die Gefährdungseinschätzung nach fachlich relevanten Abwägungsgesichtspunkten gruppiert und gemäß ihres Zusammenwirkens thematischen Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen zugeordnet. Jede dieser Gruppen dient der Abwägung eines Teilkomplexes des Wirkungsgefüges, der für die gesamtheitliche Einschätzung des von der geplanten Abwasserkanalisation ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials als bedeutsam erachtet wird. Dadurch kann der Wirkungsbedeutung in Bezug stehender Ausprägungen bzw. -kombinationen mit Schlüsselcharakter in erforderlichem Maße Rechnung getragen werden.

Insgesamt werden 13 Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen mit jeweils unterschiedlicher Anzahl an Schlüsselausprägungen berücksichtigt. Jeder Gruppe werden die Schlüsselausprägungen zugeordnet, die für die Betrachtung des jeweiligen Sachverhaltes von vornehmlicher, entscheidungsbedeutsamer Relevanz sind. Dabei sind gleichzeitige Zuordnungen von Ausprägungen bzw. Ausprägungskombinationen mit Schlüsselcharakter zu mehreren Gruppen möglich.

Die Kombinationsgruppen betrachten als Wirkungsteilkomplexe die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers, das vom Entwässerungssystem und zugehörigen abwassertechnischen Bauwerken ausgehende Gefährdungsrisiko sowie das Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehllanschlüssen am Abwasserkanal und des Nichterkennens von Kanalschäden, des Weiteren die Risiken einer Stoffdrainage entlang der Kanaltrasse oder im kanalnahen Untergrund, von Eingriffen in den Untergrund während der Bauphase, der Positionierung und Einrichtung der Baustelle sowie durch zutretendes Oberflächenwasser. Darüber hinaus wird die Sensibilität der Wassergewinnung und des durchleitenden Raumes, des Grundwassers im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen sowie gegenüber Stoffeinträgen von der Geländeoberfläche her bzw. aus

Oberflächennähe sowie die Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal und des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung bewertet.

Für jeden durch die Kombinationsgruppen definierten Wirkungsteilkomplex ist eine eigene Risiko- bzw. Sensibilitätsbetrachtung auf Grundlage des Zusammenwirkens der zugeordneten Schlüsselausprägungen durchzuführen. Hierzu wird für jede der Gruppen eine Zuordnungstabelle erstellt, in der die möglichen Kombinationen von Schlüsselausprägungen analysiert werden, wobei jedem durch die einzelnen Kombinationsgruppen repräsentierten gesamtbewertungsrelevanten Aspekt eine eigene Risiko- bzw. Sensibilitätsbewertung zugewiesen wird. Risiken und Sensibilitäten können sich als weniger hoch, hoch oder besonders hoch darstellen.

Sollte bei der fallindividuellen Betrachtung einer Kombinationsgruppe keine der dort berücksichtigten Schlüsselausprägungen zutreffen, bedeutet dies gemäß der vorangegangenen Festlegungen (vgl. Kap. 3.4), dass weder besonders risikoeentschärfende, noch besonders risikoverschärfende Gegebenheiten vorliegen, weswegen für den durch diese Kombinationsgruppe von Schlüsselausprägungen betrachteten Wirkungsteilkomplex die Sensibilitäts- bzw. Risikobewertung „hoch“ angenommen wird, wie sie aus der formalen und vorsorglichen Zuweisung in einem Wasserschutzgebiet hervorgeht.

Aus den einzelnen gruppenspezifischen Bewertungsurteilen erfolgt schließlich über eine zusammenfassende Zuordnungstabelle ähnlich einer Präferenzmatrix die Einschätzung des gesamtheitlichen Gefährdungspotenzials für das Grundwasser mit Zuweisung eines der drei Gefährdungsurteile in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) und das DWA-Merkblatt M 146 (2004).

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die Zuweisung von Handlungsempfehlungen erfolgt in einer Zuordnungstabelle, in welcher den Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen

Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und Modifikation der Kanalbauplanung im Hinblick auf eine etwaige Verringerung des Grundwassergefährdungspotenzials gegenübergestellt werden, die sich aus dem Zutreffen der entsprechenden Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen bedingen.

Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen werden wie in der Ausprägungsverknüpfungstabelle durch Zahlenkürzel repräsentiert. Die Nummerierung der Abwägungskriterien bildet wiederum die Basiszahl, die zutreffende Ausprägung den zugehörigen Exponenten. Wird bei Handlungsempfehlungen ein Rating als zielführend erachtet, ist dieses als Indexzahl an das Kürzel der betreffenden Empfehlungen angehängt. Die verwendeten Indizes „1“, „2“ und „3“ entsprechen dabei der graduellen Abstufung der Dringlichkeit (vgl. Tab. 3). Die Handlungsempfehlungen werden durch das Präfix „HE“ gekennzeichnet, um Verwechslungen mit der Nummerierung der Kriterien zu vermeiden.

Zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials werden die Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen in einer mehrteiligen Zuordnungstabelle zunächst gruppenindividuell hinsichtlich der Höhe der gegebenen Risiken und Sensibilitäten betrachtet. Die einzelnen Bewertungsergebnisse werden zur gesamtheitlichen Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung dann in einer Präferenzmatrix zusammengeführt.

Die Schlüsselausprägungen werden in der Zuordnungstabelle gemäß der Ausprägungsverknüpfungstabelle kodiert. Ihre gruppeninterne Kombination erfolgt über ein Pluszeichen (UND) oder einen Schrägstrich (ODER). Die abgeleiteten Risiko- bzw. Sensibilitätsbewertungen werden farblich gekennzeichnet und sind zudem über das Kürzel „GE“ und die Nummerierung der Kombinationsgruppe 1 bis 13 sowie einen Indexbuchstaben kodiert, welcher für die Bewertungsurteile „weniger hoch“, „hoch“ und „besonders hoch“ steht. Es werden Indexbuchstaben verwendet, um etwaige Verwechslungen mit den bei der Gewichtung der Handlungsempfehlungen verwendeten Indexzahlen vorsorglich zu vermeiden.

Wie bereits bei der Ausprägungsverknüpfungstabelle wird auch die Zuordnungstabelle zur Ableitung des Grundwassergefährdungspotenzials aus Gründen der Übersichtlichkeit nur auszugsweise im Textband der Arbeit dargestellt.

Sie wird vollständig in Anlage 2 des beigelegten Anlagenbandes angeführt. Die im Umfang deutlich geringere Zuordnungstabelle zur Zuweisung von Handlungsempfehlungen wird innerhalb des Textbandes vollständig wiedergegeben.

3.5 Arbeitsbaustein 4: Formulieren von Textbausteinen zur deskriptiven Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation sowie der resultierenden Ergebnisaussagen

Situations- und Ergebnisdarstellung als Kurzgutachten

Die auf Grundlage des durch die Zuordnungstabellen definierten Analyse- und Bewertungsalgorithmus erzielten fallspezifischen Ergebnisaussagen sollen in Form eines vom Expertensystem automatisiert erstellten **Kurzgutachtens** gefasst werden, das auf wenigen Textseiten komprimiert die örtliche Ausgangs- und Planungssituation beschreibt, die daraus hervorgehenden Einschätzungen zu Risiken und Sensibilitäten darstellt und schließlich das gesamtheitliche Grundwassergefährdungspotenzial anführt, Handlungsempfehlungen zu dessen etwaiger Verringerung durch eine Anpassung der Kanalbauplanung formuliert und Angaben zur empfohlenen Wahl des Ableitungssystems macht.

Hierzu sind Textbausteine erforderlich, die je nach einzelfallspezifischem Zutreffen von Ausprägungen variabel zum entsprechenden Kurzgutachten zusammengestellt werden können. Sie stellen ein wichtiges Verbindungselement zwischen Dateneingabe, Datenverarbeitung und Datenausgabe, und damit zwischen dem Anwender des Expertensystems und dem die Wissensbasis definierenden Experten dar (vgl. Abb. 10). Die Textbausteine haben die Aufgabe, die Entscheidungen des Expertensystems nachvollziehbar zu machen und dienen als Erklärungskomponente.

Die deskriptive Zusammenstellung der fallspezifischen Bewertungsgrundlagen zu Beginn des Kurzgutachtens soll dazu dienen, dem Anwender des Expertensystems die Ausgangs- und Planungssituation, auf der die Ergebnisaussage aufbaut, noch einmal vor Augen zu führen,

damit diese auf ihre Korrektheit überprüft wird und gegebenenfalls notwendige Änderungen vorgenommen werden. Dies soll absichern, dass ein etwaiges irrtümlich falsches Auswählen einer Kriteriumsausprägung erkannt wird und es so nicht zu einer Fallbewertung kommt, die auf nicht zutreffenden Annahmen gründet und daher zu einem falschen Ergebnis führt.

Zur Eingabe der fallindividuellen Ausgangs- und Planungssituation benötigt ein Expertensystem eine Benutzeroberfläche (vgl. Kap. 2.1). Die aus den Betrachtungen zur Auswahl, zum Wirkungseinfluss und zur Differenzierung der einfluss- und bewertungsrelevanten Abwägungskriterien hervorgegangenen Checklisten (vgl. Kap. 4.3) sind so konzipiert, dass diese als entsprechende Schnittstelle zur Erhebung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation dienen können. Der Entwurf einer zusätzlichen Benutzeroberfläche wird damit verzichtbar.

Veränderungen der Checklisten zur Übernahme als Erhebungsbögen sind nicht erforderlich, da bereits bei der im ersten Arbeitsbaustein durchgeführten Differenzierung der Abwägungskriterien nach Ausprägungen (vgl. Kap. 4) auf eine Eindeutigkeit geachtet wurde. Eine verbale Ausgestaltung der Checklisten erscheint aufgrund deren klarer Formulierung nicht notwendig, da die dortigen Erhebungen selbsterklärend sind. Die Abwägungskriterien stellen damit die Erhebungsfragen, die Kriteriumsausprägungen die zur Auswahl gestellten Antwortalternativen dar.

Für eine objektive Situationserhebung zeigt sich eine neutrale, möglichst einfache und leicht verständliche Fragestellung erforderlich, die auf

Suggestivfragen verzichtet. Eine solche ist durch die Checklisten als Erhebungsbögen gegeben. Die Abfrage der betrachtungsrelevanten Fakten wird somit in Multiple-Choice-Form umgesetzt. Durch die Wahl einer geschlossenen Abfrageform, welche vorgegebene, vom Nutzer wählbare Antwortalternativen berücksichtigt, wird die analytische Umsetzung in der Inferenzmaschine wie auch die Vergleichbarkeit verschiedener Fallkonstellationen vereinfacht.

Durch die Aufteilung auf verschiedene, den unterschiedlichen Kriteriengruppen (vgl. Kap. 4.1) entsprechenden thematischen Schwerpunkten, findet eine gedankliche Ordnung der Abfrage statt. Die Erhebung ist so konzipiert, dass jede Frage verpflichtend zu beantworten ist. Immer genau nur eine Antwortalternative kann zutreffen. Das Auslassen einer Frage ist unzulässig, wodurch garantiert wird, dass es zu keinem versehentlichen Überspringen von Fragen kommt. Außerdem soll so verhindert werden, dass das Expertensystem bei unzureichender Informationslage zu Rate gezogen wird und zu Ergebnissen führt, die auf einer unvollständigen Betrachtung der Ausgangssituation beruhen.

Verschiedentlich können sich Fragen allerdings als redundant erweisen, wenn bestimmte andere Sachverhalte zutreffen bzw. nicht zutreffen. So kann z.B. eine Erhebung des lithologischen Charakters der Lockergesteinsdeckschichten gemäß Kriterium Nr. 34 entfallen, wenn zuvor bei Kriterium Nr. 33 angegeben wird, dass Lockergesteinsdeckschichten in vernachlässigbarer Art und Weise ausgebildet sind. In einer Softwareprogrammierung könnten redundante Fragen automatisch übersprungen werden.

Zusammenführen und Darstellen der Ergebnisse

Die Textbausteine für das abschließende automatisierte Kurzgutachten können in solche zur

Beschreibung der Ausgangs- und Planungssituation, solche zur Erläuterung des Grundwassergefährdungspotenzials und diesbezüglicher Risiken und Sensibilitäten sowie solche zur Formulierung der Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und gegebenenfalls Modifikation der Kanalbauplanung unterschieden werden.

Die Textbausteine zur Situationsbeschreibung gehen aus den Kriteriumsausprägungen hervor, welche im Expertensystem als wählbare Antwortalternativen bei der Erhebung der fallspezifischen Ausgangssituation im Wasserschutzgebiet dienen. Diese werden in kurze Sätze gefasst, welche letztlich zu einem Text zusammengestellt werden, um die fallspezifische Ausgangs- und Planungssituation als Ausgangspunkt der Betrachtung zusammenfassend darzustellen.

Für die Textbausteine zur Gefährdungseinschätzung wird den Risiko- und Sensibilitätsbewertungen, die aus der Analyse der Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen hervorgehen, ein kurzer erläuternder Satz zugeordnet. Hinzu kommen drei Textbausteine, welche die Zuweisung des daraus hervorgehenden gesamtheitlichen Grundwassergefährdungspotenzials beschreiben und auf das empfohlene Ableitungssystem hinweisen.

Die die Handlungsempfehlungen betreffenden Textbausteine stellen eine inhaltliche Konkretisierung des im ersten Arbeitsbaustein erarbeiteten, stichpunktartigen Katalogs der im Expertensystem berücksichtigten Empfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der angestrebten Kanalbauplanung dar. Wo nach Aufstellen des systemspezifischen Analyse- und Bewertungsalgorithmus eine Gewichtung der Empfehlungszuweisung als erforderlich bzw. sinnvoll erachtet ist, wird dieses in der Formulierung der Textbausteine berücksichtigt.

3.6 Arbeitsbaustein 5: Verifizieren des Analyse- und Bewertungsalgorithmus und der Ergebnisfindung des Expertensystems anhand von Fallbeispielen

Überprüfen der Entscheidungsfindung

Abschließend wird im fünften Arbeitsbaustein in Rückkopplung zum ausgearbeiteten Analyse- und Bewertungsalgorithmus und den deskriptiven, durch die ausgearbeiteten Textbausteine definierten Instrumente zur Darstellung der Ergebnisfindung anhand verschiedener praxisbezogener Fallbeispiele überprüft, inwiefern sich die durch das Expertensystem GRABWAS gelieferten Ergebnisse mit „herkömmlichen“ gutachtlichen Betrachtungen ohne Bezugnahme auf das Entscheidungshilfesystem decken.

Hierbei sind die bereits diskutierten systemimmanenten Grenzen des Expertensystems zu bedenken. Noch einmal wird betont, dass das Expertensystem GRABWAS als Hilfsinstrument zur Situationseinschätzung und Planungsbewertung dienen soll und keineswegs den Anspruch erhebt, Ersatz u.a. für ein hydrogeologisches Fachgutachten und andere spezifische gutachtliche Abwägungen darzustellen (vgl. Kap. 2.4).

Obwohl die Verifizierung als eigenständiger Arbeitsbaustein angeführt wird, ist die Überprüfung der Entscheidungsfindung des Analyse- und Bewertungsmodells als Prozess zu sehen, der die vorangegangenen Arbeitsbausteine, insbesondere den vierten Arbeitsbaustein (vgl. Kap. 3.5), begleitet hat. Er hat dort zu einem kontinuierlichen Verändern, Ergänzen und Umstrukturieren der Wissensbasis geführt.

Anwendungsbeispiel

Von den verschiedenen zur Überprüfung der Bewertungsstrukturen des Expertensystems betrachteten Fallbeispielen, bei denen es sich sowohl um real gegebene, wie auch um an reale Situationen angelehnte Planungssimulationen handelte, wird innerhalb der Arbeit ein Beispiel ausführlich erläutert.

Gewählt wird eine Planungssituation im südwestlichen Saarland, welche den Bau eines Hauptsammlers innerhalb eines Wassergewinnungsgebietes widerspiegelt, wie es in vielen Mittelgebirgsregionen vorzufinden ist, in denen sich Trinkwassergewinnung und Siedlungstätigkeit und damit folglich auch Siedlungsentwässerung räumlich überlagern, und aus Gründen eines vorsorgenden Umwelt- und Ressourcenschutzes Risikoabwägungen erforderlich werden, wie sie das Expertensystem GRABWAS unterstützen kann.

Anhand des Beispiels wird der Weg der Entscheidungsfindung des Expertensystems erläutert und dokumentiert, inwiefern dieses einen Beitrag zur Gefährdungseinschätzung eines geplanten Abwasserkanals und der diesbezüglich erforderlichen baulichen Maßnahmen liefern und zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation und der angestrebten Kanalbauplanung sowie des zu wählenden Ableitungssystems beitragen kann.

4 **Fachlich-wissenschaftliche Grundlagen und Abwägungskriterien zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials eines geplanten Abwasserkanals**

4.1 **Definierte Kriteriengruppen und diesen zugeordnete einfluss- und bewertungsrelevante Abwägungskriterien**

Abwägungskriterien und Kriteriengruppen

Aus den Betrachtungen des ersten Arbeitsbausteins und der dortigen Analyse der fachlich-wissenschaftlichen Grundlagen und der Auswertung der als relevant erachteten Fachliteratur (vgl. Kap. 3.2) gehen als Ausgangspunkt für die Wissensbasis des Expertensystems 54 Abwägungskriterien hervor (vgl. Kap. 3.2), welche als einfluss- und bewertungsrelevant für die fallindividuelle Gefährdungseinschätzung einer Abwasserkanalplanung innerhalb eines Wasserschutzgebietes zu bewerten sind. Sie werden sieben thematischen Kriteriengruppen zugeordnet:

A. Angaben zum Abwasserkanalbauwerk

- Maximale Rohrnennweite
- Art des Abwasserkanals
- Maximale Gründungstiefe, Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle
- Haltungslänge, Schachtabstand
- Linienführung
- Rohrtyp
- Rohrverbindungstyp
- Baulänge der Kanalrohre
- Art des Entwässerungssystems
- Abwassertechnische Bauwerke
- Art und Herkunft des Abwassers
- Einbindungsart der Anschlussleitungen
- Bedeutung des Abwasserkanals für das Entwässerungssystem
- Schachtkonstruktion

B. Angaben zum Bauablauf und zur Bauausführung

- Bauweise, Bauverfahrenstechnik
- Bettung, Leitungszone
- Bauzeit, Dauer der Baumaßnahme
- Baustelleneinrichtung

C. Angaben zum Wasserschutzgebiet und zur Wassergewinnung

- Lage im Wasserschutzgebiet, betroffene Wasserschutzzone
- Verlauf des Abwasserkanals
- Art der Wassergewinnungsanlagen
- Jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet
- Nutzung vorhandener Brunnen als Abwehrbrunnen
- Wertigkeit der Wassergewinnung, Beseitigungsalternativen
- Freie Grundwasserförderkapazitäten

D. Angaben zur Geländesituation im Baubereich und Trassenumfeld

- Geländemorphologie, Hangneigung
- Orientierung des Oberflächenabflusses
- Flächenversiegelung
- Zugänglichkeit, Platzsituation
- Oberflächengewässer mit hydraulischem Einfluss

- Überschwemmungsgefahr
- Setzungsgefahr

E. Angaben zum Aufbau des Untergrundes

- Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten
- Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten
- Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten
- Lithologie der Festgesteinsdeckschichten
- Horizontbeständige wasserstauende Schicht in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle
- Klüftung
- Mächtigkeit des Grundwasserleiters
- Lithologie des Grundwasserleiters
- Schichteinfallen im Trassenbereich

F. Angaben zur Grundwassersituation

- Grundwasserstockwerke

- Förderung und Baumaßnahme im gleichen Grundwasserstockwerk
- Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel
- Grundwasserstand im Verhältnis zur Kanalsohle
- Hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter
- Grundwasserbeschaffenheit, Qualitätsveränderungen
- Oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge

G. Angaben zum Informationsstand und zur Qualität der Datenkenntnisse

- Angaben zum räumlichen Untergrundaufbau und zu Vertikaldrainagen
- Angaben zu Pumpversuchsergebnissen
- Angaben zu Tracertests
- Angaben zu Strömungsbetrachtungen
- Angaben zu Kontrolluntersuchungen an Gewinnungsanlagen
- Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers

4.2 Wirkungseinfluss und Differenzierung der einfluss- und betrachtungsrelevanten Ausprägungskriterien

Auswahl, Differenzierung und Individualbewertung

Nachfolgend werden die als betrachtungsrelevant definierten Abwägungskriterien hinsichtlich ihres Wirkungseinflusses erläutert und ihre im Expertensystem berücksichtigte Differenzierung zur fallindividuellen Erhebung der räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation begründet (vgl. Kap. 3.2). Darüber hinaus werden die einzelnen Differenzierungen hinsichtlich ihres individuellen Einflusses auf die potenzielle Grundwassergefährdung bewertet. Die nachfolgenden Ausführungen stellen damit die Ergeb-

nisse der im zweiten Arbeitsbaustein erzielten Betrachtungsergebnisse zusammen.

Kriterium 1

Maximale Rohrennenweite

Wirkungseinfluss

Die Rohrennenweite bezogen auf den Innendurchmesser DN/ID – häufig auch nur als DN bezeichnet – beschreibt den wirksamen Ab-

flussquerschnitt, der im Rahmen der Entwässerungsplanung bei der hydraulischen Dimensionierung in Abhängigkeit der abzuleitenden Abwassermengen – Regen- und/oder Trockenwetterabfluss – festgelegt wird. Von der Rohrnennweite lassen sich Rückschlüsse auf das von einem Abwasserkanal ausgehende Gefährdungspotenzial für das Grundwasser ziehen.

Je kleiner der Innendurchmesser, desto geringer ist die abzuleitende Abwassermenge und damit die Gefahr einer Grundwasserkontamination bei Undichtheiten und Leckagen des Abwasserkanals (STEIN 1998). Eine Gefahr für das Grundwasser geht im Regelfall dabei nur von Schmutzwasser aus, also von Wasser, das durch Gebrauch verändert wurde, da Regenwasser gemäß DIN EN 752 (2008) als Niederschlag, der nicht im Boden versickert und von Bodenoberflächen oder von Gebäudeaußenflächen der Entwässerung zugeführt wird in der Regel unbelastet bzw. nur wenig belastet ist.

Die Rohrnennweite bezogen auf den Außendurchmesser (DN/OD) ist im Gegensatz zum Innendurchmesser werkstoffabhängig, d.h. mit der laut statischer Berechnung gemäß DWA-Arbeitsblatt A 127 (2000a) bzw. DWA-Arbeitsblatt A 161 (1990) erforderlichen Wanddicke des Rohres variabel, welche sich wiederum u.a. von Erd- und Verkehrslasten und dem Wasserdruck abhängig gestaltet. Der Außendurchmesser hat bei der offenen Bauweise erheblichen Einfluss auf die Grabenbreite und das erforderliche Aushubvolumen, und somit indirekt auch auf das Grundwassergefährdungspotenzial. Prinzipiell lässt sich die Tendenz festmachen, dass mit größer werdendem Innendurchmesser eines Rohres auch sein Außendurchmesser wächst und umgekehrt.

Im Fall eines Rohrschadens, z.B. bei auftretenden Leckagen infolge undichter Muffen, Schachtanschlüsse oder Einbindungen von Anschlussleitungen sowie bei Rohrrissen oder Rohrbrüchen u.a., ist die in den Untergrund exfiltrierende Abwassermenge umso größer, je größer die durchzuleitende Abwassermenge ist, für die der bei der hydraulischen Dimensionierung ermittelte Abflussquerschnitt des Abwasserkanals ausgelegt ist.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Kriteriumsdifferenzierung erfolgt daher nach charakteristischen Rohrnennweiten. Solche stellen die Nennweiten DN/ID 800 und 1200 dar, welche Grenzwerte in Anlehnung an die berufsgenossenschaftlichen Vorschriften zur Begehrbarkeit von Rohrleitungen und zum Personeneinsatz sind (HBVG 2002; BG BAU 2000).

Die Nennweitenstufen DN/ID 400, 800 und 1200 besitzen bezüglich des grabenlosen Leitungsbaus eine große Bedeutung, da sie Einsatzgrenzen einzelner Verfahren darstellen. So sind z.B. Pilotrohr-Vortrieb (zwei- oder dreiphasig, bodenverdrängende Pilotbohrung) und Mikrotunnelbau mit Schneckenförderung (über die Förderschnecke angetriebener Bohrkopf) bis einschließlich DN/ID 400 möglich, Pilotrohr-Vortrieb (zweiphasig, bodenabbauende Pilotbohrung) und Mikrotunnelbau mit Schneckenförderung (Direktantrieb des Bohrkopfes) bis einschließlich DN/ID 800 (STEIN 2003). Darüber hinaus stellt die Nennweite DN/ID 1200 definitionsgemäß die obere Grenze der unbemannt arbeitenden Verfahren, wie z.B. beim Pilotrohr-Vortrieb oder Mikrotunnelbau, bzw. den Übergang zu den bemannt arbeitenden Verfahren (Rohrvortrieb) nach DIN EN 12889 (2000) dar.

Die Differenzierung des Abwägungskriteriums „Maximale Rohrnennweite“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) eines Abwasserkanals erfolgt daher in folgende vier Klassen:

- | | |
|----|-----------------|
| 1: | bis DN/ID 400 |
| 2: | bis DN/ID 800 |
| 3: | bis DN/ID 1200 |
| 4: | über DN/ID 1200 |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

In Abhängigkeit des geplanten Nennweitenbereichs des Abwasserkanals ist die Abschätzung des ausprägungsindividuellen Risikopotenzials vorzunehmen. Der Nennweitenbereich bis einschließlich DN/ID 400 wird als „deutlich gefähr-

dungsmindernd (– –)“, derjenige bis DN/ID 800 als „gefährdungsmindernd (–)“ eingestuft. Rohrdurchmesser bis DN/ID 1200 sind als „gefährdungsbestätigend (+)“ zu bewerten, Nennweiten darüber als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“.

Kriterium 2

Art des Abwasserkanals

Wirkungseinfluss

Die Art des Abwasserkanals bzw. die Betriebsart des Entwässerungssystems als Freigefälle- bzw. Freispiegelleitung, Druck- oder Unterdruckleitung, beeinflusst durch exfiltrierendes Abwasser im Falle von Leckagen des Abwasserkanals bzw. Rohrsystems wesentlich die Kontaminationsgefahr des Grundwassers. Dies ist demnach nicht nur bei der Betrachtung der bauwerksspezifischen Einflusskriterien, sondern ebenso bei der Betrachtung der Untergrund- und Umfeldsituation zu berücksichtigen.

Ein Freispiegelsystem wird nach DIN EN 752-1 (1995) definiert als ein „Entwässerungssystem, bei dem der Abfluss durch Schwerkraft erfolgt und bei dem die Leitung üblicherweise mit Teilfüllung betrieben wird“. Druckentwässerungssysteme sind gemäß DIN EN 1671 (1997) „System[e] zum Fördern von häuslichem Schmutzwasser durch eine einzelne Druckleitung oder ein verzweigtes Druckleitungsnetz mit am Beginn der Druckleitungen angeordneten Druckerzeugern. Die Übergabestelle ist der Ort, an dem der gesamte Durchfluss aus dem Druckentwässerungssystem unter Umgebungsdruck in z.B. einen Schacht, einen Freigefällekanal oder einen Pumpensumpf abgeleitet wird“.

Unter einem Unterdruckentwässerungssystem wird in Anlehnung an DIN EN 1091 (1997) ein System zum Fördern von häuslichem Schmutzwasser durch eine einzelne Unterdruckleitung oder ein aus Unterdruckleitungen bestehendes Verästelungsnetz mit am Beginn der Unterdruckleitungen in Hausanschlusschächten angeordneten Absaugventilen verstanden. Die Unterdruckleitungen münden in die Unterdrucksta-

tion, von der aus das Schmutzwasser meist mittels Pumpen abgefördert wird.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Kriteriumsdifferenzierung orientiert sich an diesen möglichen und in der Praxis eingesetzten Betriebsarten als Freigefälle- bzw. Freispiegelleitung, Druck- oder Unterdruckleitung.

Bei Freispiegelleitungen ist bei der Betrachtung der Wirkungsverknüpfungen (vgl. Kap. 5) zu berücksichtigen, dass es für das Grundwassergefährdungspotenzial von Relevanz ist, wie die Lage des Grundwasserspiegels in Bezug zur Kanalsohle zu bewerten ist (vgl. Kriterium 50). Falls der Grundwasserspiegel über Rohrscheitel ansteht, wird aus einem Rohrschaden aufgrund des höheren äußeren Wasserdruckes im Hinblick auf den Gewässerschutz eher ungefährliche Infiltration von Grundwasser in den Abwasserkanal resultieren. Im Gegensatz hierzu ist bei einem Grundwasserstand unterhalb der Kanalsohle mit einer Exfiltration von Abwasser aus dem Abwasserkanal in den Untergrund zu rechnen (DOHMANN 1999).

Bei der Betrachtung von Freispiegel- bzw. Freigefälleleitungen ist es erforderlich zu unterscheiden, ob es sich um einen „normalen“ Abwasserkanal oder einen Stauraumkanal handelt. Stauraumkanäle stellen langgestreckte Speicher dar, in der Regel Rohrleitungen mit großem Durchmesser, bei denen Transport und Speicherung von Abwasser zusammenfallen (DWA 1999a). Da Stauraumkanäle meist große Abwassermengen aufnehmen können, geht von ihnen unter Umständen ein höheres Grundwassergefährdungsrisiko aus.

Bedingt durch die Tatsache, dass Abwasser bei einem als Druckleitung betriebenen Abwasserkanal durch Überdruck befördert wird, ist, wenn man von identischen Schadensausmaßen im System ausgeht, z.B. gleichgroßen Leckageöffnungen, die über einen Zeitraum exfiltrierende Abwassermenge erheblich größer, als bei einer drucklos betriebenen Freispiegelleitung (HÄRIG 1991), was eine unterschiedliche Risikobewertung beider Kanalarten erfordert.

Der umgekehrte Fall stellt sich bei Unterdruckentwässerungssystemen ein. Ihr Funktionieren setzt voraus, dass im Rohrstrang ein Vakuum bzw. Unterdruck herrscht. Undichtigkeiten sind unmittelbar an der Druckveränderung zu erkennen. Bei kleinen Schadstellen und Lage des Kanals im Grundwasser ist diese zusätzlich mit einer erhöhten Förderung angesaugten Fremdwassers verbunden, bei großen Leckagen mit einer eintretenden Funktionsunfähigkeit des Systems. Undichtigkeiten sind dadurch vergleichsweise schnell und zu erkennen.

Es werden gemäß der vorangegangenen Ausführungen bezüglich des „Art des Abwasserkanals“ (diskret verteilt, nominal skaliert) fünf Ausprägungen berücksichtigt:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: Freispiegelleitung, Freispiegelkanal 2: Stauraumkanal 3: Druckleitung, Druckkanal 4: Unterdruckleitung, Unterdruckkanal |
|---|

Eine zusätzliche Unterscheidung in Druckleitungen mit und ohne Drucküberwachung wird nicht durchgeführt, um die Anzahl der im Analyse- und Bewertungsmodell zu berücksichtigenden Ausprägungen zu begrenzen. Diese wäre denkbar, da bei einer vorhandenen Druckkontrolle ebenso wie bei der Unterdruckentwässerung mögliche Undichtigkeiten und Exfiltrationen schneller zu erkennen sind.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Von den angeführten Betriebsarten gestaltet sich die Unterdruckentwässerung aus Sicht der Gefahrenprävention und -erkennung als am sichersten, was mit der unmittelbaren Erkennung von Leckagen infolge des Betriebsdruckanstiegs zu erklären ist. Sie wird demnach mit dem Werturteil „deutlich gefährdungsmindernd“ (– –)“ versehen.

Druckentwässerungssysteme sind hinsichtlich ihres Gefährdungsrisikos aus den genannten Gründen als besonders kritisch zu beurteilen.

Sie verschärfen die Grundaussage, dass Abwasserkanalisationen in Wassergewinnungsgebieten bedeutende Einflüsse besitzen können, so dass ihnen die Bewertung „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zugewiesen wird.

Im direkten Vergleich hierzu sind Freispiegelsysteme weniger kritisch. Durch die atmosphärischen Bedingungen und die in der Regel Teilfüllung innerhalb des Rohrstrangs – zeitweilige Ausnahmen bilden starke Regenabflüsse – ist ein möglicher Abwasseraustritt geringer als bei Druckleitungen. Es ist jedoch nicht damit zu rechnen, dass Undichtigkeiten unmittelbar erkannt werden.

Wenn ein als Freispiegelleitung betriebener Abwasserkanal oberhalb des Grundwasserspiegels geplant wird, ist sein Grundwassergefährdungspotenzial aus den dargelegten Gründen erheblich höher als unterhalb des Grundwasserspiegels und somit als „gefährdungsbestätigend (+)“ einzustufen. Bei einer Lage unterhalb des Grundwasserspiegels erscheint dagegen eine Gefährdungsbeurteilung „gefährdungsmindernd (–)“ gerechtfertigt.

Bei der fallspezifischen Dateneingabe in das Expertensystem ist bei schwankenden Grundwasserständen, bei denen der Kanal jahreszeitlich bedingt im oder über dem Grundwasser liegt, bzw. bei einer nur teilweisen Kanallage oberhalb des Grundwasserspiegels als Worst-Case eine Lage oberhalb des Grundwasserspiegels anzunehmen.

Die Einstufung von Stauraumkanälen als „gefährdungsbestätigend (+)“ liegt darin begründet, dass sich durch ihre Funktion als Regenrückhaltestrecke im Vergleich zu herkömmlichen Freispiegelkanälen durch den Einstauvorgang des Abwassers erheblich größere Dimensionen und Füllhöhen bzw. Füllungsgrade ergeben.

Darüber hinaus ist mit dem Vorhandensein sowie der Wartung und dem Betrieb zusätzlicher technischer Einbauten wie u.a. Drossel- oder Entlastungseinrichtungen ein gefährdungsverstärkender Effekt verbunden, der jedoch unter dem der Druckentwässerung einzustufen ist.

Kriterium 3

Maximale Gründungstiefe, Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle

Wirkungseinfluss

Grundsätzlich gilt, dass je kleiner der Vertikalabstand zwischen Kanalbauwerk und der Grundwasseroberfläche ist, desto weniger mächtig der Bereich ist, in dem natürliche Reinigungs- und Rückhalteprozesse ablaufen können, falls es während der Bauphase im Baustellenbereich oder der Baugrube bzw. bei Rohrleckagen während des späteren Betriebes zu einem Eindringen von Kontaminationen in den Untergrund kommt. Damit haben Tiefenlage bzw. Überdeckungshöhe eines Abwasserkanals einen direkten Wirkungseinfluss auf das Grundwassergefährdungsrisiko.

Die Aufenthaltszeit im Untergrund bis zum Erreichen des Grundwasserleiters ist bei großen Einbindungstiefen in der Regel geringer als bei flachen. Die Bedeutung dieser Verringerung für die Gefährdungsbeurteilung ist jedoch stark von der Mächtigkeit und dem lithologischen Aufbau der Deckschichten (vgl. Kap. 1.4 sowie Kriterium 36 bis 39) und der Lage des Grundwasserspiegels (vgl. Kriterium 44) abhängig. Ist die Grundwasserüberdeckung mächtig bzw. retardierungswirksam, so ist die Einbindungstiefe der Trasse von geringerer Bedeutung, als wenn nur eine geringe Deckschichtenüberlagerung oder eine Überdeckung aus stark durchlässigen Gesteinen vorzufinden ist.

Zudem ist zu beachten, dass je tiefer ein Abwasserkanal unter der Geländeoberfläche verlegt werden soll, d.h. je größer der Abstand zwischen Rohrunterkante und der Geländeoberfläche ist, desto umfangreicher und aufwändiger die durchzuführenden Baumaßnahmen und damit die Eingriffe in den natürlichen Untergrund und eine Gefährdung des Grundwassers werden. Im Zuge der offenen Bauweise sind z.B. die Vorgaben der DIN 4124 (2002) zu berücksichtigen. Ab einer Tiefe von 1,25 m müssen Grabenwände mit Böschungen oder durch Verbau gesichert werden, die zusätzliche Erd- und Sicherungsarbeiten darstellen. Je tiefer der Lei-

tungsgraben ist, umso technisch aufwändiger gestalten sich auch die Sicherungsmaßnahmen und deren potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser z.B. durch den Einsatz von Maschinen, Geräten und temporär oder dauerhaft in der Baugrube verbleibenden Bauhilfsmitteln.

Bei geschlossener Bauweise verursacht eine größere Tiefenlage zwangsläufig die Herstellung tieferer Start-, Ziel- und Zwischenschächte, die folglich ein höheres potenzielles Risiko für das Grundwasser darstellen. Darüber hinaus stellt die Überdeckungshöhe des zu verlegenden Kanals ein wesentliches Einsatzkriterium für die einzelnen Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus dar, die in einem Wasserschutzgebiet „als Varianten der Bauausführung [...] anzustreben“ sind, um die „Eingriffe in den Untergrund zu minimieren“ (DWA 2002a).

Tab. 4: Mindestüberdeckungshöhen ausgewählter, steuerbarer Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus (in Anlehnung an STEIN 2003, verändert)

Mindestüberdeckungshöhen		
Verfahren	Einsatz im Rohrennenweitenbereich	Mindestüberdeckungshöhe (Richtwerte)
Pilotrohrvortrieb	$150 \leq DN/ID \leq 800$	DN/OD, mind. 1,0 m bzw. 1,5 bis 2 x DN/OD (Praxiserfahrung)
Mikrotunnelbau mit Schneckenförderung	$250 \leq DN/ID \leq 800$	$\geq DN/OD$, mind. 1,0 m
Mikrotunnelbau mit hydraulischer Förderung	$250 \leq DN/ID \leq 1200$	2 bis 3 x DN/OD, mind. 2,0 m (bei Böden mit hoher Durchlässigkeit ggf. größere Werte)
Mikrotunnelbau mit pneumatischer Förderung	$400 \leq DN/ID \leq 1200$	$\geq 2 \times DN/OD$
Rohrvortrieb	$> DN/ID 1200$	$\geq 1,5 \times DN/OD$, mind. 2,5 m

Bei den für die grabenlose Verlegung am häufigsten eingesetzten steuerbaren Verfahren stellen die in Tab. 4 angeführten Mindestüberdeckungshöhen die zu beachtenden verfahrenstechnischen Einsatzgrenzen dar. Bei Nichtbeachtung der angegebenen Richtwerte ist während des Vortriebs unter Umständen u.a. mit Bodenverformungen an der Geländeoberfläche, ausströmenden Stütz- und Förderflüssigkeiten

wie z.B. Bentonit-Suspensionen oder Wasser-Polymer-Lösungen zu rechnen, die zu Schwierigkeiten oder gar zum Abbruch der Vortriebsarbeiten führen können. Um einen gefährdungsminimierenden Einsatz der Verfahren des Leitungsbaus zu garantieren, ist eine möglichst optimale Tiefenlage mit in der Regel größerer Überdeckungshöhe als mindestens gefordert anzustreben, um bei der Bauausführung über einen ausreichend großen Sicherheitspuffer zu verfügen.

Grundsätzlich ist eine frostfreie Verlegung für Abwasserleitungen und -kanäle vorgeschrieben. Die dafür erforderliche Überdeckungshöhe ist u.a. von der regional variierenden Frosteindringtiefe abhängig. Als Richtwert werden in der Planung oftmals Überdeckungshöhen von mindestens 0,8 m, teilweise sogar von mindestens 1,2 m vorgeschrieben, auch unter der Berücksichtigung, dass nachträgliche Eingriffe und Aufgrabungen über der Trasse des Kanals, z.B. für den Straßenbau bzw. die Verlegung von darüber angeordneten bzw. kreuzenden Versorgungsleitungen, problemlos ermöglicht werden können (STEIN 2003).

In der vorliegenden Betrachtung wird von einer betriebstechnisch notwendigen Mindestüberdeckungshöhe von 1,0 m als Richtwert ausgegangen. Die Tiefenlage bzw. Verlegetiefe ist von der Rohrnennweite, d.h. außendurchmesserabhängig. Entscheidend ist also die Tiefe, bis zu welcher der natürlich anstehende Untergrund durch die Baumaßnahme nachhaltig beeinflusst bzw. sein natürlicher Aufbau gestört wird. Die Gewährleistung einer Mindestüberdeckung hat Auswirkungen auf die grundsätzliche Forderung, dass ein Abwasserkanal in einem Wasserschutzgebiet möglichst oberflächennah verlegt werden sollte, um den Abstand zwischen Kanalgründung und Grundwasserspiegel so groß wie möglich zu halten (DWA 2006f).

Kriteriumsdifferenzierung

Die Beurteilung des Eingriffes in den Untergrund durch die Baumaßnahme wird nicht nur durch die Gründungstiefe, d.h. Tiefe der Graben-, Schacht- bzw. Bohrlochsohle, sondern insbe-

sondere bei der offenen Bauweise auch durch die bei der Rückverfüllung des Leitungsgrabens verwendeten Materialien (Bodenaustausch) bestimmt. Die in der Leitungszone bzw. der Hauptverfüllung verwendeten Baustoffe – in der Regel verdichtungsfähige Sand-Kies-Gemische gemäß DIN EN 1610 (1997) bzw. DWA-Arbeitsblatt A 139 (2001/2008) – können die Strömungsverhältnisse des Grundwassers und den Eintrag von Schadstoffen infolge veränderter Durchlässigkeiten im Bereich des Leitungsgrabens mit Dränagewirkung nachhaltig beeinflussen. Diese werden an anderer Stelle betrachtet (vgl. Kriterium 15).

Die einzelnen Verfahren zur Sicherung des Leitungsgrabens bzw. der Schächte wie Böschung, Normverbau, Grabenverbaugerät, Spundwandverbau u.a. bleiben hier zunächst unberücksichtigt. Sie werden speziell im Rahmen der Bauverfahrenstechnik behandelt (vgl. Kriterium 14).

Zur begründeten Differenzierung der Verlegetiefe kann DIN 4124 (2002) herangezogen werden, welche als charakteristische Grenzwerte – in Abhängigkeit der Verbauart – Grabentiefen von 1,75 m und 4,0 m anführt. Als Ausprägungen des Kriteriums „Maximale Gründungstiefe, Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) wird demnach folgende Klasseneinteilung gewählt:

- | | |
|----|------------|
| 1: | bis 1,75 m |
| 2: | bis 4,0 m |
| 3: | über 4,0 m |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Bezüglich der angeführten Kriteriumsausprägungen erfolgt eine schrittweise Abstufung des berücksichtigten potenziellen Gefährdungseinflusses. Als Ausgangspunkt wird davon ausgegangen, dass ein tiefliegender Abwasserkanal die bestehende Gefährdungssituation im Wasserschutzgebiet bestätigt. Bei der offenen Bauweise ist durch den notwendig werdenden Verbau und/oder die einzuleitenden Maßnahmen für Aushub und Rückverfüllung des Leitungs-

grabens mit einem erheblichen Eingriff in den Untergrund zu rechnen. Dasselbe gilt für die Errichtung von tiefen Start-, Ziel- und Zwischenschächten für die Anwendung einer geschlossenen Bauweise, wenn auch in einem erheblich geringeren Maß und nur punktuell. Dies wird bei der Betrachtung der Bauweise und Bauverfahrenstechnik beachtet (vgl. Kriterium 14).

Eine maximale Gründungstiefe von mehr als 4,0 m wird als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ bewertet. Sind Tiefenlagen zwischen 1,75 m und 4,0 m geplant, so ist zumindest abschnittsweise mit Arbeiten zu rechnen, die das Grundwasser gefährden, so dass nicht von einer Gefährdungsminderung ausgegangen werden kann. Es wird daher das Bewertungsurteil „gefährdungsbestätigend (+)“ zugewiesen.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes hat eine oberflächennahe Verlegung eines Abwasserkanals dahingehend Vorteile, dass sie der Forderung, den Eingriff in den natürlichen Untergrund möglichst gering zu halten, eher nachkommt als tiefliegende Gründungen. Somit ist prinzipiell davon auszugehen, dass sich die Situation insgesamt entschärft. Eine geplante Verlegung eines Abwasserkanals in einer Tiefenlage von maximal 1,75 m wird daher als „gefährdungsmindernd (-)“ angesehen.

Kriterium 4

Haltungslänge, Schachtabstand

Wirkungseinfluss

Als Haltung wird nach DIN 4045 (2003) die „Strecke eines Abwasserkanals zwischen zwei Schächten und/oder Sonderbauwerken“ bezeichnet. Wesentliche Bestandteile der Entwässerungsnetze bilden neben den Kanälen die Bauwerke der Kanalisation. Hierzu gehören Schächte, aber auch Bauwerke zur Überwindung von Höhenunterschieden, Inspektionsöffnungen, Kreuzungsbauwerke, Regenüberlaufbauwerke, Einlaufbauwerke (Straßenabläufe) sowie Auslauf- und Schieberbauwerke (DWA 2000b). Unter Schacht wird gemäß DIN EN 752 (2008) ein „Einstieg mit abnehmbarem Deckel,

angebracht auf einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal [verstanden], um den Einstieg von Personen zu ermöglichen.“ Seine lichte Weite sollte mindestens 1000 mm betragen (DIN EN 476 1997).

Die Haltungslänge wird von Aufgaben des Bauwerks bestimmt. Im DWA-Arbeitsblatt A 157 (2000b) wird gefordert, dass „der Schachtabstand bei Kanälen aller Dimensionen in der Regel 100 m nicht überschreiten soll. Aus arbeitssicherheitstechnischen und betrieblichen Gesichtspunkten können jedoch unabhängig davon Schachtabstände < 100 m notwendig werden. Bei nichtbegehbaren Transportsammlern und insbesondere in ländlich strukturierten Gebieten können größere Schachtabstände gewählt werden, wenn den betrieblichen Belangen auf anderer Weise, wie z.B. durch Inspektionsöffnungen, entsprochen wird“.

Aufgrund langjähriger Betriebserfahrungen haben viele Kanalnetzbetreiber in Deutschland eigene Vorgaben für die Festlegung der Schachtabstände entwickelt. Eine Betrachtung dieser betriebsinternen Vorschriften geben bei nichtbegehbaren Kanälen Schachtabstände von 50 m bis 70 m und bei begehbaren Kanälen von 70 m bis 150 m vor. Im Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe 1.7.3 „Regeln für den Kanalbetrieb“ (1998a) wird empfohlen, aus betrieblicher Sicht eine Haltungslänge von maximal 70 m mit einer geradlinigen Trassierung und begehbaren Schächten anzusetzen.

Während der Schachtabstand bei der offenen Bauweise unabhängig von der eingesetzten Bauverfahrenstechnik ist, ist bei der geschlossenen Bauweise die maximale Vortriebslänge, d.h. der Abstand zwischen Start- und Zielschacht, eines der wichtigsten Einsatzkriterien, das abhängig von den vorliegenden Baugrundverhältnissen, der vorzutreibenden Rohrnennweite bzw. dem Rohrwerkstoff und somit von der von den Vortriebsrohren maximal aufnehmbaren Vortriebskraft ist.

Die Haltungslängen von ca. 50 m bis 70 m bzw. 100 m können mit den unbemannt arbeitenden Verfahren (Pilotrohr-Vortrieb und Mikrotunnelbau) zur Verlegung von Abwasserleitungen und

-kanälen im nichtbegehbaren Nennweitenbereich in der Regel zuverlässig erreicht werden.

Kriteriumsdifferenzierung

Mit geringer werdendem Schachtabstand bzw. kürzerer Haltungslänge steigt zwangsläufig auch das Risiko, dass die Zahl der Übergänge vom Rohr in den Schacht, d.h. der Schachteinbindungen bzw. Schachtanschlüsse zunimmt und somit das Risiko von nicht fachgerecht ausgeführten und undichten Anschlüssen steigt.

Auch können unterschiedliche Setzungen von Kanal und Schachtbauwerk zu Undichtigkeiten im Rohreinbindungsbereich und somit zur Exfiltration von Abwasser führen. Darüber hinaus wird aus konstruktiven Gründen die Gründungssohle von Schachtbauwerken immer tiefer ausgeführt als der eigentliche Kanal. Die Schachtunterteile mit Gerinneausbildung von Standard-schächten, z.B. nach DIN EN 1917 (2003) bzw. DIN 4034-1 (2004), weisen in der Regel um etwa einen halben Meter tiefere Gründungssohlen als der eigentliche Abwasserkanal auf.

Um das mit den genannten Faktoren verbundene Risiko für das Grundwasser gering zu halten, sind bei der Planung und Bauausführung möglichst große Schachtabstände anzustreben. Andererseits erschweren unter dem Instandhaltungsaspekt gesehen große Haltungslängen die im Laufe der Nutzungsdauer des Kanals erforderlich werdenden Maßnahmen der Reinigung, Inspektion bzw. Sanierung. Dies gilt insbesondere für nichtbegehbare Abwasserkanäle.

Das DWA-Merkblatt M 146 (2004) schlägt im „Beispiel einer standortindividuellen Bewertungsmatrix als Grundlage für eine Gefährdungseinschätzung“ diesbezüglich vor, einen Schachtabstand von 100 m als Grenzwert innerhalb der Betrachtung des Grundwassergefährdungspotenzials anzusetzen. Dieser Vorschlag wird für das Expertensystem insofern modifiziert, als dass der angeführte Abstandswert von 70 m als zusätzlicher Grenzwert mit Berücksichtigung findet.

Hieraus ergeben sich für das Abwägungskriterium „Haltungslänge, Schachtabstand“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) folgende klassifizierte Ausprägungen:

- | | |
|----|------------|
| 1: | bis 70 m |
| 2: | bis 100 m |
| 3: | über 100 m |

Eine Berücksichtigung Begehrbarkeit kann später über eine Verknüpfung mit der Rohrnennweite (vgl. Kriterium 1) erfolgen, da für nichtbegehbare Rohrnennweiten bis DN/ID 800 gilt, dass Maßnahmen für Betrieb und Unterhalt umso schwerer durchzuführen sind, je länger die einzelnen Haltungsabschnitte sind, während bei begehbaren Kanälen aufgrund der lichten Querschnittsabmessungen die mit den genannten Maßnahmen verbundenen Arbeiten erfahrungsgemäß geringere Schwierigkeiten bereiten. In diesem Zusammenhang erscheinen Haltungslängen bis zu 600 m für große Abwasserkanäle (>DN/ID 2000) vertretbar (STEIN 2003).

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die ausprägungsspezifische Gefährdungsbewertung wird mit den Aussagen bezüglich der instandhaltungsgerechten Auslegung eines Entwässerungssystems begründet und ist daher nicht ganz ohne gleichzeitige Betrachtung der Begehrbarkeit und damit der Rohrnennweite möglich.

Bei nichtbegehbaren Rohrnennweiten wird eine Haltungslänge von unter 70 m als „gefährdungsmindernd (-)“ eingestuft, ein Schachtabstand bis 100 m als „neutral (o)“, während geplante größere Abstände „gefährdungsbestätigend (+)“ angesehen werden.

Im Falle begehrbarer Rohrnennweiten werden Schachtabstände bis 100 m mit der Bewertung „neutral (o)“ versehen, darüber liegende Haltungslängen mit der Bewertung „gefährdungsmindernd (-)“.

Kriterium 5**Linienführung****Wirkungseinfluss**

Abwasserkanäle können in gerader oder gekrümmter Linienführung bezogen auf die Trasse und/oder die Gradienten verlegt werden. Nach DWA-Arbeitsblatt A 157 (2000b) werden bei einer Änderung der Richtung¹², des Querschnitts oder des Gefälles Schächte angeordnet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass insbesondere nichtbegehbare Kanäle haltungsweise geradlinig von Schacht zu Schacht in offener oder geschlossener Bauweise verlegt werden. Auf diese Weise können z.B. durch Verringerung der Haltungslänge bzw. des Schachtabstandes Kanalnetzstrecken polygonzugförmig mit großen Radien verlegt werden, ohne die Rohre in der Rohrverbindung abzuwinkeln (vgl. Kriterium 7).

Obwohl als Planungsgrundsatz gilt, eine Haltung möglichst geradlinig zu verlegen, können es in besonderen Fällen die örtlichen Verhältnisse, z.B. Gebäude, Fundamente und Gründungskörper von Bauwerken, Denkmäler oder Verkehrslinien, erforderlich machen, den Verlauf des Abwasserkanals von Schacht zu Schacht in gekrümmter Linienführung zu planen, um derartige Zwangspunkte zu umgehen. Dies erfordert eine haltungsweise Verlegung der Kanäle in gekrümmter Linienführung, d.h. bei Steckverbindungen eine entsprechende Abwinkelung der Rohrenden in Abhängigkeit zu ihrer Baulänge (vgl. Kriterium 8) bzw. bei Schweißverbindungen einen entsprechenden Biegeradius des gesamten Rohrstrangs.

Insbesondere bei der geschlossenen Bauweise kommen im begehbaren Nennweitenbereich häufig Vortriebe in gekrümmter Linienführung zur Anwendung, da der grabenlose Leitungsbau für die Anwendung beim Vorhandensein unüberwindlicher Hindernisse in der geplanten Kanaltrasse prädestiniert ist. Ein häufiger diesbezüglicher Anwendungsbereich für Vortriebe in gekrümmter Linienführung bezogen auf die Gradienten ist z.B. der Bau von Dükern, eines

Abschnitt[s] einer Freispiegelleitung oder eines Freispiegelkanals, welche tiefer angeordnet sind als die oben- und untenliegenden Abschnitte, damit ein Hindernis unterfahren werden kann (DIN EN 752 2008).

Kriteriumsdifferenzierung

Bezüglich des Einflusskriteriums „Linienführung“ (diskret verteilt, nominal skaliert) des geplanten Abwasserkanals werden damit folgende beiden Ausprägungen differenziert:

- | | |
|----|----------|
| 1: | gerade |
| 2: | gekrümmt |

Die beiden Kriteriumsausprägungen beziehen sich sowohl auf die Trasse, als auch auf die Gradienten. Es ist es demnach gleichgültig, ob ein Abwasserkanal zwischen zwei Schächten in gekrümmter Linienführung bezogen auf die Trasse, in gekrümmter Linienführung bezogen auf die Gradienten oder in gekrümmter Linienführung bezogen auf Trasse und Gradienten verlegt wird. Entscheidend ist, dass die Abwinkelung der Rohrverbindungen bei Steckverbindungen bzw. der Krümmungsradius des Rohrstrangs bei Schweißverbindungen in allen genannten Fällen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko in Bezug auf die Dichtheit bzw. den Beanspruchungsgrad der Rohrleitung und damit auf die Gefahr von im Laufe der Nutzungsdauer eventuell auftretenden Undichtigkeiten darstellt.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Mit der Verlegung von Abwasserleitungen und Abwasserkanälen in gerader Linienführung wird ein geringeres Grundwassergefährdungspotenzial verbunden, da die Beanspruchung des gesamten Rohrstrangs einschließlich der Rohrverbindungen sowohl bei Steck- als auch Schweißverbindungen kleiner ist und damit auch das Risiko verringert wird, dass im Verlauf der späteren Nutzung an Rohrverbindungen u.a. durch normale Alterungsprozesse des Dichtmittels oder veränderte Lagerungsbedingungen der

¹²im Falle nichtbegebarter Kanäle

Rohrleitung Undichtigkeiten auftreten, welche zu einer Exfiltration von Abwasser in den Untergrund führen. Aus diesem Grund wird der Verlegung eines Kanals in gerader Linienführung die Bewertung „gefährdungsmindernd (-)“ zugewiesen, einer gekrümmten Linienführung dagegen die Bewertung „gefährdungsbestätigend (+)“.

Kriterium 6

Rohrtyp

Wirkungseinfluss

Bei den in Kanalisationen eingesetzten Werkstoffen (Materialien und Baustoffen) wird zwischen metallischen, organischen, nichtmetallisch-anorganischen und Mehrkomponentenbaustoffen unterschieden. Letztere werden wiederum in Verbundbaustoffe, bewehrte Baustoffe und verstärkte Baustoffe unterteilt. Darüber hinaus existieren Sonderkonstruktionen, z.B. in Form von Beton- oder Stahlbetonrohren mit integriertem Korrosionsschutz, die zur Anwendung kommen, wenn mit einem stark angreifenden, aggressiven Abwasser bzw. mit biogener Schwefelsäurekorrosion zu rechnen ist (vgl. Kriterium 10).

In bundesdeutschen Entwässerungssystemen dominieren nach Angaben von BERGER (2001) im nichtbegehbaren Nennweitenbereich Rohre aus Beton bzw. Stahlbeton (46,1 %) und Steinzeug (44,2 %), im begehbaren Nennweitenbereich Abwasserkanäle aus Beton bzw. Stahlbeton (80,5 %) und Mauerwerk (15,6 %). Abwasserkanäle aus Mauerwerk werden heutzutage in der Regel nicht mehr neu errichtet. Vielfach ist bei einzelnen Kommunen bzw. Entwässerungsbetrieben eine Werkstoffart dominierend.

Maßgebend für die Wahl des Rohrwerkstoffes sind im konkreten Anwendungsfall in der Regel u.a. die zu erwartenden mechanischen, chemischen und biologischen Beanspruchungen, die gewählte Bauweise sowie die Wirtschaftlichkeit. Eine Reihe von Nachweisen hierzu ist Bestandteil der Planung bzw. der Auswahl eines Rohrwerkstoffes. Dies betrifft z.B. die in der Regel werkstoffabhängigen Kriterien Statik, chemische

Widerstandsfähigkeit wie z.B. Korrosionsverhalten gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion, Hochdruckspülfestigkeit und Hydraulik.

Von entscheidender Bedeutung in der Praxis sind zudem die wirtschaftlichen Aspekte von Rohrwerkstoffen auf Grundlage der von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) herausgegebenen „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (2005). Mit diesen können technische und finanzielle Aspekte zusammengefasst werden.

Die wesentlichen Eingangsgrößen bei der Planung von Kanalbaumaßnahmen stellen die Ausführungskosten und die Nutzungsdauer der Anlagenteile dar. Diese werden im Wesentlichen durch die Werkstoffeigenschaften der verwendeten Rohre und die Praxis des Kanalbetriebs bestimmt. Über eine lange Betriebsdauer funktionsfähige und dichte Abwasserkanäle tragen dazu bei, den volkswirtschaftlichen Nutzen zu erhöhen bzw. die Abwassergebühren niedrig zu gestalten und darüber hinaus die notwendigen baulichen Eingriffe für Reparatur, Renovierung oder Erneuerung und die damit verbundenen potenziellen Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung so gering wie möglich zu halten.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Nutzungs- bzw. Lebensdauer der verschiedenen im Abwassersektor verwendeten Rohrwerkstoffe ist grundsätzlich immer eingebunden in die Gesamtbeurteilung des sich über den zeitlichen Verlauf ändernden Kanalzustandes, der abhängig von der Qualität des Rohrwerkstoffes und insbesondere einer ordnungsgemäßen Bauausführung, den Baugrund- und Gefälleverhältnissen, den Betriebsbedingungen und der Beschaffenheit des Abwassers ist.

Die in früheren Ausgaben der LAWA-Leitlinien enthaltenen Angaben zur unterschiedlichen Nutzungsdauer von Rohrwerkstoffen ist in den Novellierungen seit 1994 dahingehend geändert, dass nunmehr die Bandbreite zur Nutzungsdauer von Abwasserkanälen für alle Rohrwerkstoffe gemeinsam angegeben, d.h. pauschal eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 50 bis 80

bzw. 100 Jahren angegeben wird. Als durchschnittliche Nutzungsdauern wurden 1992 für Steinzeug 80 bis 100 Jahre, für Beton bzw. Stahlbeton, Faserzement und Gusseisen 50 bis 60 Jahre, für Polymerbeton (PRC), Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) und Glasfaserverstärkten Kunststoff (GFK) 50 Jahre angeführt (LAWA 1992).

Neuere Untersuchungen an Abwasserleitungen im öffentlichen Bereich (MÜLLER 2005) kamen zu dem Ergebnis, dass bei Betrachtung der Gesamtnetze ohne weitere Differenzierung von Einflussmerkmalen eine mittlere Nutzungsdauer von etwa 60 bis 90 Jahren (verschärfte Anforderungen) bzw. 85 bis 125 Jahren (Normalanforderungen) resultiert. Eine differenzierte Ermittlung der mittleren Nutzungsdauern von Beton- bzw. Asbestzementrohren ergab, dass diese Rohre zwischen 50 und 75 Jahren (verschärfte Anforderungen) bzw. 80 und 130 Jahren (Normalanforderungen) schwanken. Im Mittel liegt ihre Nutzungsdauer bei 90 % derjenigen für Steinzeugrohre.

Eine Betrachtung der materialbezogenen Abhängigkeit der Nutzungsdauer von der Nennweite der Kanalhaltungen war bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Anschlussdichte bei Beton- bzw. Asbestzementrohren nur beschränkt, bei Steinzeugrohren nicht möglich. Für Betonrohre zeigte sich, dass die Nutzungsdauer großformatiger Rohre in der Regel größer ist als die von solchen mit geringeren Nennweiten. Die Untersuchungen kamen zusammenfassend zu dem Ergebnis, dass eine allgemeine Angabe zur Nutzungsdauer wenig sinnvoll ist und Angaben zur mittleren Nutzungsdauer allenfalls als grobe Anhaltspunkte anzusehen sind.

Die Veränderung von einer werkstoffbezogenen Angabe zu einer pauschalen Rahmendarstellung innerhalb der LAWA-Leitlinien hat zur Folge, dass nun die Differenzierung nach Eignung und Langlebigkeit eines Werkstoffes vom planenden Ingenieur aufgrund dessen Erfahrung und der zu erwartenden Beanspruchung des Rohres zu treffen ist. Grund hierfür ist, dass – eine gleiche Verlegequalität und Beanspruchung aus Betrieb und Unterhalt vorausgesetzt – prinzipiell keine pauschale Aussage mit Bezug auf

die jeweilige Nutzungsdauer der Rohrwerkstoffe getroffen werden kann. Auch ist weiterhin kein pauschales Urteil darüber möglich, ob in geschlossener Bauweise verlegte Rohre (Vortriebsrohre) des gleichen Werkstoffs grundsätzlich eine bessere und langlebigere Qualität aufweisen als in offener Bauweise verlegte.

Eine wie in früheren Ausgaben der LAWA-Leitlinien getätigte, werkstoffbezogene Abgrenzung ist im vorliegenden Anwendungsfall nur schwerlich möglich und auch nicht sinnvoll, weil diese das mit der Anwendung eines bestimmten Rohrwerkstoffes verbundene Grundwassergefährdungspotenzial nicht entscheidend verstärken oder abmindern wird.

Eine Ausnahme bilden hier Rohre aus Beton bzw. Stahlbeton mit integriertem Korrosionsschutz. Dabei handelt es sich um aus zwei Schichten bestehende Rohre¹³, die eine Tragschicht aus Beton- oder Stahlbeton und eine werkseitig eingebaute Korrosionsschutzschicht in Form einer Auskleidung bzw. Inliners aus z.B. Steinzeug, Polyvinylchlorid oder Glasfaserverstärktem besitzen, welche keinen planmäßigen Ringspalt zwischen den beiden Schichten aufweist. Derartige Rohre wurden vornehmlich für den Einsatz in Kanalisationen mit ständig sehr starken chemischen Angriffen entwickelt. Diese Rohrtypen verfügen konstruktionsbedingt teilweise auch über ein doppeltes Dichtsystem in der Rohrverbindung als Redundanz und stellen somit eine erhöhte Sicherheit gegenüber möglichen Undichtigkeiten dar. Die für die Grundwassergefährdungsbeurteilung relevante Betrachtung hat demnach weniger die Nutzungsdauer, als vielmehr die Sicherheit gegenüber potenziellen, im Laufe der Nutzung eintretenden Undichtigkeiten zu berücksichtigen.

Unter Beachtung der Redundanz der Zwei-Schicht-Rohre gegenüber herkömmlichen Ein-Schicht-Rohren wird im vorliegenden Anwendungsfall bezüglich des „Rohrtyps“ (diskret verteilt, nominal skaliert) differenziert zwischen:

¹³ nachfolgend als Zwei-Schicht-Rohre bezeichnet

- 1: Ein-Schicht-Rohre
(z.B. Beton/Stahlbeton, Faserzement, Steinzeug, Gusseisen, Polymerbeton, Polyvinylchlorid, Polyethylen, Glasfaserverstärkter Kunststoff)
- 2: Zwei-Schicht-Rohre
(z.B. Beton-/Stahlbetonrohre mit integriertem Korrosionsschutz (Inliner/Auskleidung) aus Steinzeug, Polyvinylchlorid, Glasfaserverstärktem Kunststoff).

Von Zwei-Schicht-Rohren zu unterscheiden sind nach DWA-Merkblatt M 146 (2004) Rohre mit Korrosionsschutzauskleidungen, bei denen im Rohrverbindungsgebiet lediglich eine Fugenversiegelung vorgenommen wird, die nicht als zusätzliche Dichtung zu betrachten ist.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Wie dargestellt, kann für die verschiedenen in Kanalisationen eingesetzten Rohrwerkstoffe eine objektive und neutrale Gefährdungsbeurteilung mit Bezug auf die Nutzungsdauer nicht vorgenommen werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass Häufigkeit und Intensität der im Rahmen des natürlichen Alterungsprozesses erforderlich werdenden, baulichen Sanierungsmaßnahmen und die damit verbundenen, für die Grundwasserqualität risikowirksamen Eingriffe für jeden Rohrwerkstoff identisch sind.

Unter dem Aspekt der Sicherheit der einzelnen Rohrwerkstoffe gegenüber exfiltrierendem Abwasser, insbesondere der diesbezüglich gefährdeten Rohrverbindungen, weisen Zwei-Schicht- gegenüber Ein-Schicht-Rohrkonstruktionen eine erhöhte Sicherheit bezüglich Dichtheit auf, da sowohl die innere Schicht (Inliner/Auskleidung) als auch die äußere Schicht (Tragschicht) und die jeweiligen Abdichtungen bzw. Rohrverbindungen den entsprechenden Dichtheitsanforderungen genügen müssen. Aus diesem Grund ist mit der Anwendung von redundanten Zwei-Schicht-Rohren ein erheblich geringeres Gefährdungspotenzial verbunden.

Die Einschätzung des ausprägungsindividuellen Gefährdungspotenzials erfolgt demnach dergestalt, dass Ein-Schicht-Rohren die Bewertung „gefährdungsbestätigend (+)“ zugewiesen wird, während Zwei-Schicht-Rohre hinsichtlich ihres Wirkungseinflusses als „deutlich gefährdungsmindernd (–)“ betrachtet werden. Hiervon zu unterscheiden sind wie o.a. Rohre mit Korrosionsschutzauskleidungen, die nicht als zusätzliche Dichtung einzustufen ist.

Kriterium 7

Rohrverbindungstyp

Wirkungseinfluss

Rohrverbindungen stellen „Verbindung[en] zwischen benachbarten Enden zweier Bauteile, einschließlich der Dichtmittel bzw. des Dichtringes, falls zutreffend“ dar. Sie haben die Aufgabe, die Dichtheit gegen Innen- und Außendruck, die Übertragung von Längs- und Querkräften (Scherfestigkeit) sowie gegebenenfalls Korrosionsschutz der Rohrstirnflächen zu gewährleisten (DIN EN 14457 2004; DIN EN 476 1997).

Man unterscheidet zwischen flexiblen, d.h. beweglichen und starren Rohrverbindungen, wobei eine flexible Rohrverbindung eine Verbindung ist, „die eine deutliche Abwinkelung sowohl während als auch nach dem Einbau sowie auch eine geringe Abweichung von der Rohrachse zulässt“, während eine starre Rohrverbindung „weder während noch nach dem Einbau eine deutliche Abwinkelung erlaubt“ (DIN EN 805 2000).

Darüber hinaus wird bei Vortriebsrohren unterschieden zwischen druckkraftschlüssigen Rohrverbindungen zur Übertragung von Druckkräften beim Einpressen oder beim Einschieben von Rohren, zugkraftschlüssigen Rohrverbindungen zur Übertragung von Zugkräften beim Einziehen von Rohren sowie druck- und zugkraftschlüssigen Rohrverbindungen zur Übertragung von Druck- und Zugkräften beim Einpressen, Einschieben, Einrammen und Einziehen von Rohren (DWA 1990).

Für den Einsatz von Rohrverbindungen gibt es keine Universallösung, sondern starke Abhängigkeiten zwischen der Betriebsart, dem Werkstoff und den Konstruktionsmaßen der Rohre. Nach Ergebnis der DWA-Umfrage 2004 haben undichte Muffen einen Anteil von 11 % an den bei Abwasserleitungen und -kanälen festgestellten Gesamtschäden (BERGER 2004). Sie stellen somit eine Hauptursache für Undichtigkeiten und exfiltrierendes Abwasser bzw. infiltrierendes Grundwasser dar.

Kriteriumsdifferenzierung

Bezüglich des Abwägungskriteriums „Rohrverbindungstyp“ (diskret verteilt, nominal skaliert) wird im Expertensystem differenziert:

- | |
|----------------------|
| 1: Steckverbindung |
| 2: Schweißverbindung |

Eine Steckverbindung stellt eine abwinkelbare und damit bewegliche Rohrverbindung dar, deren Dichtwirkung durch Zusammenstecken von Einsteckende (Spitzende) und einem Verbindungsstück (Muffe, Kupplung, Manschette, loser Führungsring) in Verbindung mit einem elastischen Dichtmittel erzielt wird. Dieser Verbindungstyp ist bei beweglicher und druckkraftschlüssiger Ausführung beim Bau von Abwasserleitungen und -kanälen in offener und geschlossener Bauweise der Regelfall und wird z.B. bei Rohren aus Beton- bzw. Stahlbeton, Steinzeug, PRC, GFK und PVC verwendet. Eine Schweißverbindung stellt dagegen eine starre, zug- und druckkraftschlüssige Rohrverbindung dar, deren Dichtwirkung durch Verschweißen der Rohrenden erzielt wird, und die z.B. bei Stahl- und PE-Rohren Anwendung findet.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Bewegliche Steckverbindungen lassen in einem gewissen, vom Rohrerhersteller angegebenen Umfang planmäßige Abwinkelungen bei der Verlegung, z.B. in gekrümmter Linienführung (vgl. Kriterium 5) zu und müssen auch bei ma-

ximal zulässiger Abwinkelung noch dicht sein. Mit zunehmender Abwinkelung steigt jedoch die Gefahr, dass bei unplanmäßiger weiterer Abwinkelung in vertikaler Richtung während des späteren Betriebes, z.B. durch nachträgliche Setzungen oder zunehmende Verkehrsbelastung, die Dichtigkeit der Rohrverbindung nachteilig beeinflusst wird, und das Dichtmittel bzw. der Dichtring zwischen Einsteckende und Verbindungsstück infolge des hohen Abwinkelungswinkels keine ausreichende Dichtung mehr erzielen kann.

Darüber hinaus besteht unabhängig von der Linienführung des Kanals beim Zusammenstecken der Rohrenden die Gefahr, dass durch mit Schmutz oder Bettungsmaterial belegte Einsteckenden oder Muffen die Dichtung nachteilig beeinflusst oder gar beschädigt wird. Aus besagten Gründen werden Steckverbindungen als „gefährdungsbestätigend (+)“ eingestuft.

Schweißverbindungen sind nicht abwinkelbare Rohrverbindungen. Die aus einzelnen Rohren von zumeist großer Baulänge zu einem durchgehenden Rohrstrang zusammengeschweißte Rohrleitung aus Stahl oder PE(-HD) weist jedoch einen werkstoff- und nennweitenabhängigen Biegeradius auf, wodurch er in einer das zulässige Maß nicht überschreitenden Krümmung verlegt werden kann, ohne dass dies Einfluss auf die Dichtigkeit der Rohrverbindung hat. Schweißverbindungen verfügen zudem über den Vorteil der Zugkraftschlüssigkeit, so dass der Rohrstrang während des Baus bzw. während des späteren Betriebs nicht auseinandergezogen werden kann.

Des Weiteren besitzen verschweißte Rohrleitungen in der Regel erheblich weniger Rohrverbindungen als Rohrleitungen mit Steckverbindungen, wodurch das potenzielle Risiko mit der Betriebsdauer undicht werdender Rohrverbindungen bei dieser Ausführungsart erheblich geringer ist. Schweißverbindungen wird somit insgesamt ein „gefährdungsmindernd (-)“ Wirkungseinfluss zugeordnet. Eine durchaus anderslautende Gefährdungseinstufung der beiden Ausprägungen kann z.B. dann gegeben sein, wenn im Trassenbereich mit Bodensetzungen zu rechnen ist (vgl. Kriterium 32).

Kriterium 8

Baulänge der Kanalrohre

Wirkungseinfluss

Als Baulänge wird die Länge des inneren Schafes eines Rohres, d.h. dessen zylindrischer Teil mit einheitlichem Querschnitt ohne Verbindung verstanden (DIN EN 14457 2004). Bei Vortriebsrohren wird gegebenenfalls die Dicke des Druckübertragungsrings im unverpressten Zustand mit eingerechnet.

Typische, in der Praxis gebräuchliche Baulängen von Rohren, die in offener und geschlossener Bauweise verlegt werden, sind in Abhängigkeit der Rohrnennweite und der Linienführung u.a. 500 mm, 1000 mm, 2000 mm, 2500 mm, 3000 mm oder 4000 mm. Darüber hinaus werden Rohre in Abhängigkeit des Rohrwerkstoffes (vgl. Kriterium 6) und der Rohrnennweite (vgl. Kriterium 1) teilweise als Rohrstangen mit einer aus Transportgründen maximale Baulänge von in der Regel bis zu 12 m (z.B. Stahl und Kunststoff) oder als auf Trommeln aufgewickelte Rollenware (z.B. PE oder PP) geliefert.

Die einzelnen Rohre werden über Rohrverbindungen dicht und kraftschlüssig miteinander verbunden. Für die direkte Einbindung von Anschlussleitungen in Abwasserkanäle werden bei der Verlegung in offener Bauweise häufig Abzweige als spezielle Formstücke in den Rohrstrang eingebaut. Darüber hinaus kommen u.a. am Schächten Passstücke zum Einsatz, welche einen längengenauen Einbau zwischen den vorgegebenen Schachtstandorten und einen gelenkigen Anschluss der Rohrleitung ermöglichen. Die Baulänge dieser Form- bzw. Passstücke ist in der Regel auf maximal 0,5 m begrenzt. Passstücke werden werkseitig mit der benötigten Baulänge vorgefertigt oder auf der Baustelle den örtlichen Verhältnissen entsprechend abgelängt.

Kriteriumsdifferenzierung

Die klassifizierten Kriteriumsausprägungen werden im vorliegenden Anwendungsfall frei ge-

wählt, da diesbezügliche Vorgaben in Normen und Regelwerken bzw. in der Literatur nicht vorgefunden werden konnten.

Bezüglich des Kriteriums „Baulänge der Kanalrohre“ (diskret verteilt, verhältnisskaliert) erfolgt eine Differenzierung in zwei Klassen:

1:	bis 4,0 m
2:	über 4,0 m

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die Baulänge der Kanalrohre bestimmt die Anzahl der Rohrverbindungen pro Haltung. Je kürzer die einzelnen Rohre sind, desto größer wird die Anzahl der erforderlichen Rohrverbindungen und damit die Zahl möglicher Undichtigkeitsstellen, an denen es zu einer Abwasserexfiltration kommen kann.

Je länger die Baulänge der einzelnen Rohre einer zur Abwasserableitung genutzten Rohrleitung ist, desto geringer ist umgekehrt die Zahl pro Haltung benötigter Rohrverbindungen und somit auch die von diesen ausgehende Gefahr im Hinblick auf potenzielle Undichtigkeiten während der Nutzungsdauer.

Das Staatliche Umweltamt Düsseldorf hat diesbezüglich detaillierte Anforderungen gestellt, nach denen die Anzahl der Rohrverbindungen grundsätzlich auf ein Minimum zu reduzieren und möglichst lange Rohre zu verwenden sind. Stoßfugen sind, wenn die Rohrnennweite es erlaubt, außer bei geschweißten PE-Rohren, von innen dauerelastisch abzudichten. Wenn Abwasserkanäle in gekrümmter Linienführung bezogen aus Trasse und/oder Gradienten verlegt werden, bestimmen bei Steckmuffenverbindungen maximal zulässige Abwinkelung sowie möglicher Krümmungsradius maßgeblich die Baulänge der Rohre (vgl. Kriterium 7).

Aus den geschilderten Gründen wird kurzen Baulängen, hier repräsentiert durch Längen bis 4,0 m, ein allgemein „gefährdungsbestätigender (+)“ Wirkungseinfluss zugesprochen, während

Baulängen über 4,0 m als „gefährdungsmindernd (–)“ erachtet werden.

In Bergsenkungsgebieten kann jedoch aus Gründen der Anpassung der Abwasserleitungen an mögliche Bodenbewegungen der Einbau von Rohren mit kurzen Baulängen und Rohrverbindungen zweckmäßiger sein. Die dann größere Beweglichkeit bzw. Gelenkigkeit des Rohrstrangs wirkt sich dort positiv auf die Tragfähigkeit und Dichtigkeit der Rohrleitung aus. Diese Wirkungsverknüpfung wird bei der Betrachtung der Interaktionen zwischen den Abwägungskriterien berücksichtigt (vgl. Kap. 5).

Kriterium 9

Art des Entwässerungssystems

Wirkungseinfluss

Im Regelfall erfolgt die Abwasserableitung in Deutschland durch ein Schwerkraftentwässerungssystem, d.h. eine Freispiegelkanalisation, von der etwa zwei Drittel als Mischsystem und ein Drittel als Trennsystem ausgeführt sind. In Süddeutschland wird dabei das Mischsystem bevorzugt, während in Norddeutschland aufgrund der topographischen Gegebenheiten das Trennsystem öfter zum Einsatz kommt.

Das Mischsystem stellt ein aus einem einzigen Leitungs- bzw. Kanalsystem bestehendes Entwässerungssystem zur gemeinsamen Ableitung von Schmutz- und Regenwasser dar, in das aufgrund der begrenzten Leistungsfähigkeit der Kläranlagen Regenwasserentlastungen integriert sind. Das Trennsystem ist ein Entwässerungssystem, das sich in der Regel aus zwei Leitungs- bzw. Kanalsystemen für die getrennte Ableitung von Schmutz- und Regenwasser aufbaut. Die Einleitung des Regenwassers erfolgt hier zusammen mit dem Fremdwasser direkt über Regenwasserauslässe oder -behandlungsanlagen in die Vorflut (DIN EN 752 2008).

Neben diesen Verfahren besteht die Möglichkeit, durch modifizierte Systeme behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser abzuleiten und nicht behandlungsbedürftiges Niederschlags-

wasser am Entstehungsort zurückzuhalten, zu nutzen, zu versickern oder in ein Gewässer einzuleiten. Ein modifiziertes Mischsystem stellt ein Entwässerungssystem dar, das üblicherweise aus zwei Leitungs- bzw. Kanalsystemen besteht, wobei in einem System das Schmutzwasser mit einem festgelegten Regenwasseranteil und im anderen der verbleibende Teil des Regenwassers abgeleitet wird (DIN EN 752 2008). Alternativ kann auch das behandlungsbedürftige Regenwasser oder Schmutzwasser vor Ort durch Kleinkläranlagen oder Pflanzenkläranlagen gereinigt und anschließend wie nicht behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser versickert oder der Vorflut zugeführt werden.

Andere Systemmodifikationen beinhalten eine Anordnung von geschlossenen Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regenwasserkanälen, von offenen (Rohrhalbschalen) oder mit Überläufen versehenen, geschlossenen Schmutzwasserkanälen in begehbaren Mischwasserkanälen oder von geschlossenen Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regenwasserkanälen, die gleichzeitig als Staukanäle der Regenwasserspeicherung dienen (GRÜNING 2003; DWA 2004).

Die Auswahl eines Entwässerungsverfahrens wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, wovon unter u.a. Art, baulicher Zustand und Leistungsfähigkeit des bestehenden Entwässerungssystems fallen, wie auch Lage, Aufnahmefähigkeit, Hochwasserstände und Güte der Gewässer, Beschaffenheit der Einleitung in das System sowie Art und Dichte der Bebauung, Topographie sowie Art und Leistungsfähigkeit bestehender Kläranlagen (DWA 1997).

Eine Abwasserkanalbauplanung enthält bereits im frühen Planungsstadium eine Untersuchung zur Anordnung und Gestaltung von Regenbecken und Versickerungsanlagen. Wird die Wahl des Entwässerungsverfahrens bereits von einer Fülle unterschiedlicher Bedingungen beeinflusst, stellt sich speziell für Wasserschutzgebiete die Frage, in welchem Umfang eine freie Systemauswahl bei Ausweisung von Neubaugebieten überhaupt gegeben ist. Im Regelfall werden Anschlüsse an bestehende Systeme oder die Durchleitung durch ein Wasserschutzgebiet zu

realisieren sein. Bei solchen ist eine Änderung des Entwässerungssystems sorgfältig abzuwägen und mit dem Kanalbetrieb abzustimmen.

Eine grundsätzliche Systemumstellung von Misch- auf Trennsystem oder umgekehrt ist aufgrund der resultierenden Kosten und Probleme nur in Ausnahmefällen in Betracht zu ziehen. Derartige Überlegungen sind wegen der vielfältigen, individuell zu berücksichtigenden Randbedingungen nach Ansicht von GRÜNING (2003) nicht allgemeingültig abzuhandeln.

Im DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) wird explizit auf die erforderliche Sorgfalt bei der Wahl des Entwässerungssystems hingewiesen. Dabei sind im Vorfeld „ganzheitliche und gründliche Überlegungen anzustellen und hydrogeologische, hydrologische, entwässerungstechnische und geologische Faktoren zu beachten. Erst danach sollte man sich Fall für Fall für eine Trenn- oder Mischkanalisation oder modifizierte Formen davon entscheiden“.

Aus dieser Formulierung kann abgeleitet werden, dass hier keine Begünstigung eines Verfahrens erfolgt. Auch aus gewässergütewirtschaftlicher Sicht sind nach dem DWA-Arbeitsblatt A 128 „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen“ (1992) beide Systeme als gleichwertig zu betrachten, da sie jeweils Vor- und Nachteile aufweisen. Eine bewertende Gegenüberstellung unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen für den Einsatz in Wasserschutzgebieten wird von GRÜNING (2003) diskutiert. Tab. 5 fasst die dabei erzielten Einschätzungen zusammen.

Beim Trennsystem erfolgt die Definition des Belastungspotenzials von Regenwasser in Abhängigkeit von der Oberflächennutzung. Abflüsse von stark frequentierten Verkehrswegen, Flächen in Industriegebieten oder auch Oberflächen, die von einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung beeinflusst werden, sind in der Regel als klärpflichtig zu definieren und der Schmutzwasserkanalisation zuzuführen. Für die hier angestellten Betrachtungen zum Gefährdungspotenzial innerhalb von Wasserschutzgebieten ist die Art des Umgangs mit unbelastetem

Niederschlags- bzw. Regenwasser zweitrangig. Vielmehr interessiert die Sicherstellung, dass klärpflichtiges Schmutzwasser- und Niederschlagswasser potenziell verschmutzter Oberflächen sicher abgeleitet und leistungsfähigen Behandlungssystemen zugeführt wird und somit keine Gefahr für die Wassergewinnung darstellt.

Tab. 5: Vor- und Nachteile der Misch- und Trennkanalisation in Wasserschutzgebieten (in Anlehnung an GRÜNING 2003, verändert)

Mischsystem	Trennsystem
Vorteile	
bei schwächerem Regen keine Vorfluterbelastung (hydraulischer Stress im Fließgewässer) keine Gefahr von Fehlan-schlüssen geringere Baukosten	bei gering besiedelten Gebieten Anwendung von Sonderverfahren möglich (z.B. Unterdruckentwässerung) keine Mischwasserentlastung gegeben Trennung unterschiedlich verschmutzter Abwasserströme gut möglich
Nachteile	
Mischwasserentlastung in Gewässer (wenn überhaupt möglich), sonst Speicherbauwerke oder Mischwasserbehandlung (z.B. Bodenfilter) erforderlich	Einleitung von ungeklärtem Regenwasser in den Vorfluter möglich Regenwasserbehandlung vorsehen Fehlan-schlüsse möglich meist höhere Baukosten

Kriteriumsdifferenzierung

Gemäß der vorangegangenen Ausführungen wird das Abwägungskriterium „Art des Entwässerungssystems“ (diskret verteilt, nominal skaliert) in folgende Ausprägungen differenziert:

- | |
|---|
| 1: Mischsystem

2: Trennsystem

Modifizierte Systeme (Sonderverfahren):

3: Modifiziertes Mischsystem

4: Klein- oder Pflanzenkläranlagen

5: Anordnung von Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regen- oder Mischwasserkanälen |
|---|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Einen wesentlichen Nachteil des Mischsystems stellt die Aufnahme und die durch Vermischung zustande kommende Verunreinigung gering verschmutzter Abflüsse unterschiedlicher Herkunft dar. Gerade in Wasserschutzgebieten ist die Einleitung von Schadstoffen durch Regenüberläufe problematisch, weil Schmutzfrachtberechnungen zu Folge die Stoffbelastungen aus Mischwasserentlastungen langfristig betrachtet ungefähr den Frachten der Kläranlagenabflüsse entsprechen (GRÜNING 2003) und somit beim Bau eines Mischwasserkanals im Wasserschutzgebiet eine komplette Mischwasserspeicherung oder -behandlung vor der Einleitung in den Vorfluter erforderlich wird. Die uneingeschränkte Mischwasserspeicherung erfordert den Bau von Regenrückhaltebecken anstelle von Regenüberlaufbecken (vgl. Kriterium 10).

Beim Trennsystem ist die Gefahr zu berücksichtigen, dass durch Fehleinleitungen oder bei Unfällen auch stark verschmutztes Wasser oder sogar wassergefährdende Stoffe in den Regenwasserkanal und dann in den Vorfluter eingeleitet werden können. Dabei ist zu bedenken, dass Extremsituationen bei keinem System auszuschließen sind und einer individuell abgestimmten Risikoabschätzung bedürfen.

Eine generelle Empfehlung für die Wahl eines Entwässerungssystems ist nach Ansicht von GRÜNING (2003) nicht sinnvoll, da eine Vielzahl individueller, gebietsspezifischer Einflüsse und Randbedingungen die jeweiligen Vor- und Nachteile beeinflussen. Da für beide Verfahren bei der Ableitung klärflichtiger Abwasserströme dichte Systeme sicherzustellen sind, muss die Bewertung im Hinblick auf das Gefährdungspotenzial für sowohl Misch- als auch Trennsysteme „neutral (o)“ ausfallen.

Die Möglichkeiten der Modifikation von Mischsystemen durch Sonderverfahren beschränken sich auf den nicht behandlungsbedürftigen Teil des Niederschlagswassers. Eine getrennte Ableitung von Niederschlagswasser in z.B. Rinnen, Rasenmulden, offenen Gräben und Teichen oder aber eine zentrale, dezentrale oder semi-zentrale Versickerung z.B. durch Schächte,

Rigolen und Mulden kommen in Frage. Bei der Versickerung ist besonders darauf zu achten, dass eine ausreichend stark bewachsene und belebte Bodenzone vorhanden ist. Weiterhin muss der Eintrag von Tausalz sowie eine Behandlung mit Düngemitteln und PBSM ausgeschlossen werden. Durch die Systemmodifikation steigt die Konzentration des Abwassers des Basissystems an (GRÜNING 2003).

Die Trennung bzw. separate Einleitung von behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser in den Misch- bzw. Schmutzwasserkanal wird in Anlehnung an das Trennsystem praktiziert. Als in der Praxis schwierig erweist sich hierbei die Festlegung des klärflichtigen Anteils des von der Oberflächenbefestigung ablaufenden Niederschlagswassers, zumal nicht sichergestellt werden kann, dass gerade der meist bei Regenbeginn stark verschmutzte Oberflächenabfluss getrennt und gezielt der Kläranlage zugeführt wird. Im speziellen Fall der Wasserschutzgebiete ist besonders auf die Auswahl und Definition der Flächen mit hohem Verschmutzungspotenzial zu achten (vgl. Kriterium 28).

Bei modifizierten Mischsystemen kann eine schadhafte Versickerung bzw. eine Einleitung von behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser in die Vorfluter demnach nicht ausgeschlossen werden, weswegen diese als „gefährdungsbestätigend (+)“ eingestuft werden.

Klein- oder Pflanzenkläranlagen wird im Rahmen der biologischen Abwasserbehandlung neben Schmutzwasser auch behandlungsbedürftiges Regenwasser planmäßig zugeführt. Aus Gründen des Gewässerschutzes kann die Wasserbehörde die Konzentrationen im Ablauf von Kleinkläranlagen mit Pflanzenstufen begrenzen. Eine Erlaubnis für das Einleiten in das Grundwasser darf nur erteilt werden, wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder sonstige nachteilige Veränderungen seiner Eigenschaften nicht zu erwarten sind (LUA NRW 2000). Da bei der Anwendung von Klein- oder Pflanzenkläranlagen eine risikobehaftete Einleitung von klärflichtigem Abwasser nicht auszuschließen ist, ist deren möglicher Wirkungseinfluss als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu bewerten.

Die verschiedenen Varianten, bei denen die Anordnung von Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regenwasser- oder Mischwasserkanälen erfolgt, sind als redundante Systeme zu betrachten. Sie bieten aufgrund ihrer Begehrbarkeit zur leichten Inspektion und Kontrolle sowie der doppelten baulichen Hülle im Überflutungsfall des Schmutzwasserkanals eine zusätzliche Sicherheit auf und werden daher als „deutlich gefährdungsmindernd (– –)“ betrachtet.

Kriterium 10

Abwassertechnische Bauwerke

Wirkungseinfluss

Wie bei der Betrachtung der Art des Entwässerungssystems (vgl. Kriterium 9) stellen gerade abwassertechnische Bauwerke wie u.a. Regenauslässe und -überläufe ein besonderes Risiko dar, das insbesondere in Wassergewinnungsgebieten zu einer relevanten Grundwassergefährdung führen kann (DVGW 2006).

Es scheint im Zuge der Erhebung der räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation innerhalb des Expertensystems daher sinnvoll explizit zu ermitteln, ob innerhalb des von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebietes abwassertechnische Bauwerke vorgesehen sind. Auch wenn diese in der Regel innerhalb von Wassergewinnungsgebieten als nicht statthaft anzusehen sind, können lokale räumliche Gegebenheiten diese erforderlich werden lassen, um die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit der Abwasserableitung zu gewährleisten. Ausnahmen von dieser Betrachtung sind Schächte (vgl. Kriterium 4).

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung des Kriteriums „Abwassertechnische Bauwerke“ (diskret verteilt, nominal skaliert) wird sich auf zwei Ausprägungen beschränkt, die klären, ob entsprechende abwassertechnische Anlagen im Wasserschutzgebiet geplant sind:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: im Wasserschutzgebiet vorgesehen, da erforderlich 2: im Wasserschutzgebiet nicht vorgesehen |
|---|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sind mit Ausnahme von Schächten abwassertechnische Bauwerke innerhalb des Schutzgebietes geplant, da diese zwingend erforderlich sind, ist deren Wirkungseinfluss als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu bewerten. Sind entsprechende Anlagen nicht geplant, ist dies als „gefährdungsmindernd (–)“ zu bewerten.

Kriterium 11

Art und Herkunft des Abwassers

Wirkungseinfluss

Unter Abwasser ist Schmutzwasser und/oder Regenwasser zu verstehen, das in einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal abgeleitet wird (DIN EN 752 2008). Grundsätzlich ist dabei zu unterscheiden zwischen häuslichem und nicht häuslichem Abwasser.

Häusliches Schmutzwasser stellt Schmutzwasser dar, das aus Küchen, Waschräumen, Waschbecken, Badezimmern, Toiletten und ähnlichen Einrichtungen stammt, während nicht häusliches Abwasser durch den Gebrauch verändertes und durch Rohstoffe, Zwischen- oder Endprodukte verunreinigtes Wasser darstellt, zu dem auch verschmutztes Niederschlagswasser aus gewerblichen, industriellen oder vergleichbaren öffentlichen Einrichtungen gehört (DWA 1994). Schmutzwasser, das ganz oder teilweise aus Industrie- oder Gewerbebetrieben stammt, wird auch als betriebliches Schmutzwasser bezeichnet (DIN EN 752 2008).

Ein gemeinsames Ableiten von häuslichem und nicht häuslichem Abwasser ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen dann angebracht, wenn Eigenschaften und Mengen der einzelnen

Abwässer eine Behandlung zusammen erlauben. Darüber hinaus kann zur Minimierung der in den Vorfluter eingeleiteten Gesamtfracht eine gemeinsame Behandlung geboten sein. Schadstoffe, die in einer öffentlichen Abwasserbehandlungsanlage nicht hinreichend entfernt werden oder zu Schwierigkeiten bei deren Betrieb bzw. bei der späteren Klärschlammverwertung führen, sollten möglichst vermieden werden. Ist dies nicht möglich, müssen sie durch Rückhaltung an der Anfallstelle oder betriebsseitige Vorbehandlungsmaßnahmen in ihrem Gehalt verringert werden (DWA 1994).

Gemäß DIN 1986-3 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung“ (2004) wird bezüglich der Einleitung von häuslichem Schmutz- und Regenwasser in die öffentliche Kanalisation vorausgesetzt, dass Schmutzwasser aus dem Bereich häuslicher Nutzung und Regenwasser von Grundstücken frei von gewerblichem Schmutzwasser¹⁴ und industriellem Schmutzwasser ist und schädliche Inhaltsstoffe nicht oder nur in so geringer Konzentration enthält, dass nachteilige Auswirkungen ausgeschlossen sind.

Anderes Abwasser, z.B. gewerblicher oder industrieller Herkunft, darf nur eingeleitet werden, nachdem ermittelt ist, ob und in welchem Maß schädliche Inhaltsstoffe und gegebenenfalls geeignete Anlagen zu deren Rückhaltung, Behandlung und Aufbereitung vorhanden sind. Ein stoßartiges Einleiten von Abwasser, das zu einer Beeinträchtigung der öffentlichen Abwasseranlage führen kann, ist zu vermeiden (DWA 1994).

Sofern die Einleitungsbefugnis wasserrechtlich nicht weitergehend beschränkt ist, lösen bei einer Einleitung von nicht häuslichem Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen Gehalte oder Eigenschaften bis zu den im DWA-Arbeitsblatt A 115 „Einleiten von nicht häuslichem Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage“ (1994) genannten Konzentrationen in der Regel noch keine Besorgnis aus. Soweit für gefährliche Stoffe aus bestimmten Industrie- oder Gewerbe-

zweigen höhere Konzentrationen festgelegt sind oder sich aus der Frachtbegrenzung ergeben, sollen diese auch für die Einleitung in die öffentliche Abwasseranlage zugestanden werden.

Zu den gefährlichen Inhaltsstoffen häuslichen Abwassers, die bis zu bestimmten Konzentrationen in öffentlichen Kanälen geduldet werden, gehören schwerflüchtige, lipophile Stoffe wie u.a. verseifbare Öle und Fette, Kohlenwasserstoffe, halogenierte organische Verbindungen, organische halogenfreie Lösemittel, gelöste und ungelöste anorganische Stoffe wie u.a. Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Quecksilber, Zink, Aluminium und Eisen sowie gelöste anorganische Stoffe wie u.a. Stickstoff, Sulfat, Sulfid und Fluorid (DWA 1994). Derartige Substanzen stellen auch in Höhe der nach anerkannten Regeln der Technik noch zulässigen Konzentrationen ein gesteigertes Gefährdungspotenzial für das Grundwasser in Wasserschutzgebieten dar.

Kriteriumsdifferenzierung

Entsprechend der angeführten Unterscheidung erfolgt im Hinblick auf die Differenzierung des Kriteriums „Art und Herkunft des Abwassers“ (diskret verteilt, nominal skaliert) eine Berücksichtigung der beiden Ausprägungen:

- | |
|--|
| <p>1: häusliches Abwasser</p> <p>2: (auch) nicht häusliches Abwasser</p> |
|--|

Eine derartige Unterscheidung wird in vergleichbarer Form auch im DWA-Merkblatt M 146 (2004) favorisiert, wo jedoch die Begrifflichkeiten „kommunales Abwasser“ und „Mischformen (kommunales und gewerbliches/industrielles Abwasser)“ unterschieden werden.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Falls durch einen im Wasserschutzgebiet verlegten Abwasserkanal (auch) nicht häusliches Abwasser geleitet werden soll, ist in Abhängigkeit der Art des angeschlossenen Gewerbe- bzw. Industriebetriebes immer mit einer höheren

¹⁴ soweit dieses nicht mit häuslichem Schmutzwasser vereinbar ist

Schadstoffbelastung als bei reinem häuslichen Abwasser zu rechnen. Aus diesem Grund ist auch das vom Abwasser ausgehende Gefährdungspotenzial auf das Grundwasser als höher einzuschätzen. Ein Ableiten häuslichen Abwassers wird entsprechend als „gefährdungsbestätigend (+)“ eingestuft, solches von nicht häuslichem Abwasser zumindest als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“.

Kriterium 12

Einbindungsart der Anschlussleitungen

Wirkungseinfluss

Dient der im Wasserschutzgebiet zu errichtende Abwasserkanal nicht ausschließlich der Durchleitung von Abwässern, sondern auch der Ableitung bzw. Entwässerung eines Teilgebietes, so müssen mit dem Bau des Hauptkanals auch die Abwasserleitungen hergestellt werden. Abwasserleitungen sind meist erdverlegte Rohre oder Anschlüsse zur Ableitung von Schmutz- und/oder Regenwasser von der Anfallstelle zum Abwasserkanal (DIN EN 752 2008). Synonym finden sich auch die Begriffe Anschlusskanal, -leitung oder Hausanschluss (DWA 2001).

Als Möglichkeiten der Einbindung von Anschlussleitungen, z.B. von Straßenabläufen und Gebäuden, kommen ein direkter Anschluss an den Hauptkanal oder ein indirekter Anschluss an einen Einstieg- und Kontrollschacht (Inspektionsöffnungen) in Frage (DWA 2001; DIN EN 1610 1997). Durch eine indirekte Einbindung der Anschlussleitungen wird die Forderung nach instandhaltungsgerechtem Bauen mit den Vorteilen einer einfachen Wartung und Inspektion, einer einfachen Schadensbehebung sowohl in den Anschlussleitungen als auch im Hauptkanal wie auch einer jederzeit möglichen Überprüfung des vom Grundstück eingeleiteten Abwassers erfüllt (STEIN 1998, 2003):

Für Anschlüsse an Rohre und Schächte sind vorgefertigte Bauteile zu verwenden. Wo diese auszuführen sind, ist sicherzustellen, dass die Tragfähigkeit der zusammengeführten Rohrleitungen nicht überschritten wird, das anzuschlie-

ßende Rohr nicht über die innere Oberfläche des Rohres oder Schachtes, woran es angeschlossen ist, herausragt und der Anschluss dicht hergestellt wird (DIN EN 1610 1997).

Anschlüsse an in offener Bauweise verlegte Abwasserkanäle können mittels Abzweigformstücken, Anschlussformstücken, Sattelstücken oder Schweißen hergestellt werden. Da bei Vortriebsrohren keine Abzweigformstücke montiert werden können, sind Anschlussleitungen durch Anbohren und nachträgliches Verbinden (Anschlussformstücke) anzuschließen. Der Anschluss darf nur mit Formstücken und Dichtmitteln erfolgen, die genormt sind oder für die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder im Einzelfall die Zustimmung durch das Deutsche Institut für Bautechnik oder die Obersten Behörden der Länder vorliegt (DWA 2001).

Kriteriumsdifferenzierung

Bezüglich des Kriteriums „Einbindungsart der Anschlussleitungen“ (diskret verteilt, nominal skaliert) werden in Anlehnung an DIN EN 1610 (1997) und das DWA-Arbeitsblatt A 139 (2001/-2008) zwei Ausprägungen differenziert:

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: direkter Anschluss an Hauptkanal 2: indirekter Anschluss an Schächte |
|--|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Das DWA-Arbeitsblatt 142 (2002a) betont, dass im Falle, dass die örtlichen Verhältnisse es zulassen, Anschlusskanäle immer an Schachtbauwerke anzuschließen sind. Gemäß DWA-Merkblatt M 146 (2004) sollte, wenn ein sehr hohes Gefährdungspotenzial vorliegt, die Anbindung von Hausanschlüssen und Straßenabläufen grundsätzlich in den Schächten erfolgen, wobei Straßenabläufe auch außerhalb der Schächte angeschlossen werden können.

Mit der indirekten Anbindung von Anschlussleitungen ist aufgrund der genannten Vorteile eine

signifikante Erhöhung der Sicherheit und einer korrekten Einleitung des Abwassers verbunden, da Schäden im Bereich der Einbindung bzw. daraus resultierende Undichtigkeiten durch einfache Begehung und Inaugenscheinnahme der Schächte leicht erkannt werden können.

Nach den Ergebnissen der DWA-Umfrage 2004 zur Alterssituation der Abwasserkanäle in Deutschland (BERGER 2004) sind 20 % der Schäden an Kanalisationen auf schadhafte Anschlüsse zurückzuführen. Dies zeigt das hohe Gefährdungspotenzial, das mit der Einbindung von Anschlussleitungen verbunden ist. Aus diesem Grund führt eine frühzeitige Erkennung sowie zügige Behebung von im Laufe der Nutzungsdauer eventuell eintretenden Schäden zu einer Verringerung des Grundwassergefährdungspotenzials.

Infolge dessen wird ein direkter Anschluss der Anschlussleitungen an den Hauptkanal als „gefährdungsbestätigend (+)“, ein indirekter Anschluss der Anschlussleitungen an Schächte dagegen als „gefährdungsmindernd (-)“ betrachtet.

Kriterium 13

Bedeutung des Abwasserkanals für das Entwässerungssystem

Wirkungseinfluss

Bei einer Abwasserkanalisation, die sich in der Regel im öffentlichen Zuständigkeitsbereich befindet, handelt es sich um ein „Netz von Rohrleitungen und Zusatzbauten, das Schmutzwasser und/oder Regenwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an anderen Entsorgungsstellen ableitet“ (DIN EN 752 2008).

Kanalisationen können unterschiedliche Netzformen aufweisen¹⁵. Die grundlegende Netzform bei Freispiegelsystemen bildet dabei das Verästelungsnetz. Darauf basierend kommen in Abhängigkeit u.a. der Grundrissform, Geländegehalt, Größe des Entwässerungsgebietes sowie

von der Lage von Vorfluter, Kläranlage oder Pumpwerk und der Behandlungsart des Abwassers unterschiedliche Linienführungen zum Einsatz. Die Bedeutung eines Abwasserkanals für das entwässerte Gebiet kann in Abhängigkeit zu der ihm zugewiesenen Aufgabe unterschiedlich hoch sein.

So dient eine Abwasserleitung der „Ableitung von Schmutz und/oder Regenwasser von der Anfallstelle zum Abwasserkanal“ (DIN EN 752 2008), während es Aufgabe eines Abwasserkanals (Sammlers) ist, aus Teilgebieten abgeleitetes Schmutz- und/oder Regenwasser aufzunehmen und damit Schmutz- und/oder Regenwasser mehrerer Quellen abzuleiten (DIN 4045 2003). In den auch als Straßenkanal bezeichneten Sammler münden die Abwasserleitungen, also Hausanschlüsse und Anschlusskanäle. Darüber hinaus können übergeordnete Kanäle gegeben sein, welche wiederum das von den Sammlern abgeleitete Abwasser aufnehmen und zur Kläranlage transportieren. Derartige Haupt- oder Transportsammler sind in der Regel begehbar und können in Abhängigkeit der zu transportierenden Abwassermengen Nennweiten bis DN/ID 4000 erreichen.

Sammlern kommt im Gegensatz zu Anschlussleitungen eine erhebliche Bedeutung in einem Entwässerungssystem zu, da von ihnen die Entsorgungssicherheit ganzer Orte, Städte oder gar Regionen abhängt. Eine Stilllegung bzw. vorübergehende Vorflutsicherung, z.B. durch haltungsweises Überpumpen bei Außerbetriebsetzung oder Ausfall, ist bei großen Hauptsammlern, welche als Ein-Kanal-System konstruiert sind und den gesamten Abwasservolumenstrom durch einen Rohrquerschnitt abführen, in der Regel aufgrund der hohen zu bewältigenden Abwassermengen nicht oder nur unter immensem Aufwand möglich.

Muss ein Hauptsammler durch ein Wasserschutzgebiet geleitet werden, besteht einerseits infolge der zu transportierenden Abwassermenge die Gefahr, dass bei Leckagen Exfiltrationen in erheblichem Umfang erfolgen, andererseits kann eine Außerbetriebsetzung, z.B. für eine schnelle und notwendige Sanierung im Schadensfall, nur erfolgen, wenn gewährleistet ist,

¹⁵ z.B. Quernetz, Abfangnetz, Verästelungsnetz, Längsnetz oder Radialnetz

dass eine Vorflutsicherung bzw. ein Teilbetrieb aufrecht erhalten werden kann.

Um die Betriebsfähigkeit wichtiger Hauptsammler für ein Entwässerungssystem auch bei Trockenlegung bzw. Außerbetriebsetzung zu gewährleisten, stehen verschiedene Konstruktionsvarianten zur Verfügung, um die Nachteile für Betrieb und Unterhalt der standardmäßig bei Entwässerungssystemen verwendeten Ein-Kanal-Systeme (Ableitung 1 x 100 %) zu eliminieren. Dies können Ausführungen als Doppelkanal (Ableitung 2 x 100 %), Geteilter-Ein-Kanal (Ableitung 2 x 50 %) oder Zwillingskanal (Ableitung 2 x 50 %) sein (STEIN 2000).

Ein Doppelkanal ist dadurch gekennzeichnet, dass das Abwasser durch zwei parallel verlegte, gleichartige Kanäle abgeleitet wird, die jeweils zur Aufnahme der Bemessungsabwassermenge dimensioniert sind. Für Inspektionen, Reinigungen oder Instandhaltungsarbeiten kann immer ein Kanal abwasserfrei gehalten werden. Beim Geteilten-Ein-Kanal-System wird der Abflussquerschnitt durch eine vertikale Trennwand in zwei hydraulisch gleichwertige Teilquerschnitte aufgeteilt. Diese sind jeweils so dimensioniert, dass bei Außerbetriebsetzung eines Teilquerschnitts zumindest die Hälfte der Bemessungsabwassermenge über den anderen abgeleitet wird. Ein Zwillingskanal besitzt zwei gleichartige, parallel verlegte Kanäle, die hydraulisch so dimensioniert sind, dass bei Außerbetriebsetzung eines Kanals zumindest die Hälfte der Bemessungsabwassermenge über den anderen Kanal abgeleitet werden kann.

Kriteriumsdifferenzierung

Bezugnehmend auf den Stellenwert für die Siedlungsentwässerung werden beim Abwägungskriterium „Bedeutung des Abwasserkanals für das Entwässerungssystem“ (diskret verteilt, nominal skaliert) drei Ausprägungen differenziert:

1: Straßenkanal (Sammler) mit geringer bis normaler Bedeutung

2: Hauptsammler (Ein-Kanal-System) mit übergeordneter Bedeutung
 3: Hauptsammler (Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanal-System) mit übergeordneter Bedeutung

Als Sammler mit geringer bis normaler Bedeutung ist dabei ein Abwasserkanal zu betrachten, welcher der Ableitung von Schmutz- und/oder Regenwasser aus mehreren Quellen dient, worunter Straßenabläufe, Haushalte u.ä. zu verstehen ist. Diese in der Regel in der Straße verlegten Kanäle besitzen zumeist nichtbegehbare Rohrnennweiten und haben die lokale Abwasserentsorgung zur Aufgabe. Eine im Rahmen von Betriebs- und Unterhaltsmaßnahmen erforderliche Vorflutsicherung ist ohne großen Aufwand möglich, da er nur für verhältnismäßig geringe Bemessungsabwassermengen dimensioniert worden ist.

Hauptsammler mit übergeordneter Bedeutung stellen Kanäle dar, welche der überörtlichen, regionalen oder überregionalen Abwasserentsorgung dienen und für die Ableitung großer Bemessungsabwassermengen dimensioniert sind, wodurch diese entscheidende Bedeutung für die Entsorgungssicherheit besitzen. Eine Außerbetriebsetzung des Sammlers ist, wenn er als Ein-Kanal-System ausgelegt ist, nicht oder nur unter großen Schwierigkeiten möglich.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sammler mit geringer bis normaler Bedeutung werden im Hinblick auf ihre ausprägungsindividuelle Gefährdungsbedeutung als „gefährdungsmindernd (-)“ bewertet, wohingegen als Ein-Kanal-System konzipierte Hauptsammler mit übergeordneter Bedeutung als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ beurteilt werden. Hauptsammlern als Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanal-System mit übergeordneter Bedeutung wird ein „gefährdungsbestätigender (+)“ Wirkungseinfluss beigemessen.

Kriterium 14

Schachtkonstruktion

Wirkungseinfluss

Wesentliche Bestandteile eines Entwässerungsnetzes bilden neben den Kanälen die Bauwerke der Kanalisation. Hierzu gehören insbesondere die Schächte, aber auch Bauwerke zur Überwindung von Höhenunterschieden, Inspektionsöffnungen, Kreuzungsbauwerke, Regenüberlaufbauwerke, Einlaufbauwerke (Straßenabläufe), Auslauf- und Schieberbauwerke (DWA 2000b). Von diesen sollen im Besonderen Schächte betrachtet werden.

Ein Schacht stellt einen „Einstieg mit abnehmbarem Deckel [dar], angebracht auf einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal, um den Einstieg von Personen zu ermöglichen“ (DIN EN 752 2008). Schächte dienen der Be- und Entlüftung, Kontrolle und Reinigung von Kanälen. Sie werden angeordnet bei Änderung von Richtung, Querschnitt und Gefälle, bei Einmündung weiterer Kanäle sowie als Zwischenschächte in geraden Kanalstrecken. Schächte sind nach ihrer Funktion zu unterscheiden in Einsteigschächte mit Zugang für Personal, Einsteigschächte mit gelegentlichem Zugang zur Reinigung und Inspektion sowie Kontrollschächte.

Einsteigschächte mit Zugang für Personal müssen für alle Instandhaltungsarbeiten am System geeignet sein und eine Nennweite von DN/ID 1000 oder mehr besitzen. Für Rechteckquerschnitte gilt ein Mindestmaß von 750 x 1200 mm, für elliptische Querschnitte von 900 x 1100 mm. Einsteigschächte mit gelegentlichem Zugang zur Reinigung und Inspektion dienen dem Einbringen von Reinigungsgerät, Inspektions- und Prüfausrüstung und als gelegentliche Zugangsmöglichkeit für Personen. Sie müssen eine Nennweite von mindestens DN/ID 800, aber unter DN/ID 1000 besitzen. Kontrollschächte haben als Inspektionsöffnungen eine Nennweite von weniger als DN/ID 800 und erlauben nur ein Einbringen von Reinigungsgerät, Inspektions- und Prüfausrüstung, nicht aber den Personenzugang (DIN EN 476 1997).

Gemäß DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) sind Medienrohre, d.h. Abwasser führende Produktrohre in der Regel geschlossen durch Schächte zu führen. Vorrichtungen für Dichtheitsprüfungen während des Betriebs sind vorzusehen; Absturzbauwerke mit außenliegendem Untersturz sind unzulässig. Die Schachtabmessungen müssen so gewählt werden, dass von den Schächten aus ausreichend Platz für eine einwandfreie Kontrolle der Medien- und gegebenenfalls vorhanden Mantelrohre gegeben ist. Das DWA-Merkblatt M 146 (2004) führt an, dass Schächte die gleiche Sicherheit wie das Rohrsystem bieten und bis Straßenniveau bzw. Schachtoberkante dicht sein müssen.

Die Schachtausbildung ist abhängig vom Rohr- bzw. Ableitungssystem. Die Schachtkonstruktionen, welche in einem Wasserschutzgebiet eingesetzt werden, sollten möglichst wenig Fugen besitzen, um bei etwaigen Undichtigkeiten das Risiko von Exfiltrationen schadstoffbelasteten Abwassers so gering wie möglich zu halten.

Kriteriumsdifferenzierung

Bezüglich des Kriteriums „Schachtkonstruktion“ (diskret verteilt, nominal skaliert) wird im Expertensystem unterschieden zwischen den Ausprägungen:

- | | |
|----|--------------------------------|
| 1: | Ortbetonschacht |
| 2: | einteiliger Fertigteilschacht |
| 3: | mehrteiliger Fertigteilschacht |
| 4: | Schacht-im-Schacht-System |

Ein Ortbetonschacht besteht aus wasserdichtem Beton, der als Frischbeton in seiner endgültigen Lage eingebracht wird und dort erhärtet. Der Schacht wird an seinem Einbauort in der Baugrube bzw. im Leitungsgraben komplett oder abschnittsweise bewehrt, eingeschalt und betoniert. Eventuelle Fugen der einzelnen Betonierstufen beim abschnittswisen Betonieren werden über Fugendichtungsbänder zuverlässig abgedichtet.

Fertigteilschächte werden werkseitig entweder als einzelne, montierbare Komponenten aus Schachtunter- und -oberteil sowie Schachtringen bzw. Schachtelementen vorgefertigt und auf der Baustelle vor Ort unter Verwendung von Dichtmitteln zusammengesetzt oder als einteiliges, monolithisches Bauwerk angeliefert. Konstruktionsbedingt weist die letztgenannte Konstruktionsvariante in der Regel keine Fugenverbindungen auf. Nach Forderungen des Staatlichen Umweltamtes Düsseldorf muss bei mehrteiligen Fertigteilschächten das einteilig herzustellende Schachtunterteil in der Regel eine Höhe über Rohrscheitel von mindestens 1,2 m aufweisen. Die Wanddicke der Fertigteile über dem Schachtunterteil muss mindestens 15 cm betragen.

Beim Schacht-im-Schacht-System handelt es sich prinzipiell um eine zweischalige Bauweise, welche vorrangig beim grabenlosen Leitungsbau zur Anwendung kommt (z.B. „Berliner Bauweise“). Hierbei verbleibt nach Abschluss der Vortriebsarbeiten die Sicherung bzw. der Verbau der Start- und Zielschächte im Baugrund. Diese werden zu Einsteigschächten ausgebaut, indem ein separates Schachtsystem, z.B. aus Mauerwerk, Ortbeton oder Fertigteilen, eingebaut wird. Der Zwischenraum zwischen Schachtbauwerk und Einsteigschacht wird nach Einbindung der Kanäle und Hausanschlüsse in der Regel mit Beton verfüllt (STEIN 2003).

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die ausprägungsindividuelle Gefährdungseinschätzung beruht auf der Anzahl bzw. der Häufigkeit von Fugenverbindungen und dem damit verbundenen Risiko von exfiltrierendem Abwasser bei eventuell auftretenden Undichtigkeiten.

Ortbetonschächte und einteilige Fertigteilschächte sind monolithische Bauwerke und weisen daher ein nur geringes diesbezügliches Risiko auf, weswegen sie als „gefährdungsmindernd (-)“ eingestuft werden. Mehrteilige Fertigteilschächte besitzen zahlreiche Fugenkonstruktion zwischen Schachtunterteil und den einzelnen Schachtringen, so dass ein erheblich höheres Risiko für das Grundwasser besteht. Sie

werden daher als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet. Schacht-im-Schacht-Systeme besitzen aufgrund ihrer Bauweise eine erhebliche Redundanz gegenüber Leckagen bzw. Undichtigkeiten, so dass diese Konstruktionsvariante als „deutlich gefährdungsmindernd (-)“ beurteilt wird.

Kriterium 15

Bauweise, Bauverfahrenstechnik

Wirkungseinfluss

Abwasserleitungen und -kanäle können in offener, halboffener oder geschlossener Bauweise verlegt werden. Da eine halboffene Bauweise („Rohrvorschub“) nur selten zur Anwendung kommt, wird diese nachfolgend nicht betrachtet.

Die offene Bauweise ist charakterisiert durch das Herstellen, d.h. in der Regel Ausheben eines Leitungsgrabens bzw. einer Baugrube, das Herstellen der Rohrleitung bzw. des Bauwerkes der Kanalisation im Schutze einer Böschung oder eines Verbaus und das anschließende Verfüllen des Grabens bzw. der Baugrube (DIN EN 1610 1997; DWA 2001). Dabei kann ein Verbau vorausseilend oder im Zuge des Aushubs der Baugrube bzw. des Grabens errichtet werden. Für den Verbau eignen sich Grabenverbaugeräte, waagerechter oder senkrechter Normverbau (DIN 4124 2002).

Nicht verbaute Gräben mit Böschungen kommen in der Regel bei oberflächennaher Verlegung, unbefestigten Geländeoberflächen sowie ausreichendem Platz zur Anwendung. Bei der Rohrverlegung unterhalb des Grundwasserspiegels müssen, wenn das Grundwasser durch Wasserhaltungsmaßnahmen nicht abgesenkt werden kann oder darf, wasserdichte Verbauarten wie z.B. Spundwände eingesetzt werden.

Eine Sonderstellung unter den Verfahren der offenen Bauweise nehmen die Fräs- und Pflugverfahren ein. Unter ihnen werden Verfahren zusammengefasst, bei denen Rohrleitungen durch Lösen bzw. Verdrängen des Erdreiches in nicht betretbaren Gräben eingefräst oder in

Schlitzten eingepflügt bzw. eingezogen werden. Diese Verfahren werden hauptsächlich in ländlich strukturierten Gebieten und in der Regel außerhalb von Verkehrsflächen eingesetzt (DWA 2003).

Die geschlossene Bauweise ist gekennzeichnet durch das unterirdische Herstellen einer Rohrleitung ohne Herstellung von Gräben, wobei Baugruben bzw. Schächte nur als Start- und Ziel- und gegebenenfalls Zwischenschächte erforderlich werden (DIN EN 12889 2000; DWA 2007c). Abwasserleitungen und -kanäle werden in der Regel als vorgefertigte Rohre (Vortriebsrohre) mit Verfahren des grabenlosen Leitungsbau in den Baugrund eingezogen, eingeschoben eingepresst oder eingerammt. Für die Verlegung von Freispiegelleitungen (vgl. Kriterium 2) kommen steuerbare Verfahren zur Anwendung, welche die Anforderungen an die Verlegegenauigkeit einhalten können. Dies sind z.B. bei den unbemannt arbeitenden Verfahren der Pilotrohrvortrieb und der Mikrotunnelbau, bei den bemannt arbeitenden Verfahren der Rohrvortrieb (STEIN 2003).

Grundsätzlich lassen sich Verfahren ohne und mit Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten unterscheiden. Bei Stütz- und Förderflüssigkeiten handelt es sich um in einem Förderkreislauf zirkulierende Flüssigkeiten wie Bentonit-Suspensionen mit entsprechenden Additiven (u.a. Polymere, Filtratzenker, Schutzkolloide, Verflüssiger, anorganische Zusatzmittel) oder Wasser mit Polymeren, welche der Stützung des an der Ortsbrust anstehenden Erd- und Wasserdrucks sowie der Abförderung des vom Bohrkopf gelösten Bohrkleins nach über Tage dienen.

Mit dem Einsatz z.B. von sehr feinkörnigem Bentonit oder Polymeren zur Viskositätsregulierung bzw. Filtratreduzierung oder anderen chemischen Additiven oder Zusatzmitteln zur Veränderung des Fließ-, Eindring- und Stabilitätsverhalten der Spülung kann die Wasserdurchlässigkeit des benachbarten Untergrundes beeinflusst werden.

Zu den Verfahren, die auf den Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten verzichten, gehören u.a. der Pilotrohrvortrieb, der Mikrotunnel-

bau mit Schneckenförderung oder mit pneumatischer Förderung und der Rohrvortrieb mit Schildmaschine und teilflächigem Abbau der Ortsbrust, zu den Verfahren, die Stütz- und Förderflüssigkeiten einsetzen u.a. der Mikrotunnelbau mit hydraulischer Förderung, der Rohrvortrieb mit Schildmaschine und flüssigkeitsgestützter Ortsbrust (Hydroschild) und das Spülbohrverfahren (Horizontal Directional Drilling HDD).

Nicht wasserdichte Verbauarten sowie Verfahren ohne den Einsatz von Stützflüssigkeiten sind dadurch gekennzeichnet, dass ihr Einsatz in Grundwasser führenden Böden nicht möglich ist. Sie können demnach nur in grundwasserfreiem Baugrund oder unter Verwendung von entsprechenden Wasserhaltungsmaßnahmen angewendet werden (STEIN 1999).

Bauweise bzw. Bauverfahren beeinflussen in erheblichem Maße die Auswirkungen des Eingriffs auf den natürlich anstehenden Untergrund und das Grundwasser im Zuge der Baumaßnahmen. Dies gilt insbesondere dann, wenn der geplante Kanal im Grundwasser liegt (vgl. Kriterium 50), da dann durch etwaige mögliche, bei der Baumaßnahme entstehende künstliche Wegsamkeiten im Bereich des Leitunggrabens Dränagen entstehen können. Die offene Bauweise lässt sich auch beim grabenlosen Leitungsbau nicht völlig vermeiden, sie findet dort jedoch nur punktuell Anwendung bei der Herstellung von Start- und Zielschächten bzw. gegebenenfalls von Durchfahrtschächten oder Hilfsbaugruben sowie von Baugruben für die Herstellung der für den Betrieb und Unterhalt des Kanalnetzes erforderlichen Bauwerke.

Der Wirkungseinfluss wird im vorliegenden Anwendungsfall danach bewertet, in welchem Maß die zur Errichtung der geplanten Abwasserkanalisation gewählte Bauweise bzw. Bauverfahrenstechnik den Untergrund und dessen natürlichen Aufbau beeinflusst.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung des Kriteriums „Bauweise, Bauverfahrenstechnik“ (diskret, nominal skaliert) berücksichtigt drei Ausprägungen:

- 1: offene Bauweise
(ohne Fräs- und Pflugverfahren)
- 2: Fräs- und Pflugverfahren
- 3: geschlossene Bauweise
(mit oder ohne Einsatz von Stütz-
oder Förderflüssigkeiten)

Diese Differenzierung erlaubt es, das mit der Verfahrenstechnik verbundene Gefährdungspotenzial abzuschätzen und dessen Wirkungseinfluss zu bewerten, ohne auf die zahlreichen verschiedenen Verfahren im Detail eingehen zu müssen.

Eine anfänglich beabsichtigte weitergehende Differenzierung der offenen Bauweise nach wasserdichten und nicht wasserdichten Verbauartarten sowie der geschlossenen Bauweise nach Verfahren mit oder ohne Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten wird letztlich als nicht erforderlich erachtet, da diese später aus der Angabe zum Grundwasserstand im Verhältnis zur Kanalsole (vgl. Kriterium 50) gefolgert werden kann (vgl. Kap. 5).

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die grabenlose Verlegung von Abwasserkanälen ist als Bauverfahrenstechnik anzustreben, da durch sie die Eingriffe in den Untergrund und damit das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser minimiert werden können. Eine geplante geschlossene Bauweise ist daher unabhängig vom beabsichtigten Verfahren und dem Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten zumindest als „gefährdungsmindernd (–)“ zu bewerten.

Bei der offenen Bauweise ist das Gefährdungspotenzial höher einzustufen, da die Auswirkungen des durch die Baumaßnahme verursachten großflächigen Eingriffes in den natürlichen Untergrund im Verhältnis zur geschlossenen Bauweise ungleich größer ist. Die negativsten Auswirkungen sind mitunter bei der Herstellung eines wasserdichten Spundwandverbau zu befürchten. Ein in offener Bauweise weiträumig erforderlich werdender Verbau ist mit einem je nach Grabentiefe und Untergrundbeschaffenheit

abhängigen Einrammen, Einrütteln oder Einpressen von Spundungen in den Boden verbunden. Um eine Wasserdichtheit des Verbau zu garantieren und eine Kanalverlegung zu ermöglichen, muss der Verbau so tief in den Untergrund eindringen, bis eine grundwasserstauende Schicht erreicht ist, oder aber eine Unterwasserbetonsole eingebracht werden, so dass das innerhalb des Verbau befindliche Wasser abgepumpt werden kann.

Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass die offene Bauweise vergleichsweise einen erheblich größeren Baugeräteinsatz (z.B. Anzahl der Hydraulikbagger, LKW, Verdichtungsgeräte) erfordert, als die geschlossene Bauweise. Dadurch erhöht sich zwangsläufig auch das Risiko, dass ungewollt freigesetzte Kraft- und Betriebsstoffe von Baumaschinen und -fahrzeugen in den Untergrund gelangen. Daher ist eine offene Bauweise insgesamt als „gefährdungsbestätigend (+)“ anzusehen.

Ausnahmen hiervon bilden Fräs- und Pflugverfahren. Sie zeichnen sich in der Regel durch die Herstellung (Einfräsen) von schmalen, nicht betretbaren Leitungsgräben oberhalb des Grundwasserspiegels aus. Bei Pflugverfahren wird das Erdreich mit Hilfe des Pflugschwertes verdrängt und das Rohr auf die Sohle des geformten Schlitzes abgelegt. Die Eingriffe in den Untergrund werden dadurch minimiert, der Einsatz von Baugerätschaften und -maschinen gegenüber den anderen Verfahren der offenen Bauweise erheblich reduziert. Außerdem kann die Baumaßnahme zügig abgewickelt werden. Deshalb werden diese als „deutlich gefährdungsmindernd (– –)“ eingestuft.

Kriterium 16

Bettung, Leitungszone

Wirkungseinfluss

Als Bettung bezeichnet man den „Teil des Bauwerks, der das Rohr zwischen Grabensohle und der Seitenverfüllung oder der Abdeckung trägt. Die Bettung besteht aus oberer und unterer Bettungsschicht. Bei direkter Auflagerung auf

gewachsenem Boden ist dieser die untere Bettungsschicht“. Unter Leitungszone versteht man die „Verfüllung im Bereich des Rohres bestehend aus Bettung, Seitenverfüllung und Abdeckung“ (DIN EN 1610 1997). In der Praxis und im umgangssprachlichen Gebrauch wie auch hier werden beide Bezeichnungen häufig synonym verwendet.

Die Bettung muss eine gleichmäßige Druckverteilung unter dem Rohr im Auflagerbereich gewährleisten, damit Risse, Verformungen und Punktlagerungen und damit Undichtigkeiten vermieden werden (DWA 2001). Eine fachgerechte Ausführung der Leitungszone ist für die Funktionsfähigkeit von Abwasserkanälen von entscheidender Bedeutung, da sie die Stabilität und die Lastaufnahme der Rohrleitung im Boden sicherstellt. Die typischen Schadensbilder „Lageabweichung“, „undichte Muffe“ sowie „Riss“ sind zumeist auf eine mangelhafte Bettung bzw. unzureichende Verdichtung der Leitungszone zurückzuführen und nehmen zusammen einen Anteil von 40 % aller erfassten Schäden an Abwasserkanälen ein (BERGER 2004).

Baustoffe für die Leitungszone dürfen das Rohr, den Rohrwerkstoff oder das Grundwasser nicht beeinträchtigen und müssen mit den Planungsanforderungen übereinstimmen (DIN EN 1610 1997). Gemäß DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) ist die Leitungszone so auszubilden, dass eine über die örtlichen Verhältnisse hinausgehende Bewegung des Grundwassers entlang der Leitungszone vermieden wird. Pfahlgründungen sind zu vermeiden, um eine Bewegung von Schadstoffen entlang des Pfahlschachtes zu verhindern, sofern nicht aufgrund der Beurteilung des Gefährdungspotenzials eine Gefährdung ausgeschlossen werden kann.

Bei der Anwendung von Pflugverfahren (vgl. Kriterium 15) wird das Erdreich mit Hilfe des Pflugschwertes verdrängt und das Rohr auf die Sohle des geformten Schlitzes abgelegt. Der zusätzliche Einbau von Bettungsmaterial kann hierbei über einen mitgeführten Sandwagen vorgesehen werden, erfolgt in der Praxis jedoch gegenwärtig häufig nicht, so dass der flexible Kunststoffrohrstrang ohne definierte Bettungsbedingungen eingepflügt wird. Eine Verdichtung

der bis zu einer Tiefe von 1,9 m eingepflügten Rohrleitung erfolgt nur bedingt von der Oberfläche aus durch Schließen des Schlitzes bzw. durch Verdichten des aufgeworfenen Erdreichs durch Überfahren mit Radreifen oder Walzen.

Im Gegensatz zur offenen Bauweise entsteht bei der geschlossenen Bauweise mit einem unterirdischen Vortrieb von Rohren ein weitgehend ungestörtes Auflager durch den Bohrprozess im natürlich gewachsenen Boden. Lediglich im Bereich der punktuell in offener Bauweise erstellten Start- und Zielschächte kann die natürliche Grundwasserströmung nachteilig verändert werden.

Kriteriumsdifferenzierung

Bei der Verlegung von Abwasserkanälen kommen als Baustoffe für die Leitungszone überwiegend körnige, ungebundene Baustoffe wie z.B. Ein-Korn-Kies, Material mit abgestufter Körnung, Sand, Korngemische und gebrochene Baustoffe oder aber hydraulisch gebundene Baustoffe wie u.a. stabilisierter Boden (Flüssigboden, Bodenmörtel), Leichtbeton oder Magerbeton zum Einsatz.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass durch Fräs- und Pflugverfahren verlegte Abwasserdruckleitungen in der Regel über keine speziell ausgebildete Bettung verfügen und beim Vortrieb von Rohren in geschlossener Bauweise der gewachsene anstehende Untergrund die Bettung darstellt.

Die Differenzierung des Abwägungskriteriums „Bettung, Leitungszone“ (diskret, nominal skaliert) berücksichtigt folgende drei Ausprägungen:

- | | |
|----|---|
| 1: | körnige, ungebundene Baustoffe (z.B. Ein-Korn-Kies, Material mit abgestufter Körnung, Sand, Korngemische, gebrochene Baustoffe) |
| 2: | hydraulisch gebundene Baustoffe (z.B. stabilisierter Boden, Leichtbeton, Magerbeton) |
| 3: | keine zusätzliche künstliche Bettung |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die Verwendung von körnigen, ungebundenen Baustoffen für die Leitungszone bewirkt aufgrund ihrer relativ hohen Wasserdurchlässigkeit eine Veränderung der natürlichen Grundwasserströmungen entlang des Rohrstrangs und damit einen Längsdränageeffekt. Damit verbunden ist ein erhöhtes Risiko des Schadstoffeintrags in das Grundwasser, da bei potenzieller Exfiltration schadstoffbelastetes Abwasser in kürzester Zeit direkt in das schützenswerte Grundwasser gelangen kann.

Darüber hinaus besteht bei dieser Art der Ausführung der Bettung bzw. Leitungszone ein erhöhtes Risiko, dass eine fehlerhafte Bauausführung, wie z.B. eine mangelhafte Verdichtung im Bereich der Rohrzwikel oder eine unzureichende Verdichtung der Seitenverfüllung und Überdeckung, im Verlauf der späteren Nutzungsdauer zu Schäden am Abwasserkanal führen kann. Aus diesen Gründen wird die Verwendung körniger, ungebundener Baustoffe in der Leitungszone als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet.

Beim Einsatz hydraulisch gebundener Baustoffen werden statt herkömmlichem, wasserdurchlässigem Bettungsmaterial im Einbauzustand verflüssigte, selbstverdichtende Verfüllmaterialien eingebracht, welche anschließend zu einem wasserundurchlässigen, den Kanal umgebenden Körper aushärten. Diese Verfüllmaterialien sichern aufgrund ihrer Struktur die ordnungsgemäße Bettung des Rohrstranges und übernehmen zusätzlich eine Abdichtungsfunktion. Bei eintretenden Schäden wird zusätzlich eine Exfiltration von schadstoffbelastetem Abwasser in das umgebende Erdreich und in das Grundwasser unterbunden, ebenso bei hohem Grundwasserstand Infiltration von Fremdwasser und damit das Aufkommen zusätzlicher Abflussmengen im Kanalnetz. Das mit dieser Ausführung verbundene Grundwassergefährdungspotenzial kann daher als „deutlich gefährdungsmindernd (–)“ eingestuft werden.

Da bei der Anwendung des Pflugverfahrens nur eine Verdichtung des durch Pflugschwert bzw. Verdrängungskörper aufgeweiteten Schlitzes erfolgt, kann eine erhöhte Wasserdurchlässig-

keit durch Hohlraumbildung zumindest für die erste Zeit nach dem Einbau im Bereich der verlegten Rohrleitung nicht ausgeschlossen werden. Eine spätere Entspannung des Erdreichs in der Peripherie des Rohres bzw. entsprechende Setzungen der Überdeckung sind möglich.

Bei der Anwendung von Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus wird durch den Überschneid des Bohrkopfes ein Ringspalt zwischen Rohraußen- und Bohrlochwand erzeugt, dessen Größenordnung in Abhängigkeit der Rohrnennweite und der anstehenden Geologie zwischen 10 mm und 40 mm bezogen auf den Radius liegt. Dieser wird im begehbaren Rohrnennweitenbereich zur Vermeidung von Senkungen an der Geländeoberfläche zusätzlich nach Abschluss der Vortriebsarbeiten in der Regel mit einem Injektionsmittel in Form aushärtender Zementsuspension, sogenannter „Dämmer“, verpresst. Beim Vortrieb von Vortriebsrohren nichtbegehbare Nennweite bildet sich der Ringspalt in der Regel durch geringfügige Setzungen bzw. Auflockerung der Überdeckung bzw. durch Entspannung der beim Vortrieb verdichteten Bohrlochrandzone selbst zurück (STEIN 1999).

Bei Fräs- und Pflugverfahren sowie insbesondere der geschlossenen Bauweise kann demnach davon ausgegangen werden, dass mit keiner die Grundwasserströmung nennenswert beeinflussenden Längsdränage entlang des Rohrstrangs zu rechnen ist. Eine zusätzliche Schutzfunktion gegenüber eventuell exfiltrierendem Abwasser durch eine abdichtende Umhüllung des Kanals, wie bei der Verwendung von hydraulisch gebundenen Baustoffen, ist jedoch nicht oder – bei Verfüllung des Ringspalts – nur in geringerem Maße gegeben. Aus diesem Grund erfolgt eine Beurteilung des Gefährdungspotenzials mit „gefährdungsmindernd (–)“.

Kriterium 17

Bauzeit, Dauer der Baumaßnahme

Wirkungseinfluss

Die Berücksichtigung der Zeitdauer der Kanalbaumaßnahme basiert auf dem Grundgedan-

ken, dass die potenzielle Gefährdung für das Grundwasser, die von einem Eingriff in den Untergrund ausgeht, in direkter Abhängigkeit dazu steht, wie lange der Untergrund beansprucht wird und wie lange eine potenzielle Gefährdung durch den Baustellenbetrieb, insbesondere die dabei eingesetzten Baumaschinen, Baugeräte, Baufahrzeuge und sonstigen Bauhilfsmittel gegeben ist.

Mit länger werdender Bauzeit steigt das Risiko, dass im Zuge der Baumaßnahme oder aufgrund von Unfällen oder Havarien auslaufende Kraftstoffe und Betriebsmittel und sonstige eingesetzte wassergefährdende Stoffe bzw. auswaschbare Komponenten von Bauhilfsmitteln entweder direkt im Untergrund entweichen oder an der Geländeoberfläche befindliches und in den Untergrund versickerndes Niederschlagswasser verunreinigen.

Im DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) erfolgt der Hinweis, dass die Baumaßnahme zügig abzuwickeln ist. Vom Baustellenbetrieb darf keine Gefährdung für das Grundwasser ausgehen. Weiterhin heißt es dort: „Die zum Einsatz kommenden Bauhilfsstoffe dürfen nicht wassergefährdend sein. Beim Einsatz von Baumaschinen und Geräten muss mit besonderer Sorgfalt gearbeitet werden. Fahrzeuge und Baumaschinen sind gegen Kraftstoff- und Ölverlust zu sichern, die Baumaschinen sind diesbezüglich arbeitstäglich zu überprüfen, Kleinreparaturen sind sofort durchzuführen. Anderenfalls ist das Gerät auszutauschen. Elektrisch angetriebene Baumaschinen sind solchen mit Verbrennungsmotoren vorzuziehen. In Hydraulikaggregaten ist der Einsatz von biologisch abbaubaren Hydraulikölen vorzusehen.“

Sowohl bei Anwendung der offenen als auch der geschlossenen Bauweise ist es notwendig, dass Deckschichtenbereiche vorübergehend abgetragen oder völlig entfernt bzw. durchbohrt werden. Insbesondere bei der offenen Bauweise zeigt sich diesbezüglich der Untergrund stark sensibilisiert gegenüber Oberflächeneinflüssen, die zu Verunreinigungen, Kontaminationen oder stofflichen Einträgen führen können. Die Gefährdungsrisiken während der Bauphase sind dadurch in der Regel merklich höher als wäh-

rend der späteren Betriebsphase der Abwasserkanalisation.

Kriteriumsdifferenzierung

Zur Differenzierung der aus der Baumaßnahme hervorgehenden Zeitdauer des Eingriffes ist es sinnvoll, verschiedene Zeitintervalle gegeneinander abzugrenzen, die eine relevante Aussage zur Gefährdungsbeurteilung zulassen.

In einer Studie des damaligen Abwasserverbands Saar und der Universität des Saarlandes zur Positionierungsplanung abwassertechnischer Bauwerke in Wasserschutzgebieten (AVS 1992) sowie in der Arbeit von MONZEL (1992) zur gleichen Thematik werden jeweils drei Klassen einer geringen (unter einem Monat), mittleren (bis zu einem Jahr) und hohen Bauzeit (über einem Jahr) zugeordnet.

Im vorliegenden Fall wird darauf aufbauend eine Differenzierung des Kriteriums „Bauzeit, Dauer der Baumaßnahme“ (stetig, verhältnisskaliert) in zwei Klassen gewählt, wobei bei der verbalen Formulierung absichtlich gewisse Unschärfen berücksichtigt werden:

- | |
|------------------------------|
| 1: wenige bis einige Wochen |
| 2: einige bis mehrere Monate |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Bei Arbeiten, die über wenige bis einige Wochen andauern, wird angenommen, dass diese im Vergleich zu länger erforderlichen Maßnahmen das zusätzliche Gefährdungspotenzial für den Untergrund und das Grundwasser durch offene Baugruben, Maschineneinsatz u.ä. in einem überschaubaren Zeitraum beeinflussen. Sie können als „gefährdungsbestätigend (+)“ angesehen werden. Die Zuweisung eines gefährdungsmindernden Wirkungseinflusses erscheint nicht möglich, da von jedem größeren baulichen Eingriff in den Untergrund in einem Wasserschutzgebiet von einer Gefahr für das Grundwasser ausgegangen werden muss.

Bei höherem Zeitbedarf muss alleine aufgrund des natürlichen Jahreszeitenzyklus und der variablen Witterungsbedingungen im Laufe eines mehrmonatigen Zeitraumes davon ausgegangen werden, dass sich die wetterspezifischen Randbedingungen im Laufe der Bautätigkeit möglicherweise ungünstig verändern. So steigt bei längeren Durchführungszeiträumen z.B. die Wahrscheinlichkeit, dass durch Starkregen, Schneeschmelze oder andere saisonale und asaisonale Wetterereignisse Probleme im Baustellenbereich auftreten, die ein zusätzliches Grundwassergefährdungspotenzial darstellen.

So kann z.B. ein Überfluten bzw. Vollaufen der Baugrube infolge von Hochwässern oder Niederschlägen einen erhöhten Schadstoffzutritt in den Untergrund bewirken, ebenso ein Einlaufen von durch Kraft- und Schmierstoffe verunreinigtem Oberflächenwasser nach Niederschlägen. Bei feuchter Witterung und wassergesättigtem Boden können sich Probleme beim Einsatz von schweren Baumaschinen ergeben. Dahingehend werden Bauzeiten von einigen bis mehreren Monaten als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ angesehen.

Kriterium 18

Baustelleneinrichtung

Wirkungseinfluss

Sofern es die Ausdehnung der Wasserschutz-zonen erlaubt, ist bei notwendigen Baumaßnahmen innerhalb eines Wasserschutzgebietes immer anzustreben, besonders gefährdungsträchtige Komponenten der Baustelleneinrichtung, insbesondere Lager- und Vorbereitungsplätze sowie Unterkünfte für das Baustellenpersonal, aus den Wasserschutz-zonen auszulagern, um das von diesen ausgehende Risiko für das Grundwasser nicht unnötig zu erhöhen.

Diesbezüglich sind innerhalb einer Wasserschutzzone II eine Durchführung von Reinigungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten an Baumaschinen, Geräten und Fahrzeugen einschließlich deren Betankung sowie das Lagern und Umfüllen von wassergefährdenden Stoffen

und das Einrichten von Werkstätten, Wohn- und Lagerplätzen in der Regel nicht tragbar. Selbiges gilt für Toilettenanlagen. Sind die Entfernungen zur Wasserschutzzone III bzw. zur Außengrenze des Wasserschutzgebietes unzumutbar lang, müssen transportable Toilettenanlagen mit dichten Sammelbehältern aufgestellt werden. Fäkalien sind nachweislich regelmäßig abzufahren und einer Sammelkläranlage zuzuführen. Soweit die Lagerung erosionsgefährdeter Stoffe für die Baudurchführung erforderlich ist, müssen diese räumlich und zeitlich auf das notwendige Maß beschränkt und ein Abschwemmen durch geeignete Vorkehrungen ausgeschlossen werden (DWA 2002a).

Aufgrund räumlicher und technischer Zwänge sowie unter Umständen großer Schutzzonenausdehnungen werden sich die angeführten Forderungen in der Praxis nicht immer einhalten lassen. Es muss damit gerechnet werden, dass auch die Lagerung von Baustoffen, die Einrichtung von Werkstatt-, Vorbereitungs- und Unterkunftsplätzen u.ä. im Wasserschutzgebiet notwendig wird. Die Baustelleneinrichtung ist daher als relevantes Einflusskriterium bei der Betrachtung des potenziellen Gefährdungseinflusses auf das Grundwasser zu berücksichtigen.

Die „Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten“ (FfSV 2002) geben weitere, auf den vorliegenden Anwendungsfall zu übertragende Hinweise. So haben demnach Baustelleneinrichtung und Baudurchführung in der Wasserschutzzone III so zu erfolgen, dass jegliche „Grundwassergefährdungen möglichst vermieden werden“. Dies gilt vor allem bei Gründungsarbeiten. Kann eine Einflussnahme auf das Grundwasser durch die Baumaßnahme nicht ausgeschlossen werden, muss gegebenenfalls zeitweilig eine Ersatzwasserversorgung eingerichtet und die Wassergewinnung vorübergehend stillgelegt werden.

Beim Transport und Umgang sowie bei der Lagerung und Abfüllung von wassergefährdenden wie auch brennbaren Stoffen, z.B. Ölen, Schmier- und Kraftstoffen, sind die entsprechenden gefahrgutspezifischen und gewerbe-rechtlichen Verordnungen zu berücksichtigen. Baustofflager, von denen ein Gefährdungsrisiko

für das Grundwasser ausgeht, sind auch in der Wasserschutzzone III in der Regel nicht tolerierbar. Bei Betankungen sind Ölbindemittel vorzuhalten, Bodenflächen von Werkstätten, Wasch- und Tankplätzen sind wasserundurchlässig auszuführen. Das anfallende Abwasser ist Leichtflüssigkeitsabscheidern zuzuführen und im Anschluss zusammen mit dem anfallenden häuslichen Abwasser zu sammeln und geordnet zu entsorgen. Versenkung und Versickerung sind ausdrücklich nicht zulässig.

Baustelleneinrichtungen in der Wasserschutzzone II sind „in der Regel nicht tragbar“ (FFSV 2002), Wohn- und Lagerstellen nicht duldbar. Toiletten sind als transportable Einheiten mit dichten Fäkalkübeln auszuführen. Das Lagern und Umfüllen wassergefährdender Betriebsstoffe ist ebenso nicht statthaft. Bei der Betankung schwerbeweglicher Baumaschinen sind besondere Schutzmaßnahmen zu veranlassen. Ölbindemittel ist bereitzustellen. Sämtliche Gerätschaften sind gegen Tropfverluste zu sichern und die Maschinenstandorte täglich auf Stoffaustritte zu überprüfen. Grundsätzlich sind, soweit dies möglich ist, elektrisch betriebene Maschinen zu präferieren. Ortsgebundene Aufbereitungsanlagen für Baustoffe sind ebenso wie das Warten, Reinigen und Abstellen von Fahrzeugen nicht statthaft. Notwendige Bodenabträge sind räumlich und zeitlich auf das notwendige Maß zu beschränken.

Bei der Handhabung wassergefährdender oder anderweitig als kritisch einzustufender Stoffe innerhalb einer Wasserschutzzone wird darauf hingewiesen, dass diese nur mit einer ausdrücklichen Sondergenehmigung zulässig ist.

Kriteriumsdifferenzierung

Zunächst ist klarzustellen, in welcher Wasserschutzzone die Baustelle vorwiegend liegt. Dabei ist zwischen der Wasserschutzzone II und III zu differenzieren. Durch ihre unterschiedlichen Schutzansprüche orientiert sich auch die Gefährdungsbewertung bezüglich der Lage der Baustelle maßgeblich an dem gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) zugewiesenen Schutzstatus. Sind mehrere Schutz-zonen durch

die Baustelle in gleichem Maße betroffen, ist aus Gründen der vorsorglichen Gefährdungsabschätzung im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung die Zone mit dem höheren Schutzstatus als Ausprägung zu wählen. Als weiterer Aspekt für die Beurteilung der Baustellensituation wird berücksichtigt, in welcher Schutzzone, die gefährdungsverschärfende Lagerung, Bevorratung und Handhabung mit kritischen und vor allem wassergefährlichen Stoffen, die für den Baustellenbetrieb benötigt werden, erfolgt.

In Anlehnung an die „Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag)“ (FFSV 2002), deren Forderungen als Grundlage ebenso für die Einrichtung von Baustellen zur Errichtung von Abwasserleitungen und -kanälen übernommen werden können, erfolgt im Hinblick auf das Abwägungskriterium „Baustelleneinrichtung“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) eine Unterscheidung von fünf Ausprägungen:

- 1: Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ II und Umgang mit kritischen Stoffen außerhalb der Schutzzone
- 2: Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ II und Umgang mit kritischen Stoffen mit Sondergenehmigung in der Schutzzone
- 3: Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ III und Umgang mit kritischen Stoffen außerhalb der Schutzzone
- 4: Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ III und Umgang mit kritischen Stoffen mit Sondergenehmigung in der Schutzzone
- 5: Baustelle und Lagerplätze weitgehend außerhalb des Wasserschutzgebietes

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die Lage der Baustelle innerhalb einer Wasserschutzzone II gestaltet sich grundsätzlich kriti-

scher als eine Lage innerhalb einer Wasserschutzzone III; eine dortige Positionierung ist wiederum kritischer zu betrachten als eine Lage außerhalb des Wasserschutzgebietes.

Liegt die Baustelleneinrichtung nicht oder nur zu geringen Teilen innerhalb des Wasserschutzgebietes, so ist im Vergleich zu den übrigen Differenzierungen eine Risikoentschärfung gegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Handhabung von kritischen Stoffen außerhalb des Schutzgebietes erfolgt und daher zumindest für die betrachtete Trinkwassergewinnung ohne größere Bedeutung bleibt. Dies besagt jedoch nicht, dass andere Grundwasserreserven, die nicht im Einzugsgebiet der Wassergewinnung liegen, nicht möglicherweise durch die Baumaßnahme oder Lagerhaltung in Mitleidenschaft gezogen werden können. Eine Baustellen- und Lagerplatzlage weitgehend außerhalb des Wasserschutzgebietes ist dennoch als „deutlich gefährdungsmindernd (– –)“ zu bewerten.

Innerhalb der Wasserschutzzone III kann die Baustelleneinrichtung dann als „gefährdungsmindernd (–)“ eingestuft werden, wenn kritische Stoffe nicht dort gelagert, bevorratet oder umgefüllt werden. Damit wird das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser verringert, da davon ausgegangen werden kann, dass der Umgang mit entsprechenden Stoffe außerhalb des Wasserschutzgebietes stattfindet. Die Möglichkeit, dass die Baustelleneinrichtung vorwiegend innerhalb der Schutzzone III angeordnet wird und die Lagerung kritischer Stoffe in der Schutzzone II stattfindet, ist in der Praxis nicht anzunehmen.

Erstreckt sich eine Baustelle vorwiegend auf die Wasserschutzzone III und erfolgen dort ebenfalls der Umgang und die Lagerung kritischer Stoffe, so ist von einem höheren Gefährdungspotenzial und damit von einer „gefährdungsbestätigenden (+)“ Situation zu sprechen. Ebenfalls als „gefährdungsbestätigend (+)“ ist eine vorwiegend in der Wasserschutzzone II befindliche Baustelleneinrichtung zu bewerten, wenn der Umgang mit wassergefährdenden Betriebs- und Arbeitsmitteln aus der Wasserschutzzone II ausgelagert ist. Ist dies nicht der Fall, ist von einem „deutlich gefährdungsbestätigenden (++)“ Wirkungseinfluss auszugehen.

Kriterium 19

Lage im Wasserschutzgebiet, betroffene Wasserschutzzone

Wirkungseinfluss

Dem allgemeinen Schutz vor potenziellen Gefährdungen des Grundwassers innerhalb eines Wasserschutzgebietes wird durch Ausweisung und Gliederung in einzelne Wasserschutzzonen Rechnung getragen. Für Trinkwassergewinnungsgebiete, die noch über keinen rechtlich festgesetzten Schutzstatus verfügen, sind entsprechende Ausweisungen unbedingt anzustreben und schnellstmöglich umzusetzen.

Aspekte zur räumlichen Gliederung eines Wasserschutzgebietes und zur Bemessung der Wasserschutzzonen I, II und III sowie insbesondere zur dortigen Zulässigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen werden bereits zu Beginn dieser Arbeit ausführlich diskutiert. Auf die dortigen Ergebnisse wird an dieser Stelle noch einmal verwiesen (vgl. Kap. 1.1 und Kap. 1.4).

An die Festlegung von Wasserschutzzonen sind gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) Nutzungseinschränkungen geknüpft, welche Handlungen und Einrichtungen mit erhöhtem Gefährdungspotenzial für das Grundwasser grundsätzlich oder in einzelnen Schutzzonen verbieten oder einschränken. Konkretisiert und auf die örtlichen Verhältnisse im einzelnen Wasserschutzgebiet abgestimmt werden diese Vorgaben durch gebietsspezifische Wasserschutzgebietsverordnungen, die mit der Festsetzung des Wassergewinnungsgebietes Rechtskraft erlangen. Die darin formulierten Auflagen sind bei räumlichen Planungen zu beachten.

Insbesondere bei Baumaßnahmen innerhalb von Wasserschutzgebieten sind im Hinblick auf einen präventiven und nachhaltigen Grundwasserschutz besondere Regelungen und Anforderungen einzuhalten, welche risikobehaftete Eingriffe verhindern oder, wo diese nicht verhindert werden können, zumindest wirksam verringern sollen. Diesbezüglich sind u.a. Baustelleneinrichtung und Art und Weise der Baudurchführung zu nennen (vgl. Kriterien 15 und 18).

Für die Lage einer geplanten Abwasserkanalisation in einem Wasserschutzgebiet ist die von der Durchleitung betroffene Wasserschutzzone als wichtiger Beurteilungsaspekt im Hinblick auf die potenzielle Grundwassergefährdung anzusehen.

Die Ausweisung einer Wasserschutzzone geht aus einer umfangreichen gutachtlichen Betrachtung, dem Wasserschutzgebietsgutachten, hervor, welches den zu schützenden Grundwasserkörper hinsichtlich seiner hydrogeologischen Eigenschaften analysiert und in seinem räumlichen und wasserwirtschaftlichen Kontext charakterisiert, um dadurch seine Schutzwürdigkeit und Schutzfähigkeit zu bewerten. Die dabei erzielten Erkenntnisse münden in der Bemessung der gebietsindividuellen Wasserschutzzonen, welche damit die Schutzerfordernisse zusammenfassend wiedergeben.

Die Risikorelevanz einer Abwasserdurchleitung kann jedoch nicht alleine am Schutzzonenstatus innerhalb des Wasserschutzgebietes festgemacht werden, sondern muss danach beurteilt werden, ob das Durchleiten eine wirkliche oder lediglich eine formale Schutzgebietsrelevanz besitzt. Hierzu ist das Wirkungsgefüge zwischen geplantem Abwasserkanal und dem betroffenen Raum gesamtheitlich zu betrachten.

Kriteriumsdifferenzierung

Aufgrund der hydrogeologisch begründeten Abgrenzung der Wasserschutzzonen und der darin geltenden Nutzungseinschränkungen wird bei der Differenzierung des Abwägungskriteriums an der allgemein gültigen Schutzgebietsgliederung, wie sie u.a. das DVGW-Arbeitsblatt W 101 (2006) anführt, festgehalten.

Im Sinne eines Worst-Case werden allerdings Bereiche der Weiteren Schutzzone, welche einen nur geringen Abstand zur Außengrenze der Wasserschutzzone II besitzen, hinsichtlich der Gefährdungseinschätzung wie die Engere Schutzzone selbst bewertet. Dieser Sicherheitszuschlag ist als Puffer zu verstehen, der durch die parzellenscharfe Schutzzonenabgrenzung sinnvoll werden kann, bei der sich eine ausgewiesene Grenze einer Wasserschutzzone II

nicht genau am Verlauf der 50 Tages-Fließzeitisochrone, sondern an Katastergrenzen orientiert. Der Sicherheitszuschlag soll vermeiden, dass bei Trassenführungen, die unmittelbar außerhalb einer Zone II geplant sind, argumentiert werden kann, dass durch die formale Lage innerhalb der Zone III höhere Schutzanforderungen an einen Abwasserkanal und dessen Errichtung, wie sie für die Engere Schutzzone gelten, nicht begründbar bzw. erforderlich sind.

Ein zu wählendes Maß für einen entsprechenden Pufferkorridor wird sich in der Fach- und Lehrbuchliteratur jedoch nicht finden lassen, da eine Vorgabe und vor allem eine Wertung von Streckenabständen zu einer Wassergewinnungsanlage ohne gleichzeitige Kenntnisse über den Grundwasserleiter und die dortigen Strömungsverhältnisse allenfalls vage möglich ist. Bei einer kluftdominierten Grundwasserbewegung wird ein Korridor in der Regel deutlich geringere Schutzwirkung besitzen als ein gleichbreiter Puffer bei porenbestimmter Grundwasserbewegung. Im Expertensystem wird die Höhe des Sicherheitspuffers nach Abwägung mit 50 m angesetzt.

Auch dann, wenn Wasserschutzzonengrenzen zusammenfallen, d.h. z.B. hydraulisch abdichtend wirkende tektonische Störungen im Abstrom einer Wassergewinnungsanlage es bedingen sollten, dass die Außengrenzen einer Wasserschutzzone II und einer Wasserschutzzone III übereinstimmen, sollte der angeführte Abstandspuffer vorsorglich eingehalten werden, auch wenn dieser damit Flächen außerhalb des eigentlichen Wasserschutzgebietes umfasst.

Die Berücksichtigung einer etwaigen Untergliederung einer Wasserschutzzone III in eine Zone III A und eine Zone III B bleibt im Expertensystem außen vor, so dass auch bei einer entsprechenden Aufteilung die Weitere Schutzzone im Gesamten betrachtet wird.

Die Differenzierung des Kriteriums „Lage im Wasserschutzgebiet, betroffene Wasserschutzzone“ (diskret, ordinal skaliert) berücksichtigt damit folgende vier Ausprägungen:

- 1: in Wasserschutzzone III
- 2: in Wasserschutzzone II und III
- 3: in Wasserschutzzone II
(einschließlich eines allseitigen Sicherheitspuffers von 50 m um die Außengrenze der Zone II)
- 4: unter anderem auch in Wasserschutzzone I

Obwohl eine Abwasserkanalführung durch eine Wasserschutzzone I in keinem Fall statthaft ist (vgl. Kap. 1.1), wird diese hier im Sinne einer Sicherheitsabfrage mit als Kriteriumsausprägung berücksichtigt. Damit soll dem Stellenwert des Grundwasserschutzes innerhalb des Fassungsgebietes von Wassergewinnungsanlagen nochmals Nachdruck verliehen werden und für den Fall, dass eine entsprechende Durchleitung doch in Erwägung gezogen werden sollte, über deren Unzulässigkeit bzw. deren Folgen bei Umsetzung, nämlich der erforderlichen Stilllegung der Gewinnungsanlage, informiert werden.

Im Expertensystem wird davon ausgegangen, dass für das von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffene Wassergewinnungsgebiet bereits eine rechtskräftige oder zumindest beantragte bzw. geplante Ausweisung als Wasserschutzgebiet vorliegt und damit entsprechende hydrogeologische Raumanalysen vorliegen, so dass Angaben zum Verlauf der betroffenen Wasserschutzzone bzw. -zonen gemacht werden können. Für Wassergewinnungsgebiete ohne Schutzstatus kann es dann Anwendung finden, wenn entsprechende Kenntnisse als Grundlage zur Nutzung in ausreichendem und belastbarem Maße vorliegen (vgl. Kap. 1.5).

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Mit zunehmender Entfernung von einer Wassergewinnungsanlage nimmt in der Regel – jedoch nicht immer – das Gefährdungsrisiko durch stoffliche Einträge ab, da mit einem größeren Streckenabstand zumeist auch die Aufenthaltszeiten in der ungesättigten und gesättigten Untergrundzone steigen.

Dabei ist es jedoch von der Art und der Menge des eingetragenen Stoffes sowie dem lithologischen Aufbau und den Eigenschaften der durchsickerten Untergrunds abhängig, wie effektiv die „Natural Attenuation“ innerhalb der Boden- und Gesteinsschichten in Erscheinung treten kann. Eine größere Verweildauer im Untergrund bedeutet eine längere Zeit, in der stoffliche Einträge natürlichen physikalischen, physikalisch-chemischen, chemischen und biologischen Retentionsprozessen ausgesetzt sind und dadurch demobilisiert, umgewandelt oder abgebaut werden können.

Auf besondere räumliche Konstellationen, bei denen die Aussage einer abnehmenden Grundwassersensibilität und -gefährdung mit zunehmender Entfernung vom Ort der Grundwasserentnahme nicht bzw. nicht ohne Weiteres gilt, wurde bereits ausführlich eingegangen (vgl. Kap. 1.4).

Als Ausgangspunkt der ausprägungsindividuellen Gefährdungsbewertung wird ein Abwasserkanalverlauf innerhalb einer Wasserschutzzone III, in der eine entsprechende Trassenführung bei regelmäßiger Kanal- bzw. Leitungskontrolle grundsätzlich zulässig ist (DVGW 2006), als „gefährdungsbestätigend (+)“ in Bezug auf das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser beurteilt. Allein die Tatsache, dass ein Abwasserkanal als potenzielle Schadstoffquelle innerhalb eines Wasserschutzgebietes verlaufen soll, ist hier ausschlaggebend für die Zuordnung.

Durch diese Einstufung erfolgt eine Abgrenzung von Kanalführungen außerhalb des Wasserschutzgebietes, die zwar Einfluss auf das Grundwasser, nicht jedoch auf das wasserwirtschaftlich zur Trinkwassergewinnung genutzte Grundwasser besitzen können.

Innerhalb einer Wasserschutzzone II sind Abwasserkanäle in der Regel besonders risikobehaftet und haben besonderen Ansprüchen hinsichtlich technischer Ausführung und Inspektion gerecht zu werden (DVGW 2006; DWA 2002a; DWA 2004). Die Aufenthaltszeit möglicher Einträge im Untergrund bis zum Erreichen der Gewinnungsanlage beträgt zumindest formal weniger als 50 Tage.

Im Einzelfall können allerdings räumliche Konstellationen gegeben sein, in denen der Untergundaufbau z.B. durch das Vorhandensein feinkornreicher Talalluvionen oder bereichsweise mächtigere Deckschichten mit guter Retardierung dafür Sorge trägt, dass selbst bei geringen Streckenabständen zu einer Trinkwasserentnahme innerhalb einer Wasserschutzzone II reale Verweilzeiten im Untergrund von mehr als 50 Tagen erreicht werden (vgl. Kap. 1.4). Grundsätzlich muss bei der Durchleitung einer Schutzzone II als Worst-Case jedoch das Werturteil „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zugewiesen werden.

Die geplante Errichtung eines Abwasserkanals innerhalb einer Wasserschutzzone I ist als K.O.-Fall anzusehen (vgl. Kap. 3.3). Hierzu führt das DWA-Arbeitsblatt A 142 (2002a) an, dass „das Durchleiten von Abwasser durch die Schutzzone I für Grundwasser und damit die Herstellung von Abwasserkanälen und -leitungen [...] mit den Bedürfnissen des Gewässerschutzes unvereinbar“ ist (vgl. Kap. 1.2). Sollte eine Trassenführung durch den Fassungsbereich einer Trinkwassergewinnung dennoch als zwingend notwendig oder wünschenswert erachtet werden, wäre diese unvereinbar mit der Trinkwassergewinnung. Da keine Ausnahmeregelungen wie für die Wasserschutzzone II existieren, wäre somit die Grundwasserentnahme zu Trinkwasserzwecken dauerhaft stillzulegen und diese anderweitig sicherzustellen.

Eine Relativierung der angeführten ausprägungsindividuellen Gefährdungseinschätzungen unter Berücksichtigung anderer Abwägungskriterien kann aus einer Wirkungsverknüpfung mit diesen erfolgen (vgl. Kap. 5). So wird die in einer Wasserschutzzone gegebene Grundwassergefährdung z.B. durch die dortige Verlaufsänge des geplanten Abwasserkanals bzw. der geplanten Abwasserleitung unmittelbar beeinflusst (vgl. Kriterium 20).

Kriterium 20

Verlauf des Abwasserkanals

Wirkungseinfluss

Die alleinige Kenntnis darüber, welche Wasserschutzzone von der geplanten Abwasserkanaltrasse betroffen ist, ist zwar von maßgeblicher Bedeutung für die Beurteilung der potenziellen Grundwassergefährdung, es erscheint jedoch zusätzlich sinnvoll zu ermitteln, ob die Abwasserleitung bzw. der Abwasserkanal die betroffenen Wasserschutzzonen nur über kurze Entfernungen, z.B. randlich schneidet oder über längere Strecken durchzieht. Damit soll beurteilt werden, ob ein relevanter Wirkungseinfluss oder vielmehr lediglich eine formale Schutzzonengefährdung vorliegt. Die Verlaufsänge des Abwasserkanals steht daher in direktem Zusammenhang mit den vorangegangenen Ausführungen zur geplanten Lage im Wasserschutzgebiet (vgl. Kriterium 19).

Je kürzer die Verlaufsänge eines Abwasserkanals innerhalb in einem Wasserschutzgebiet ist, desto geringer ist dessen potenzielle Grundwassergefährdung einzustufen, da mit der Kanallänge auch die Zahl der Stellen abnimmt, an denen es Undichtigkeiten und damit zu einer Exfiltration von Abwasser in den Untergrund kommen könnte. Hierbei sind u.a. die Anzahl der Rohrverbindungen und der Schachtbauwerke anzuführen (vgl. Kriterien 7, 8 und 10).

Zudem können Abwasserleitungen und -kanäle als Linienbauwerke geologische Schichten mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten hydraulisch verbinden, wodurch bevorzugte Wasserleitbahnen für Leckagenwässer entstehen. Mit zunehmender Verlaufsänge im Einzugsgebiet einer Wassergewinnung nimmt dadurch auch die Gefahr unerwünschter Drainagen zu, durch die der Untergrund kurzgeschlossen und natürliche Retardierungsprozesse in Deckschichten und Grundwasserleiter umgangen werden können. Derartigen hydraulischen Fenstern kann durch den Einbau hydraulischer Sperren wie z.B. Lehmriegel oder Tonsperren im Bereich der Kanalgründung und -bettung wirksam vorgebeugt werden (vgl. Kriterium 16).

Auch Art und Dauer der baulichen Maßnahmen innerhalb eines Wasserschutzgebietes und die von ihnen ausgehende potenzielle Grundwassergefährdung sind in unmittelbarer Abhängigkeit zu der Verlaufslänge der Abwasserkanalisation zu sehen (vgl. Kriterien 15, 17 und 18).

Kriteriumsdifferenzierung

Eine Betrachtung der Kanalverlaufslänge kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen. Zum einen ist eine quantitative Differenzierung mit einer Berücksichtigung absoluter Kanallängen in Metern als Ausprägungen denkbar, die innerhalb des Wasserschutzgebietes oder einzelner Wasserschutzzonen erreicht werden, zum anderen kann eine qualifizierte Differenzierung berücksichtigt werden, welche unter Vermeidung konkreter und etwaig pseudogenaue Längewerte deskriptiv erfolgt.

Eine Ermittlung absoluter Längen würde die Notwendigkeit bedingen, fundierte Ausprägungsklassen zu definieren, die eine relevante und voneinander zu differenzierende Aussagekraft hinsichtlich der Gefährdungsbewertung besitzen. Dies gestaltet sich im vorliegenden Fall jedoch schwierig, wenn nicht gar nicht möglich. Eine Bezugnahme auf numerische Werteklassen birgt, wenn diese nicht klar begründet werden kann und daher willkürlich erfolgen muss, immer die Gefahr, dass es an Klassengrenzen zu unterschiedlichen, fachlich kaum oder sogar nicht zu rechtfertigenden Unterscheidungen kommt.

Würde z.B. bei einer Verlaufslänge A die Grenze zwischen zwei Gefährdungsbewertungen gezogen, würde einer Verlaufslänge A + B folglich ein anderes Urteil als einer Verlaufslänge A – C zugewiesen werden, selbst wenn sich B und C und damit beide Verlaufslängen nur gering unterscheiden würden. Kann in einem solchen Fall auf keine anerkannten Klassifizierungs- und Bewertungsmaßstäbe zurückgegriffen werden, wird die Klassenwahl und damit die Entscheidungsfindung angreifbar, was in einem Expertensystem zu vermeiden ist, um dessen Wertigkeit nicht in Frage zu stellen.

Im Hinblick auf die geplante Verlaufslänge des Abwasserkanals innerhalb der betroffenen Wasserschutzzone bzw. -zonen wird im vorliegenden Fall daher eine Differenzierung in verbal-diskriptiver Form mit Vermeidung der Berücksichtigung konkreter Längen als einzig sinnvoll erachtet. Die in der Formulierung der Kriteriumsdifferenzierung absichtlich implizierte Unschärfe erfordert vom Nutzer des Expertensystems jedoch besondere Aufmerksamkeit, da er abzuwägen hat, welche Ausprägung die reale Einzelfallsituation am besten wiedergibt.

Der durch die Unschärfe deskriptiv formulierter Ausprägungen gegebene Bewertungsspielraum wird insbesondere bei Abwägungskriterien, deren Ausprägungen stetigen Charakter besitzen, und für die keine Klassifizierung begründet angegeben werden kann, als zweckmäßig oder gar unumgänglich erachtet. Er setzt allerdings eine aufrichtige Beantwortung durch den Systemnutzer voraus, der entsprechende Unschärfen nicht für eine gezielte Manipulation der Entscheidungsfindung nutzen darf (vgl. Kap. 2.4). Die Auswahl der zutreffenden Antwort kann für den Anwender dabei insofern erleichtert werden, als dass versucht wird, Klassengrenzen trotz bestehender und notwendiger Unschärfe verbal möglichst klar zu formulieren und die Anzahl der Ausprägungen gering zu halten.

Die Differenzierung des Abwägungskriteriums „Verlaufslänge in den Wasserschutzzonen“ (stetig, verhältnisskaliert) erfolgt demnach wie folgt in zwei verbalen Klassen:

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: die betroffene Wasserschutzzone ist von einer relativ kurzen Kanalstrecke betroffen 2: die betroffene Wasserschutzzone ist von einer längeren Kanalstrecke betroffen |
|--|

Als relevant wird hierbei sowohl ein Kreuzen, Anschneiden oder Queren, wie auch ein gänzlich zum Liegen kommen innerhalb einer oder mehrerer Wasserschutzzonen betrachtet. Ob die geplante Abwasserkanalisation randlich oder

zentral innerhalb der Wasserschutzzone liegen wird, wird dabei nicht erhoben.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Hinsichtlich der ausprägungsindividuellen Gefährdungsbewertung kann zunächst grundsätzlich angeführt werden, dass größere Verlaufs-längen kritischer zu sehen sind als nur kurze, weswegen sie als „deutlich gefährdungsbestä-tigend (++)“ zu bewerten sind, wohingegen kurze Verlaufs-längen als „gefährdungsbestätigend (+)“ betrachtet werden. Was in diesem Fall als „kurz“ zu beurteilen ist, muss einzelfallindividuell vom Nutzer des Expertensystems entschieden und in Abhängigkeit zur gesamten Planungsmaßnah-me im Wasserschutzgebiet betrachtet werden.

Von eigentlicher Relevanz für die gesamtheitli-che Aussage zum Grundwassergefährdungspo-tenzial der geplanten Abwasserkanalbaumaß-nahme ist die Betrachtung der Verlaufs-länge des Abwasserkanals erst zusammen mit dessen Lage im Wasserschutzgebiet (vgl. Kriterium 19). Diese Angaben zur ausprägungsindividuellen Gefährdungseinschätzung erhalten durch Verknüpfung mit denjenigen zur Verlaufs-länge eine verstärkte Aussagekraft, die zu einer Bestä-tigung, Verstärkung oder Abschwächung der Individualbewertungen führt (vgl. Kap. 5).

Kriterium 21

Art der Wassergewinnungsanlagen

Wirkungseinfluss

Eine Förderung von Grundwasser kann mittels verschiedener Fassungsarten erfolgen, welche sich als unterschiedlich empfindlich gegenüber oberflächlichen bzw. oberflächennahen Stoffein-trägen und negativen Einflussnahmen innerhalb des Gewinnungsgebietes darstellen, wie sie z.B. bei der Errichtung und dem späteren Betrieb von Abwasserleitungen und -kanälen gegeben sein können. Die Art der Wassergewinnungsan-lage im betroffenen Wassergewinnungsgebiet ist daher als relevantes Abwägungskriterium zu betrachten.

Grundsätzlich lassen sich Brunnenfassungen, kurz „Brunnen“, und Quelfassungen gegenein-ander abgrenzen. Letztere werden meist kurz, aus hydrogeologischer Sicht jedoch nicht korrekt als „Quellen“ bezeichnet. In der wasserwirt-schaftlichen Praxis werden Brunnen mit gerin-gen Tiefen, die oberflächennahes Grundwasser erschließen, wie sie oft innerhalb von Tälern in Gruppen angeordnet zu finden sind, oft eben-falls zu den Quelfassungen gezählt, obwohl sie baulich Brunnen darstellen.

Eine Unterscheidung zwischen Grundwasser und Quellwasser, wie sie im alltäglichen Gebrauch vielfach erfolgt und z.B. auch in Was-serstatistiken Verwendung findet (BGW 2001; BGW 2003a), wird von der DIN 4049-3 (1994) nicht gemacht, da auch Quellwasser Grundwas-ser darstellt. Eine Differenzierung kann dann sinnvoll sein, wenn mit Quellwasser Grundwas-ser gemeint wird, das einer natürlichen Quelle oder einer oberflächennahen künstlichen Fas-sung entstammt, und mit Brunnenwasser Grundwasser, das über einen Brunnen aus grö-ßeren Tiefen gefördert wird.

Zu unterscheiden vom Quellwasser im hydro-geologischen und trinkwasserwirtschaftlichen Sinne ist „Quellwasser“, mit dem eine Art von Mineralwasser im Sinne der Mineral- und Tafel-wasserverordnung (Min/TafelWV 2006) gemeint ist. Dieses wird definiert als Wasser, das seinen Ursprung in unterirdischen Wasservorkommen hat, aus einer oder mehreren natürlichen oder künstlich erschlossenen Quellen gewonnen wird und bei seiner Herstellung keinen bzw. lediglich den nach § 6 Min/TafelWV zulässigen Verfahren unterworfen wurde. „Quellen“ ist in diesem Fall im Sinne von „Vorkommen“ zu verstehen, so dass eine Gewinnung von Quellwasser nach Min/TafelWV auch über Brunnen erfolgen kann.

Eine Quelfassung dient der Sammlung und Weiterleitung und damit der wasserwirtschaftli-chen Nutzbarmachung oberflächennah vorhan-denen Grundwassers. Quelfassungen können u.a. als Stuben, Schächte oder Stollen ausge-führt sein, denen das Grundwasser in der Regel im natürlichen Gefälle oder unter artesischer Spannung zufließt. Die Wasserzufuhr kann da-bei z.B. über künstlich verlegte Sickerleitungen

oder unmittelbar aus dem natürlichen Trenngefüge des Festgesteins erfolgen. Oftmals orientiert sich die Lage von Quelfassungen an besonderen hydrogeologischen Untergrundgegebenheiten, z.B. tektonischen Störungszonen und/oder lithologischen Schichtgrenzen, welche die Ergiebigkeit der Quelfassung begünstigen und oft auch das Auftreten natürlicher Quellen im Umfeld bewirken.

Quellen¹⁶ stellen natürliche, räumlich in der Regel eng begrenzte Grundwasseraustritte dar (DIN 4049-3 1994), die punktuell oder linear an eng umgrenzten Stellen, aber auch diffus in flächigen Feucht- und Vernässungsgebieten erfolgen können. Quellaustritte, die im Gelände in Gruppen oder Bändern vorzufinden sind, werden meist durch ausstreichende Gesteinschichten bedingt, die aufgrund grundwasserstauender Eigenschaften oberhalb zirkulierendes Sicker- und Grundwasser großteilig oder zumindest anteilig vor dem weiteren Versickern in die Tiefe abhalten und lateral dem hydraulischen Gefälle folgend zu Quellaustritten in Senken, an Taleinschnitten oder an Hangflanken abführen. Diese Stauschichten können über weite Flächen aushaltend oder nur kleinskalig und lokal von Bedeutung sein.

Je nach Ausbildung der den Quellschicht überlagernden Grundwasserüberdeckung, insbesondere deren Mächtigkeit und Durchlässigkeit, werden natürliche Quellen und Quelfassungen verschieden stark durch Niederschläge und etwaige anthropogen stoffliche Zusickerungen von der Geländeoberfläche her beeinflusst. Im Allgemeinen zeigen sich entsprechende Einflüsse sehr viel schneller und deutlicher als bei Brunnen, welche tieferes und damit zumeist auch besser geschütztes Grundwasser erschließen.

Insbesondere bei kluffreichten Untergründen, vor allem aber in Karstgebieten, reagieren Quellschüttungen unmittelbar auf Regenereignisse (MATTHESS 2000). Je stärker sich verändernde Witterungen in Quellschüttungen widerspiegeln, desto direkter ist die hydraulische Kommunikati-

on mit der Erdoberfläche und desto höher die Sickergeschwindigkeiten. Mit der sich dadurch verringern Retardierung steigt die Sensibilität des Grundwassers (HÖLTING 1995).

Der Bau klassischer Quelfassungen erfolgt in heutiger Zeit zumindest in Deutschland kaum noch. Im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung sind sie meist nur noch von untergeordnetem Stellenwert und besitzen allenfalls regional noch eine größere oder gar alleinige Versorgungsbedeutung. Oft werden vorhandene Quelfassungen nur noch beiläufig betrieben, da sie Wasser preisgünstig, d.h. ohne die Kosten für einen bei Brunnen erforderlichen Pumpeneinsatz liefern. Der Anteil des Quellwassers an der jährlich geförderten Wassermenge liegt in Deutschland derzeit bei rd. 9 %, im Saarland dabei z.B. bei rd. 4 % sowie in Nordrhein-Westfalen bei rd. 1 % (BGW 2003a). Im Großherzogtum Luxemburg dagegen wird als Gegenbeispiel nach wie vor der überwiegende Teil des Trinkwassers über Quelfassungen unterschiedlicher Bauart bereitgestellt.

Voraussetzung für die Nutzung von Quellen ist, dass das durch sie bereitgestellte Grundwasser eine günstige Beschaffenheit aufweist und sie eine ausreichende Robustheit gegenüber Einflüssen von der Erdoberfläche her besitzen. Durch stoffliche Belastungen, allen voran solchen aus der Landwirtschaft sowie u.a. aus Altablagerungen sowie durch bakterielle Einträge zeigt sich die Nutzbarkeit von Quellwasser zu Trinkwasserzwecken vielerorts ohne mitunter aufwändige Aufbereitungsmaßnahmen erheblich eingeschränkt oder gar nicht mehr möglich.

Stand der Technik im Hinblick auf die Trinkwassergewinnung sind heute (Tief-)Brunnen. 64 % der Wasserförderung in der Bundesrepublik erfolgen aus Brunnenanlagen, im Saarland sogar nahezu 96 %. In den Stadtstaaten Hamburg und Bremen sowie in Berlin wird Trinkwasser ausschließlich durch Brunnen bereitgestellt. In Nordrhein-Westfalen liegt der Anteil aufgrund der vergleichsweise starken Nutzung von Oberflächenwasser¹⁷ aus Trinkwassertalsperren dagegen bei nur rd. 42 % (BGW 2003a).

¹⁶ hier zu verstehen als natürlicher Quellaustritt, nicht als künstliche Quelfassung

¹⁷ einschließlich Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser

Die Positionierung von Brunnen ist weniger an die topographischen Gegebenheiten geknüpft als die von Quelfassungen, weswegen sie universeller einsetzbar sind, sofern sich der erschließbare Untergrund als geeignet für eine Wassergewinnung erweist. Hierzu muss dieser eine ausreichende Wasserhöflichkeit besitzen und das gewinnbare Grundwasser hinsichtlich seiner Beschaffenheit für eine Verwendung als Trinkwasser geeignet sein.

Sofern es die hydrogeologischen Verhältnisse zulassen, wird versucht, über Brunnen Grundwasser aus größeren Tiefen und/oder tieferen Grundwasserstockwerken (vgl. Kriterium 42) zu gewinnen, da dieses in der Regel besser vor anthropogenen Veränderungen geschützt ist als oberflächennahe Grundwasservorkommen. Dies gilt jedoch nicht immer für Gebiete, in denen es durch z.B. Untertagebergbau zu relevanten Veränderungen auch in tiefen Grundwasserleitern kommt wie u.a. in Teilen der Niederrheinischen Tiefebene (WOLF 2007b).

Wenngleich mit zunehmender Fördertiefe oberflächenbürtige Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit abnehmen, so zeigen sich auch Brunnenwässer mitunter durch stoffliche Einträge nutzungseinschränkend verändert. Gründe für ein Vordringen anthropogener Veränderungen auch in größerer Tiefe können u.a. natürliche geologische Fenster und Wegsamkeiten z.B. im Trenngefüge des Festgesteins sein, wie vor allem auch künstlich geschaffene Kurzschlüsse, welche durch Bohrungen ohne oder mit fehlerhafter oder gealterter Ringraumabdichtung bedingt werden.

Nutzungseinschränkungen für eine Verwendung von Grundwasser als Trinkwasser können jedoch auch durch den geogenen Charakter von Grundwässern bedingt werden, der von der Lithologie des erschlossenen Untergrundes und den dortigen Reaktionsverhältnissen bestimmt wird. So kann es sowohl bei oberflächennahem wie auch bei tiefem Grundwasser z.B. zu einer natürlicherweise erhöhten Konzentration von Schwermetallen und Salzen kommen, die unabhängig von anthropogenen Beeinflussungen sind und geogene Hintergrundwerte darstellen (WOLF 2006).

Brunnen sind grundsätzlich in Vertikal- und Horizontalbrunnen zu unterscheiden. Vertikalbrunnen lassen sich anhand ihrer charakteristischen Baueigenschaften bzw. des Herstellungsverfahrens in u.a. Schlag-, Bohr- und Schachtbrunnen differenzieren (HÖLTING 2005). Sie durchteufen den Untergrund als senkrecht Bauwerk und können frei im Fels stehend, gemauert oder mittels Verrohrung ausgebaut und verfiltert sein. Je nach Abdichtungstiefe und – bei verfilterten Brunnen – der Lage von Vollrohr- und Filterstrecken kann Wasser auf der ganzen Bohrloch- bzw. Schachtlänge oder nur auf Teilen dieser zufließen. Sind mehrere Brunnen in geringer Nähe zueinander angeordnet, spricht man von Brunnengalerien oder -reihen (vgl. Kriterium 23).

Vertikalbrunnen sind in heutiger Zeit im Regelfall als Bohrbrunnen ausgeführt, die in Lockergesteinen immer, in Festgesteinen in der Regel mittels einer Verrohrung aus z.B. Edelstahl, kunststoffbeschichtetem Stahl oder PVC ausgebaut sind, welche zum umgebenden Gebirge hin mit einer auf die lokale hydrogeologische Situation abgestimmten Schüttung aus Filterkies oder Filtersand hinterfüllt ist. Früher z.T. verwendete Rohre mit Kiesbelag finden heute keine Verwendung mehr. Der obere Teil des Ringraumes einer Brunnenbohrung wird zur Vermeidung von hydraulischen Wegsamkeiten mit Zement-Dämmen und/oder Ton restplastisch abgedichtet. Aufgrund von Nachteilen im Hinblick auf Rissbildung bei z.B. späteren Setzungen und fehlender Restplastizität wird reiner Beton zur Absperrung des Ringraumes heute nicht mehr allein verwendet.

Teilweise finden sich, vor allem im südwestdeutschen Raum, historisch bedingt auch teilausgebaute Vertikalbrunnen, die nur im oberen Teil der Bohrung über eine z.T. bis in mehrere Zehner Meter Tiefe reichende, meist hinterfüllte Sperrverrohrung verfügen und darunter unausgebaut sind, so dass ihnen Wasser unmittelbar aus dem erschlossenen Fels zuströmt. Diese Brunnen zeigen bei angepasster Nutzung oft hohe Zeitbeständigkeiten (WAGNER 2003).

Horizontalbrunnen gewinnen Grundwasser aus horizontal oder schräg verlaufenden Filtern (MÜLLER 1999). Mit ihnen können auch Grund-

wasserleiter von geringer Mächtigkeit effektiv erschlossen werden, bei denen Vertikalbrunnen infolge der größeren Grundwasserabsenkung der dort punktuellen Entnahme an ihre Grenzen stoßen. Anders als Quellstollen, welche als horizontale Fassungen in Festgesteinen zum Einsatz kommen, erschließen Horizontal(filter)brunnen Lockersedimente. Besonders geeignet erweisen sie sich in größeren Fluss- oder Urstromtälern mit groben Schotterkörpern zur Gewinnung von bodenfiltriertem Fluss- und See-wasser (Uferfiltrat).

Der Einwirkungsbereich der Wasserentnahme bleibt bei Horizontalbrunnen im Vergleich zu Vertikalbrunnen im Regelfall geringer, zudem ergeben sich meist große Ergiebigkeiten. Horizontalbrunnen erschließen im Vergleich zu Vertikalbrunnen üblicherweise Wasser aus geringeren Tiefen, was sie gegenüber stofflichen Einträgen von der Oberfläche bzw. aus Oberflächennähe her anfälliger macht als tiefere Vertikalbrunnen und in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Grundwasserüberdeckung in vielen Fällen ähnlich sensibel wie Quellfassungen werden lässt.

Vertikalbrunnen in Bauform des klassischen Vertikalfilterbrunnens verfügen über einen zentralen Sammelschacht, von dem aus mindestens ein, meist jedoch mehrere, oft sternförmig angeordnete Horizontalfilterstränge abzeigen, über die das Grundwasser zugeführt wird, das vom Sammelschacht aus gegebenenfalls über Pumpen der weiteren Verwendung zugeführt wird. Erste Forschungsansätze versuchen derzeit, horizontale Wasserfassungen in Form abgelenkter Bohrungen, wie man sie u.a. aus der Erdöl-gewinnung kennt, zukünftig auch für die Förde-rung von Trinkwasser in klüftigem Festgestein effektiv nutzbar zu machen, um die damit ver-bundenen ökologischen und hydraulischen Vor-teile nutzen zu können (WAGNER 2008a).

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung der Art der Grundwasser-gewinnung erfolgt maßgeblich auf Grundlage der grundsätzlichen Sensibilitäten der Fas-sungsarten und der Geschütztheit des durch sie

bereitgestellten Grundwassers vor oberflächen-bürtigen Einflüssen, wie sie während der Bau- und der späteren Betriebsphase einer Abwas-serkanalisation nicht ausgeschlossen werden können.

Quellfassungen sind wie dargestellt die Gewin-nungsanlagen, bei denen Einwirkungen durch Oberflächeneinflüsse am direktesten und unter Umständen ehesten zu erwarten sind. Grund-wasserflurabstand und Mächtigkeit der Deck-schichten sind meist geringer als bei Vertikal-brunnen. Natürlich können lokale lithologische Verhältnisse im Einzelfall dazu führen, dass aus Quellfassungen stammendes Grundwasser sich durchaus als robust gegenüber oberflächenbür-tigen Einflussnahmen zeigt, jedoch wird für die Situationsbetrachtung und -bewertung im Exper-tensystem im Sinne eines Worst-Case eine diesbezüglich im Regelfall höhere Sensibilität von Quellen angenommen.

Bei der Betrachtung von Brunnen erscheint eine Unterscheidung der Entnahmetiefe notwendig. Über Horizontalbrunnen, Flachbohrungen und Schachtbrunnen gewonnenes Grundwasser wird aufgrund seiner oft geringeren Fördertiefe empfindlicher eingestuft als Grundwasser, das über Tiefbrunnen bereitgestellt wird, und hin-sichtlich seiner Sensibilität daher mit Grundwas-ser aus Quellfassungen gleichgesetzt.

Als Ausprägungen bei der Betrachtung der „Art der Wassergewinnungsanlagen“ (diskret verteilt, nominal skaliert) werden demnach im Experten-system folgende Gruppen berücksichtigt:

- | |
|---|
| 1: Tiefbrunnen |
| 2: Quellfassungen (Quellschächte, Quellstollen, Quellstuben), Flachbrunnen oder Horizontalfilterbrunnen |
| 3: sowohl als auch |

Quellfassungen, Horizontalfilterbrunnen und fla-che Vertikalbrunnen werden aufgrund einer ähn-lichen Sensibilitätseinstufung als Ausprägungen zusammengefasst, wodurch die Zahl der be-rücksichtigten Ausprägungen auf drei reduziert werden kann, was sich im Hinblick auf die Zahl

der im Weiteren zu betrachtenden Ausprägungsverknüpfungen zur Situationsanalyse und -bewertung als zweckmäßig darstellt. Sind im betroffenen Wasserschutzgebiet gleichzeitig sowohl Tiefbrunnen als auch oberflächennahe Fassungen vorhanden, so wird dies in der Differenzierung berücksichtigt.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Aus den geschilderten Gründen erweisen sich Grundwasserentnahmen aus tieferen Vertikalbrunnen im Normalfall weniger empfindlich als oberflächennahe Entnahmen. Dennoch kann nicht von einer grundsätzlichen Risikoentschärfung ausgegangen werden, nur weil eine Erschließung tieferer Grundwasservorkommen gegeben ist, weswegen die Bewertung „gefährdungsbestätigend (+)“ zugewiesen wird. Eine Entschärfung der Gefährdungssituation kann gegebenenfalls dann angenommen werden, wenn eine Brunnenreihe vorhanden ist. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, dass ein teilweises Abfangen von Stoffeinträgen durch einzelne Brunnen erfolgen kann (vgl. Kriterium 23).

Grundwasserentnahmen über Horizontalbrunnen und Flachbrunnen müssen wie erläutert grundsätzlich kritischer gesehen werden, da sie in geringeren Tiefen erfolgen. Quelfassungen sind ebenfalls als besonders sensibel zu betrachten. Durch eine oft geringere Mächtigkeit und eingeschränkte Retardierung der Grundwasserüberdeckung können sich stoffliche Einträge unter Umständen rasch und deutlich auf die Beschaffenheit des geförderten Grundwassers auswirken. Das Risiko, dass sich Einflüsse aus Baumaßnahme oder Leckagen im Förderwasser von Quelfassungen oder Flachbrunnen widerspiegeln, wird als signifikant höher als bei Tiefbrunnen und damit als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ bewertet.

Sind in einem Wasserschutzgebiet sowohl flache als auch tiefe Fassungsarten vertreten, so erfolgt eine Worst-Case-Einstufung. Die Bewertung des schlimmsten anzunehmenden Falles wird herangezogen und damit die ausprägungsindividuelle Bewertung „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ ausgesprochen. Eine Diffe-

renzung zwischen „flach“ und „tief“ muss dabei nach fachlicher Einschätzung und Erfahrung des Beurteilenden erfolgen.

Kriterium 22

Jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet

Wirkungseinfluss

Die Höhe der in einem Wassergewinnungsgebiet entnommenen Grundwassermenge ist zum einen Indiz dafür, wie ergiebig sich die nutzbaren Grundwasserreserven darstellen, zum anderen vor allem aber Hinweis darauf, welcher Stellenwert dem Wasserschutzgebiet und den dortigen Gewinnungsanlagen für die Wasserversorgung beizumessen ist. Je höher die Wasserentnahme, desto größer ist im Allgemeinen die Unverzichtbarkeit des Schutzgebietes für den versorgten Raum.

Zwar können auch Gewinnungsgebiete mit geringen Grundwasserentnahmen lokal von hoher oder gar alleiniger Versorgungsbedeutung sein, jedoch eröffnen sich bei stark beanspruchten, unter Umständen regional wichtigen Entnahmegebieten zusätzliche Problemfelder. Bei diesen wird es bei einem vorübergehend erforderlichen Außerbetriebnehmen wichtiger Gewinnungsanlagen oder gar der gesamten Wasserförderung im Schutzgebiet allenfalls zum Teil und damit nicht immer im ausreichenden Maße möglich sein, die Wassergewinnung über andere Gebiete oder Standorte sicherzustellen, so dass die geordnete Wasserbelieferung der Abnehmer im üblichen Maße zeitweise eingeschränkt sein kann und gegebenenfalls auf Notwasserversorgungskonzepte, z.B. einen Fremdbezug von Wasser von benachbarten Wasserversorgungsunternehmen, zurückgegriffen werden muss.

Die Konsequenzen einer teilweisen oder gänzlichen Außerbetriebnahme der Wassergewinnung wären damit weitreichend. Sind die Fördermengen in einem Gewinnungsgebiet dagegen überschaubar, so erscheinen Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer geordneten Trinkwasserversorgung eher und leichter umsetzbar. Die

Höhe der jährlichen Grundwasserentnahme wird innerhalb des Expertensystems daher ergänzend und in Verbindung zur Bedeutung der Wasserversorgung im Wasserschutzgebiet und den Besicherungsalternativen im Bedarfsfall (vgl. Kriterium 24) sowie den bestehenden freien Förderkapazitäten (vgl. Kriterium 25) betrachtet, welche zusammen eine Aussage zur Wertigkeit des Wasserschutzgebietes und damit dessen Schutzwürdigkeit machen.

Kriteriumsdifferenzierung

Bei der Wahl der Kriteriumsausprägungen soll im vorliegenden Fall auf numerische Klassen zurückgegriffen werden, da die jährliche Entnahmerate im von der Abwasserkanalplanung betroffenen Gewinnungsgebiet dem Systemnutzer bekannt sein wird oder von ihm einfach erfragt werden kann. Durch die stetige Verteilung möglicher Entnahmemengen wird es erforderlich, Klassenintervalle zu definieren, welche sich geeignet dazu erweisen, einen Beitrag zur Bewertung der Gesamtsituation im Hinblick auf die Wertigkeit des Wasserschutzgebietes zu leisten, um darauf aufbauend die Umsetzbarkeit etwaiger Reaktionen auf möglicherweise auftretende Probleme abschätzen zu können.

Bei hohen Entnahmeraten wird dem Wasserschutzgebiet prinzipiell ein hoher Stellenwert beigemessen, so dass den Interessen des Wasserversorgers ein vergleichsweise starkes Gewicht verliehen wird. Handlungsempfehlungen, wie z.B. eine Aufgabe von Gewinnungen oder deren Verlagerung, welche in aller Regel mit großem technischen und damit auch finanziellen Aufwand u.a. für den Bau neuer oder die Reaktivierung alter Brunnen sowie für neue Leitungsanbindungen verbunden sind, werden schwieriger durchzusetzen sein als z.B. bei geringer beanspruchten und damit gegebenenfalls weniger bedeutenden Gewinnungsgebieten.

Es erfolgt nachfolgend eine Berücksichtigung von drei Klassen in Form zweier geschlossener und einem offenen Intervall, welche die zur Situationsbeurteilung wichtigen Extrema – sehr hohe jährliche Fördermengen und relativ geringe jährliche Fördermengen – von einem weniger

aussagekräftigen Mittelbereich differenzieren, für den eine qualitative Aussage als deutlich schwieriger angesehen wird.

Zur Definition der Klassenintervalle kann auf keine vorgegebenen Intervallgrenzen zurückgegriffen werden, die anführen, ab wann ein Fördervolumen als hoch und wann als gering einzustufen ist, so dass eine derartige Beurteilung zwangsläufig subjektiver Art bleiben muss. Es wird daher auf Werte zurückgegriffen, die sich aus Sicht des Verfassers als sinnvoll erweisen. Da die Betrachtung der jährlichen Grundwasserentnahme im Expertensystem in Verbindung mit weiteren Abwägungskriterien gewichtet wird (vgl. Kriterien 24 und 25), erscheint ein derartiges Vorgehen statthaft und schränkt die Aussagequalität der Ergebnisfindung nicht ein. Die Grenzwerte werden bewusst recht hoch bzw. niedrig angesetzt, um Vorwürfen einer nicht zu rechtfertigenden qualitativen Differenzierung vorzubeugen. Sie sollen sich auf eine Betrachtung besonders eindeutiger Fallsituationen beschränken.

Als obere Klassengrenze wird eine jährliche Entnahmerate von 1 Million m³ berücksichtigt um Wassergewinnungsgebiete anzusprechen, die eine hohe und vermutlich auch überregionale oder wirtschaftliche Bedeutung besitzen. Fördermengen dieser Größenordnung sprechen für hochergiebige Grundwasserleiter, wie man sie z.B. aus den schotterdominierten Lockergesteinsgrundwasserleitern entlang großer Vorfluter wie dem Rhein kennt. Derartig reiche Grundwasservorkommen können durch andere Gewinnungsgebiete kaum bzw. allenfalls anteilig ersetzt werden. Durch die mitunter große Ausdehnung derartiger Gewinnungsgebiete können Nutzungskonkurrenzen steigen und sich damit die Gefahr erhöhen, dass ein Nebeneinander von wassergefährdenden Handlungen und Einrichtungen und der Trinkwassergewinnung nicht zu vermeiden ist. Dies erhöht die potenzielle Gefährdung für das Grundwasser.

Als Gegenstück hierzu werden Gewinnungsgebiete abgegrenzt, in denen jährlich weniger als 100.000 m³ Grundwasser entnommen werden. Ihre Bedeutung wird zumeist lokalen Charakter haben. Die Aufgabe einer Wassergewinnungs-

anlage, z.B. bei einer notwendigen Abwasserdurchleitung durch eine Wasserschutzzone I (vgl. Kriterium 19), wird nur dann durchzusetzen sein, wenn die betroffene Fassung keine zu große Bedeutung für die Wasserversorgung besitzt und die durch sie bislang bereitgestellte Wassermenge durch andere Gewinnungsanlagen kompensiert werden kann. Unpopuläre, aus Sicht des Trinkwasserschutzes jedoch notwendige bzw. sinnvolle Handlungsentscheidungen sind eher durchzusetzen und zu rechtfertigen.

Es ergeben sich für die „Jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) die Ausprägungen:

1:	über 1 Million m ³ /a
2:	unter 1 Million m ³ /a, allerdings über 100.000 m ³ /a
3:	bis 100.000 m ³ /a

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Aufgrund des eingeschränkten Handlungsspielraumes werden hohe jährliche Entnahmemengen, hier repräsentiert durch Entnahmen über 1 Million m³/a, als besonders kritisch beurteilt, da sie für eine hohe Wertigkeit des Wasserschutzgebietes sprechen und dessen Schutzwürdigkeit betonen. Ihnen wird daher die Bewertung „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zugewiesen.

Bei geringeren, jedoch immer noch gegebenenfalls recht hohen Fördermengen über 100.000 m³ erweitert sich möglicherweise der Handlungsspielraum, z.B. im Hinblick auf eine Verlagerung der Wasserversorgung (vgl. Kriterium 24). Es wird dennoch von einer „gefährdungsbestätigenden (+)“ Situation ausgegangen.

Im Gegensatz dazu kann bei überschaubarer jährlicher Entnahme von einer gewissen Situationsentschärfung ausgegangen werden. Auf etwaige Probleme, die z.B. durch die Kanalbaumaßnahme oder spätere Abwasserexfiltrationen bedingt werden, und die Wassergewinnung zumindest zeitweilig, wenn nicht gar nachhaltig beeinflussen können, kann vermutlich besser

reagiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass Maßnahmen zum Schutz und zur Sicherung der Trinkwasserversorgung einfacher umsetzbar sind, was als „gefährdungsmindernd (-)“ angesehen wird.

Kriterium 23

Nutzung vorhandener Brunnen als Abwehrbrunnen

Wirkungseinfluss

Die unterschiedlich einzustufenden Sensibilitäten von Wassergewinnungsanlagen bzw. des durch sie zutage gefördertem Grundwassers wurden bereits diskutiert (vgl. Kriterium 21). Ergänzend hierzu wird es im Hinblick auf ein mögliches Reagieren auf Stoffeinträge in den genutzten Grundwasserleiter oder dortige Sedi-mentmobilisierungen zur Sicherung der Wasserversorgung als sinnvoll erachtet abzuwägen, ob im von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet Brunnen vorhanden sind, die zumindest zeitweilig als Abwehrbrunnen genutzt werden könnten.

Abwehrbrunnen, mitunter auch als Abfangbrunnen bezeichnet, stellen üblicherweise Vertikalbrunnen dar (vgl. Kriterium 21), die im Abstrom von Kontaminationsherden wie u.a. industrieller Altlasten oder Deponien liegen, um in den Grundwasserleiter vorgedrungene Schadstoffe vollständig oder zumindest großteilig zu fassen und das abgefangene Grundwasser je nach dessen Beschaffenheit geordnet abzuleiten oder einer gezielten Behandlung zuzuführen. Die Förderleistung im Dauerbetrieb gefahrenen Abwehrbrunnens ist an die Breite der zuströmenden Schadstofffahne und den hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnissen im Untergrund anzupassen. Abwehrbrunnen können gezielt errichtet und damit optimal zum Schadstoffstrom positioniert werden oder Brunnen darstellen, welche ehemals der Trinkwassergewinnung dienten, aufgrund von Redundanzen oder aus anderen Gründen jedoch aus dieser herausgenommen wurden und sich aufgrund ihrer vorgegebenen Lage für ein entsprechendes Abfangen eignen.

Im Oberstrom von Trinkwassergewinnungsanlagen können Abwehrbrunnen dafür sorgen, dass belastetes Grundwasser nicht bis zur Entnahme vordringt und damit die Wassergewinnung gezielt geschützt wird.

Für die Betrachtung im Expertensystem erscheint es daher wichtig zu betrachten, inwiefern im Wassergewinnungsgebiet Brunnen vorhanden sind, welche vorübergehend oder auch dauerhaft als Abwehrbrunnen genutzt werden könnten, um während der Bau- oder der späteren Betriebsphase der Abwasserkanalisation etwaig in den Grundwasserleiter gelangte stoffliche Einträge oder z.B. im Zuge der Baumaßnahmen im Untergrund mobilisiertes Fein- und Feinstkorn aus Kluffbestegen abzufangen und zu diesem Zweck vorgehalten werden können.

Von Vorteil können sich hierbei insbesondere Brunnenreihen erweisen. Hierunter ist im vorliegenden Fall jedoch nicht nur eine Brunnengalerie im klassischen Sinne zu verstehen, welche eine Anordnung meist rechtwinklig zur Anströmrichtung des Grundwassers positionierter und in Lage und Betrieb aufeinander abgestimmter Einzelbrunnen meint, die entweder jeweils über eigene Pumpen verfügen oder an eine gemeinsame Heberleitung angeschlossen sind (MÜLLER 1999) und wie sie vielfach in den Terrassenschottern großer Flüsse vorzufinden sind, sondern im Grunde jede Anordnung von Brunnen im Vergleich zur Kanaltrasse, welche sich für ein Abfangen vor stofflichen Zutritten eignen.

Auch in Wassergewinnungsgebieten mit wenigen Gewinnungsanlagen oder gar nur einer betriebenen Trinkwasserfassung können stillgelegte, aber noch nicht rückgebaute Bohrungen vorhanden sein, welche als Abwehrbrunnen eingesetzt werden könnten.

Dies setzt voraus, dass sich der Verlauf des Abwasserkanals und die Lage potenzieller Abwehrbrunnen in Bezug zueinander so gestalten, dass ein Abfangen etwaiger Kontaminationen oder Materialmobilisierungen möglich wird. Dies hängt von den einzelfallspezifischen räumlichen Konstellationen, u.a. dem Ort des Stoffeintrags bzw. der Mobilisierung, den Matrixeigenschaften des Grundwasserleiters, der Untergrunddurch-

lässigkeit, der Grundwasserströmungsrichtung und der während des Brunnenbetriebs veränderten hydraulischen Situation im Aquifer ab. Zudem ist es erforderlich, dass auf einen als Abwehrbrunnen geeigneten Brunnen, sofern er noch betrieben werden sollte, bei der Trinkwasserbereitstellung verzichtet werden kann.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung des Kriteriums „Nutzung vorhandener Brunnen als Abwehrbrunnen“ (diskret verteilt, nominal skaliert) wird auf zwei Ausprägungen im Sinne von „Ja“/„Nein“ beschränkt:

- 1: Nutzung vorhandener (betriebener oder stillgelegter) Brunnen als Abwehrbrunnen ist denkbar
- 2: Nutzung vorhandener (betriebener oder stillgelegter) Brunnen als Abwehrbrunnen ist nicht möglich

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sind Brunnen oder ist gar eine Brunnenreihe bzw. Brunnengalerie vorhanden, die als Abwehrbrunnen genutzt werden könnten, damit andere Gewinnungsanlagen geschützt werden, wird dies als eine Entschärfung der Gefährdungssituation bewertet.

Dem entgegen steht jedoch das Argument, dass mehrere Brunnen mit sich gegenseitig überlagernden Einzugsgebieten größere Grundwasserdepressionen verursachen als unabhängige Einzelentnahmen, was sich auf die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers und damit den Transport und die Verweilzeiten im gesättigten Untergrund auswirkt.

Der Aspekt einer möglichen Abschirmung von belasteten Grundwässern wird in Bezug auf die Beurteilung der Gefährdung im vorliegenden Fall stärker gewichtet. Der ausprägungsindividuelle Wirkungseinfluss wird dementsprechend als „gefährdungsmindernd (–)“ bewertet.

Kriterium 24

**Wertigkeit der Wassergewinnung,
Besicherungsalternativen**

Wirkungseinfluss

Die Wertigkeit, die ein Wasserschutzgebiet für die Trinkwasserversorgung eines Raumes besitzt, wird maßgeblich dadurch bestimmt, ob sich die Wassergewinnung alleinig auf die dortigen Wassergewinnungsanlagen stützt oder ob weitere Fördergebiete zur Bereitstellung von Trinkwasser herangezogen werden bzw. im Bedarfsfall herangezogen werden können.

Kann auf unterschiedliche Wassergewinnungsgebiete zurückgegriffen werden, stellt dies eine zusätzliche Absicherung der Trinkwasserversorgung dar. Im Falle zeitweiliger oder gegebenenfalls auch dauerhafter Beeinträchtigungen der Grundwasserbeschaffenheit, welche eine Außerbetriebnahme von Gewinnungsanlagen oder eine Reduzierung von Entnahmemengen erforderlich werden lassen, können entstehende Fehlkapazitäten gegebenenfalls auch kurzfristig durch eine Verlagerung der Förderung auf ein anderes Wassergewinnungsgebiet ausgeglichen werden, sofern dort freie Förderkapazitäten gegeben sind (vgl. Kriterium 25).

Gestaltet sich ein Wasserschutzgebiet als unentbehrlich und ist anderweitig keine ausreichende Besicherung zur problemlosen Gewährleistung einer geordneten Trinkwasserversorgung im Falle einer relevanten negativen stofflichen Beeinflussung des Grundwassers möglich, schränken sich Handlungs- und Reaktionsspielräume ein, die bei einem möglichen Ausweichen auf andere Gewinnungsgebiete gegeben sein können. Eine Verlagerung der Grundwasserförderung oder eine Stilllegung von Gewinnungsanlagen sind nur dann zu realisieren, wenn ein Wasserschutzgebiet und dessen Gewinnungsanlagen nicht unverzichtbar sind und Besicherungsalternativen aus eigener Kraft oder über einen Fremdwasserbezug von benachbarten Versorgungsunternehmen bestehen.

Im Zuge der fallspezifischen Erhebung der Ausgangssituation im planungsbetroffenen Wasser-

schutzgebiet wird die Betrachtung der Wertigkeit der Wassergewinnung und etwaiger Besicherungsalternativen wie zuvor angeführt durch eine Betrachtung der Höhe der jährlichen Grundwasserentnahme (vgl. Kriterium 22) und der bestehenden freien Förderkapazitäten (vgl. Kriterium 25) ergänzt, um bei der Abwägung der Ausgangs- und Planungssituation die Schutzwürdigkeit des Wasserschutzgebietes umfassend zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sind auch die Betrachtungen zur hydrochemischen Grundwasserbeschaffenheit und etwaigen stofflichen Vorbelastungen zu sehen (vgl. Kriterien 47 und 48).

Kriteriumsdifferenzierung

Die Kriteriumsdifferenzierung soll die Bedeutung der Wassergewinnungsanlagen und damit des Wasserschutzgebietes wie auch gleichzeitig unter Umständen gegebene Versorgungsalternativen berücksichtigen und zu einer ergebnisrelevanten Aussage zusammenführen.

Ist die Wasserversorgung eines Raumes so aufgebaut, dass durch ein mögliches Zurückgreifen auf verschiedene Wasserschutzgebiete oder ein Verlagern der Wasserförderung auf weniger oder nicht gefährdete Fassungen innerhalb des von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Gerinnungsgebietes ausreichende Leistungs- und Förderreserven gegeben sind, die eine Umstellung der Wassergewinnung ermöglichen, oder kann im Bedarfsfall auf eine Fremdbesicherung zurückgegriffen werden, ist dies von dem Fall zu unterscheiden, dass das Wasserschutzgebiet für die Trinkwasserbereitstellung unentbehrlich und eine ausreichende Wasserbeschaffung von anderen Örtlichkeiten über eine Verlagerung der Wasserförderung oder eine Fremdbesicherung nicht möglich ist.

Von besonderer Aussagerelevanz im Hinblick auf die Bewertung der Schutzwürdigkeit des Gewinnungsgebietes und der dortigen Förderanlagen ist zudem, ob es denkbar erscheint, gefährdete Gewinnungsanlagen stillzulegen und die Wassergewinnung dauerhaft zu verlagern. Dies erscheint jedoch allenfalls bei nur ergänzend bedeutsamen Gewinnungen denkbar.

Auf Grundlage dessen werden bei der Differenzierung der „Wertigkeit der Wassergewinnung, Besicherungsalternativen“ (diskret verteilt, nominal skaliert) im Expertensystem als Ausprägungen berücksichtigt:

- 1: Wassergewinnung mit hoher Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle möglich (Eigen- oder Fremdbesicherung)
- 2: Wassergewinnung mit höchster Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle nicht ausreichend oder nicht möglich
- 3: Wassergewinnung mit geringerer Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle möglich. Dauerhafte Stilllegung der gefährdeten Wassergewinnung denkbar

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Mit der Wertigkeit eines Wasserschutzgebietes steigt dessen Schutzwürdigkeit. Einer Wassergewinnung und damit einem Wasserschutzgebiet mit hoher Bedeutung, dessen Förderkapazitäten im Bedarfsfall jedoch durch eine Besicherung von anderer Stelle übernommen werden kann, bietet einen positiv zu bewertenden Spielraum für ein präventives Agieren im Falle drohender oder bereits akuter grundwasserrelevanter Gefährdungen. Es kann daher von einem geringeren Risiko als bei nicht gegebenen Besicherungsalternativen ausgegangen werden, das jedoch dennoch grundsätzlich als „gefährdungsbestätigend (+)“ zu bewerten ist.

Ist ein Wassergewinnungsgebiet als höchstwertig und unentbehrlich einzustufen, ist dies aus Sicht der Versorgungssicherheit als besonders kritisch anzusehen, weswegen dies in Bezug auf die Beurteilung der Gesamtsituation als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ einzustufen ist, zumal wenn die Möglichkeiten einer anderweitigen Bereitstellung von Trinkwasser nicht ausreichend sind. Vorsorgliche Schutzmaßnahmen wie ein zeitweiliges Außerbetriebnehmen von Gewinnungsanlagen oder eine Förderverlage-

rung sind schwieriger und im Allgemeinen eng begrenzt. Im Falle stofflicher Einträge ins Grundwasser in relevantem Umfang kann die ganze Trinkwasserversorgung im Raum gefährdet sein, was den Worst-Case darstellen würde.

Wird die Bedeutung einer Wassergewinnung als geringer eingeschätzt und es als denkbar erachtet, diese dauerhaft außer Betrieb zu nehmen, kann dies ausnahmsweise als „gefährdungsmindernd (-)“ angesehen werden. Auch für den Fall, dass es zu länger anhaltenden Beeinträchtigungen aufgrund von Einträgen im Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb des geplanten Abwasserkanals kommen würde, wäre eine geordnete Wassergewinnung ohne Weiteres sicherzustellen. Vorsorgliche Maßnahmen wie z.B. Außerbetriebnahmen während der Durchführung von Gründungsarbeiten schränken die Wasserversorgung nicht entscheidend ein.

Kriterium 25

Freie Grundwasserförderkapazitäten

Wirkungseinfluss

Als freie Grundwasserförderkapazitäten werden im vorliegenden Fall bestehende, bislang nicht oder aktuell nicht genutzte Förderreserven verstanden, über welche Wassergewinnungsanlagen verfügen. Sofern solche gegeben sind, ermöglichen sie eine Umstellung der Grundwassergewinnung im Sinne einer Verlagerung von Förderanteilen, wobei diese vorsorglich bei potenziellen oder als Reaktion auf akute anthropogene Beeinflussungen und Veränderungen der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit sinnvoll oder gar erforderlich werden können.

Für die Betrachtung im Expertensystem wird es als nicht von Belang erachtet, ob freie Förderkapazitäten im von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet oder in einem anderen Gewinnungsgebiet vorhanden sind, sondern als maßgeblich angesehen, ob solche grundsätzlich und in relevanter Höhe gegeben sind.

Angaben darüber, ob und in welchem Maß nicht ausgeschöpfte Kapazitäten bestehen, können zum einen die Höhe des „nutzbaren Grundwasserdargebots“ als dem Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebots, der für die Wasserversorgung genutzt werden kann (DIN 4049-3 1994) bzw. die Höhe der Wasserrechte zur Grundwassergewinnung im Vergleich zur Grundwasserentnahme liefern.

Zudem lassen sich bei Brunnen, die Wasser über Pumpen fördern, bereits aus dem gefahrenen Betriebsmodus Aussagen zu etwaigen ungenutzten Förderkapazitäten machen. Von potenziellen Beeinträchtigungen nicht oder in geringerem Ausmaß betroffene Brunnen, welche im Normalfall nicht durchgehend, d.h. mit zwischenzeitlichen Förderpausen betrieben werden, kann über eine Veränderung der Förder- und Ruheintervalle mit einer Erhöhung der täglichen Laufzeiten vorübergehend oder auch dauerhaft mehr Wasser entnommen werden. Auch eine Erhöhung der Förderrate pro Minute bzw. Stunde bei gleichbleibender Laufzeit pro Tag erhöht die an einem Standort bereitgestellte Grundwassermenge.

Voraussetzung für eine Erhöhung der Brunnenlaufzeiten und/oder der Entnahmeraten ist, dass dadurch die Leistungsgrenzen der Fassung und des Grundwasserleiters nicht überschritten werden und es zu keinen nachhaltigen schadhafte Veränderungen im Brunnen und dem erschlossenen Gebirge kommt, was anhand brunnen-spezifischer Leistungsbetrachtung mit Berücksichtigung und Auswertung des Wasserandrangs und des Fassungsvermögens fallindividuell zu bewerten ist.

Zudem ist durch Modellbetrachtungen zu bedenken, inwieweit längere Brunnenlaufzeiten ein Ausdehnen des Brunneneinzugsgebietes bewirken, das z.B. mit einem Einbeziehen von Stoffquellen in Verbindung stehen kann, welche bei üblicher Förderung nicht im Zuflussbereich liegen. Nicht zuletzt ist zu prüfen, ob eine erhöhte Förder- oder Laufleistung auch in Einklang mit dem Abnehmerverhalten im Versorgungsgebiet und den bestehenden Kapazitäten von Wasseraufbereitungs- und -speicheranlagen zu bringen ist.

Werden Brunnen bereits im üblichen Alltagsbetrieb ohne Unterbrechung gefahren, sind vorübergehende Außerbetriebnahmen z.B. während Kanalbauphasen weitaus schwieriger zu bewerkstelligen. Solche können jedoch mitunter dann sinnvoll werden, wenn beim Einrichten der Baugrube z.B. ein Verbau erforderlich wird (vgl. Kriterium 15), bei dessen Errichtung ein Einrammen von Spundwänden erfolgt. Diese können zu einem Zusammenbrechen von Feinkornbrücken und Kluftbestegen im Untergrund kommen. Dabei mobilisiertes Sediment, das aufgrund seiner Korngröße nicht in der Gesteinsmatrix zurückgehalten werden kann, fließt der Wassergewinnung mit dem Grundwasserstrom zu und bildet im Rohwasser eine Trübe, welche u.a. durch ein Verstopfen von Filtern zu Problemen in der Rohwasseraufbereitung führen kann. Ist ein zeitweiliges Außerbetriebnehmen von Brunnen nicht möglich, sollten beim Einbringen des Verbaus z.B. auf schonendere Vibrationsverfahren zurückgegriffen und in gefährdeten Brunnen Trübemelder eingebaut werden.

Kriteriumsdifferenzierung

Aufbauend auf die vorangegangenen Betrachtungen werden bezüglich des Abwägungskriteriums „Freie Grundwasserförderkapazitäten“ (diskret verteilt, nominal skaliert) zwei Kriteriumsausprägungen berücksichtigt:

1:	vorhanden
2:	nicht bzw. nicht ausreichend vorhanden

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Aufgrund des eingeschränkten Handlungsspielraumes werden fehlende oder nicht ausreichende freie Förderkapazitäten grundsätzlich als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet, wohingegen bestehende Kapazitäten zur Umstellung der Grundwassergewinnung aus den angeführten Gründen als „gefährdungsmindernd (-)“ eingestuft werden. Besonderes Gewicht im Hinblick auf die übergeordnet formulierte Aussage

zur Schutzwürdigkeit der Wassergewinnung und damit auch zum gesamtheitlichen Grundwassergefährdungsrisiko erhalten die ausprägungsindividuellen Bewertungen erst in Kombination mit den Betrachtungen zur Wertigkeit der Wassergewinnung und den etwaig gegebenen Besicherungsalternativen (vgl. Kriterium 24).

Kriterium 26

Geländemorphologie, Hangneigung

Wirkungseinfluss

Der flächen- und linienhafte Oberflächenabfluss sowie der als Interflow bezeichnete, zeitlich verzögerte seichte unterirdische Zwischenabfluss, welche großteilig der Vorflut und anteilig dem Grundwasser als Reaktion auf Niederschläge und Schneeschmelzen über die Bodenoberfläche und die oberflächennahe Untergrundzone zufließen, setzen auf geneigten Flächen ein, sobald die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate des Bodens überschreitet und die Aufnahmekapazität des oberflächennahen Untergrundes erschöpft ist (DVWK 1999; HÖLTING 2005; KUNTZE 1994).

Abflussrichtung und -stärke richten sich nach der Morphologie und Neigung der Geländeoberfläche und den strukturell vorgegebenen Wasserleitbahnen wie u.a. Runsen, Gräben, Kerben oder Mulden, die aus der natürlichen Erosion und Reliefentwicklung hervorgehen oder künstlich geschaffen wurden und das anfallende Oberflächenwasser bündeln, um es abzuführen.

Fehlen lineare Leitbahnen oder übersteigt das Oberflächenwasseraufkommen die von vorhandenen Leitbahnen abführbare Wassermenge, erfolgt ein flächiger Abfluss. Je größer die Geländeneigung ist, umso schneller bewegt sich oberflächlich und in den oberflächennahen Hohlräumen des Untergrundes fließendes Wasser. Bei geringer Geländeneigung ist die vertikale Versickerung bei ausreichender Durchlässigkeit des ungesättigten Untergrundes höher, während mit stärker werdender Neigung die Bewegungskomponente parallel zur Geländeoberfläche an Bedeutung gewinnt.

Das Gelände- oder Hanggefälle hat nicht nur Einfluss auf die Bewegung des oberflächlichen und oberflächennahen Abflusses, es wirkt sich je nach Situation im Untergrund auch auf die Bewegung des Grundwasserabflusses aus. Dieser orientiert sich großräumig an der allgemeinen morphologischen Geländesituation und dem Mesorelief, dessen Form durch die Anlage des Gewässernetzes maßgeblich beeinflusst wird. Dieses gibt durch seinen Verlauf und seine Eintiefung das natürliche hydraulische Gefälle und die Strömungsrichtung des Grundwassers vor. Der Grundwasserabfluss ist dort, wo er durch künstliche Pumpmulden nicht nachhaltig verändert ist und Fließgewässer ihre natürliche Vorflutfunktion verlieren, wie es z.B. in Teilen der Niederrheinischen Bucht oder im Warndt des Saarlandes beobachtet werden kann, oder dort, wo geologische Verhältnisse die hydraulische Abkopplung eines Fließgewässers vom Grundwasser bedingen¹⁸, den Bächen und Flüssen zugerichtet. Kleinräumlich modifizieren u.a. Mikrorelief, Gesteinswechsel an auskeilenden oder tektonisch verstellten Schichten sowie die Ausrichtung und Vernetzung des Trenngefüges die Strömungsrichtung des Grundwassers.

Abwasserkanäle, welche als Freispiegelleitungen konzipiert sind, orientieren sich im Verlauf zumeist an Tiefenlinien im Gelände, welche die Ableitung des Abwassers vom Ort des Anfalls zum Ort der Abwasserbehandlung vereinfachen. Innerhalb von Mittelgebirgsregionen wird in der Mehrzahl der Betrachtungsfälle das Gelände damit zum Abwasserkanal hin und im Weiteren mit diesem einfallen. Im Flachland ist das Geländeeinfallen meist geringer, jedoch wird sich die Siedlungsentwässerung auch dort an natürlichen Tiefenlinien orientieren, um eine Abwasserableitung zu erleichtern. Lokal können sich bedingt durch die Geländestruktur oder infolge der Lage der Abwasserbehandlungsanlage abweichende Situationen ergeben, die einen Abwassertransport entgegen des Geländegefälles erfordern. Dies macht größere Verlegungstiefen (vgl. Kriterium 3) bzw. die Verwendung von Druck- oder Unterdruckleitungen (vgl. Kriterium 2) erforderlich.

¹⁸ z.B. bei Grundwasser tieferer Grundwasserstockwerke oder Fließgewässern mit kolmatierter Gewässersohle

Je nach Hangneigung und Geländesituation gestalten sich Kanalbaumaßnahmen damit unterschiedlich schwierig und aufwändig. So können z.B. bei hohen Gefällen Abstürze im Kanalverlauf notwendig werden, die eine zusätzliche potenzielle Gefährdung des Grundwassers darstellen, da sie einen größeren baulichen Eingriff in den Untergrund darstellen.

In Straßenleitungen sollte nach Angaben von BISCHOFBERGER (in LECHER 2001) das größte Gefälle dem Rohrdurchmesser des Abwasserkanals in Zentimetern und das kleinste dem Rohrdurchmesser in Millimetern entsprechen. Dies bedeutet, dass z.B. bei einem Abwasserkanal mit DN/ID 400 das Gefälle maximal 1 : 40, also 2,5 %, und minimal 1 : 400, also 0,25 %, betragen sollte. Bei Hausanschlüssen gilt für das größte Gefälle der halbe Rohrdurchmesser in Zentimetern und für das kleinste Gefälle der halbe Rohrdurchmesser in Millimetern. Damit sollte das maximale Gefälle für eine Leitung mit DN/ID 100 bei 1 : 5, also 20 %, das minimale Gefälle bei 1 : 50, also 2 %, liegen.

Kriteriumsdifferenzierung

Zur Differenzierung aussagekräftiger Ausprägungen im Hinblick auf Hangneigung bzw. Geländemorphologie im Umfeld der geplanten Kanaltrasse ist eine Klassifizierung erforderlich. Hierzu kann auf verschiedene Ansätze aus der Fach- und Lehrbuchliteratur sowie auf erfolgte wissenschaftliche Untersuchungen zurückgegriffen werden.

Das DWA-Merkblatt M 146 (2004) z.B. schlägt bei der Ansprache der Hangneigung die Prozentintervalle „<4 %“, „4 bis 10 %“ und „>10 %“, vor, während MONZEL (1992) in seinen Empfehlungen zur Positionierung abwassertechnischer Einrichtungen ebenso wie eine Studie des damaligen Abwasserverbandes Saar und der Universität des Saarlandes (AVS 1992) zur gleichen Thematik Gradintervalle „<5°“, „5 bis 20°“ und „>20°“ berücksichtigt.

GREWING (1994) versucht neben der Hangneigung auch die Geländemorphologie mit in eine Klassifizierung einzuschließen und gliedert in

ihrer Arbeit zur Bewertung anthropogener Grundwasserbeeinträchtigungen die Reliefeinheiten „Talzone“, „Bergzone“ und „Hangzone“ aus, denen sie „Haupthangneigungen“ von „<3 %“, „3 bis 12 %“ und „>12 %“ zuordnet. Zwar berücksichtigen auch MONZEL (1992) und AVS (1992) Reliefeinheiten, jedoch verzichten diese auf eine direkte Kombination mit der Geländeneigung.

Ein sehr weitreichender Ansatz zur Ansprache der Geländemorphologie findet sich in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994/2005), die zunächst von drei Reliefformtypen ausgeht, die als „Kulminationsbereich“, „Hang“ und „Tiefenbereich“ bezeichnet werden. Diese werden im Einzelnen morphologisch detailliert differenziert, wobei u.a. versucht wird, diese in Relation zu charakteristischen Hangneigungen zu setzen. Dies mündet aufgrund der Vielschichtigkeit der durch die Kartieranleitung berücksichtigten Faktoren zur Ansprache jedoch in einer sehr komplexen Betrachtung.

RICHTER (1965) führt in seiner Arbeit zur Bodenerosion in Deutschland verschiedene morphologische Klassifikationsansätze an. Unter Berücksichtigung der Relieftypen gliedert er „Flachrelief“ mit mittlerer Hangneigung bis 2°, „Hügelrelief“ und „Kuppenrelief“ mit mittleren Hangneigungen von 2 bis 6° sowie „Kammrelief“ mit mittlerer Hangneigung von 6 bis 12° und „zerschnittene Hochflächen“ aus. In Abhängigkeit von der Hangform gestreckt, konvex oder konkav gibt er umfangreiche Grenz- und Durchschnittswerte für Neigungen an, bei denen er sich auf Feldmessungen beruft. Aus Sicht der Bodenerosion sieht RICHTER aussagebedeutende Grenzen bei 2°, 6° und 12° Neigung.

Eine Abwägung der verschiedenen Klassifikationen im Hinblick auf deren Eignung im vorliegenden Fall zeigt, dass diese z.T. sehr komplex sind und spezifische Betrachtungsschwerpunkte berücksichtigen, welche für eine Betrachtung im Expertensystem nicht erforderlich sind. Die vom DWA-Merkblatt M 146 sowie von MONZEL, AVS und GREWING angeführten Klassengrenzen sind unterschiedlich, werden aber im Einzelnen nicht begründet. Als Klassifizierungsgrundlage wird sich daher auf die Bodenkundliche Kartieranlei-

tung (AG BODEN 1994/2005) zur Klassifizierung der Hangneigung bezogen. Sie ist thematisch weitgehend neutral und anerkannt.

Die dort vorgeschlagenen sechs Hangneigungsstufen werden zur besseren Handhabbarkeit und zur Festigung der Ergebnisaussage in drei Klassen zusammengefasst. Die Angabe der Hangneigung erfolgt in Grad und Prozent. Dabei werden die Hangneigungsstufen „nicht geneigt (N0)“ mit Hangneigung $<1^\circ$ ($<2\%$), „sehr schwach geneigt (N1)“ mit Hangneigung 1 bis 2° (2 bis 3,5 %) und „schwach geneigt (N2)“ mit Hangneigung 2 bis 5° (3,5 bis 9 %) gemeinsam betrachtet, ebenso die Stufen „stark geneigt (N4)“ mit Hangneigung 10 bis 15° (18 bis 27 %), „sehr stark geneigt (N5)“ mit Hangneigung 15 bis 20° (27 bis 36 %) und „steil (N6)“ mit Hangneigung $>20^\circ$ ($>36\%$). Hinzu kommt eine Zwischenklasse „mittel geneigt (N3)“ mit Hangneigung 5 bis 10° (9 bis 18 %).

Die durch Neigungsintervalle definierten Klassen werden durch eine kurze verbale Beschreibung der durch sie repräsentierten geländemorphologischen Situation ergänzt, die jedoch lediglich orientierenden Charakter besitzen soll. Es resultieren damit für die Abwägung „Geländemorphologie, Hangneigung“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) die Ausprägungen:

- 1: Gelände kaum oder nur schwach reliefiert bzw. geneigt
($<9\%$ bzw. $<5^\circ$)
- 2: Gelände reliefiert bzw. mittel geneigt
(9 bis 18 % bzw. 5 bis 10°)
- 3: Gelände stark reliefiert bzw. geneigt bis steil
($>18\%$ bzw. $>10^\circ$)

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die Hangneigung besitzt wie dargestellt unmittelbaren Einfluss auf den Oberflächenabfluss und dessen Verhältnis zur Versickerung. Bei flachem oder schwach reliefiertem Gelände wird der Niederschlag durch die Unebenheiten des Geländes sowie die Vegetation länger zurück-

gehalten, so dass der Abfluss verlangsamt und vermindert erfolgt. Die vertikale Bewegungskomponente und damit die Verweildauer in der Untergrundmatrix erhöhen sich (RICHTER 1965). Oberflächenwasser wird, sofern es nicht kontrolliert in die Siedlungsentwässerung oder Vorflut abgeleitet wird, mit höherer Wahrscheinlichkeit an Ort und Stelle versickern und in geringerem Maße der Baugrube zufließen. Auch das natürliche hydraulische Gefälle des Grundwassers ist in flachem Gelände für gewöhnlich geringer, was die Ausbreitung etwaig im Baustellenbereich versickernder wassergefährdender Stoffe nach Unfällen oder Leckagen an Maschinen oder Fahrzeugen beeinflusst. Dies wird als „gefährdungsmindernd (-)“ bewertet.

In stark geneigtem oder steilem Gelände erfolgt der Oberflächenabfluss dagegen schnell und oftmals flächig. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Untergrundes kommt nicht vollends zur Wirkung, da die in Gefällerrichtung verlaufende Wasserbewegung an Bedeutung gewinnt. Der Oberflächenabfluss steigt auf Kosten der Versickerung (RICHTER 1965). Die Wahrscheinlichkeit erhöht sich, dass unter Umständen belastetes Oberflächenwasser zur Baugrube hin abfließt und dort in den Untergrund übergeht, wo die natürlichen Deckschichten verringert sind und ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für das Grundwasser besteht.

Mit einem stärkeren Geländeeinfallen ist in der Regel auch ein höheres natürliches hydraulisches Gefälle des Grundwassers gegeben, das die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers und damit auch die Ausbreitung von Stoffen erhöht, welche mit dem Grundwasserstrom transportiert werden. Zudem wird sich eine Bauausführung bei starkem Geländegefälle grundsätzlich als aufwändiger und damit als problematischer gestalten. Eine hohe Hangneigung wird daher als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ eingestuft.

Fällt die Hangneigung im Bereich der Trassenführung in die mittlere Neigungsklasse, so schwächen sich die vorgenannten Gefahren ab, werden aber als höher als bei geringem Gefälle bewertet. Dementsprechend wird dieser Fall als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet.

Kriterium 27

Orientierung des Oberflächenabflusses

Wirkungseinfluss

Wie bei der Betrachtung der Geländemorphologie und Hangneigung bereits angeführt (vgl. Kriterium 26), richten sich Oberflächenabfluss und oberflächennaher Grundwasserabfluss natürlicherweise nach dem Relief. In Abhängigkeit zur Geländesteilheit, der Niederschlagsstärke sowie der Wasseraufnahmefähigkeit des Untergrundes und der Sickergeschwindigkeit in der ungesättigten Zone dominiert die oberflächenparallele oder die vertikale Bewegung (DVWK 1999; HÖLTING 2005).

Zwar wird zumindest bei Freispiegelleitungen und -kanälen das umgebende Gelände in der Regel mehr oder minder zur Abwasserkanaltrasse hin einfallen (vgl. Kriterium 26), jedoch kann z.B. bei einer Kanalführung innerhalb einer Gewässeraue das Längsgefälle des Trassenumfeldes über dessen Quergefälle liegen bzw. Leitbahnen wie z.B. Drainagegräben vorhanden sein, in denen Oberflächenabfluss und Interflow abgeführt werden, wodurch im Baustellenbereich anfallendes Oberflächenwasser nicht zur Baugrube hinfließt, sondern längs zur Kanaltrasse abströmt, so dass ein Zutreten in die Baugrube weitgehend unterbleibt.

Für die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung ist es von Bedeutung zu wissen, ob das Risiko besteht, dass etwaige Tropfverluste aus Maschinen und Fahrzeugen oder anderweitige wassergefährdende Stoffe oder bakterielle Einträge (vgl. Kriterium 31) aus dem Baustellenbereich und dessen näherem Umfeld, welche z.B. bei Niederschlägen vom anfallenden Oberflächenwasser abgeschwemmt werden, zur Baugrube abfließen und gegebenenfalls in diese eintreten können.

Die letztendliche Relevanz der Betrachtung der Orientierung des Oberflächenabflusses wird jedoch erst in Kombination mit Kenntnissen zur Hangneigung (vgl. Kriterium 26) sowie in Ergänzung zur gegebenen Flächenversiegelung (vgl. Kriterium 28) deutlich und aussagebedeutsam.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung des Abwägungskriteriums „Orientierung des Oberflächenabflusses“ (diskret verteilt, nominal skaliert) beschränkt sich auf zwei Ausprägungen:

- | |
|---|
| <p>1: Oberflächenabfluss in relevantem Maß zur Baugrube hin</p> <p>2: Oberflächenabfluss nicht in relevantem Maß zur Baugrube hin (von Baugrube weg oder großteilig parallel dazu orientiert)</p> |
|---|

Ein gänzlich Vermeiden eines Zutretens von Oberflächenwasser wird meist nicht möglich sein. Es ist im demnach abzuschätzen, ob ein etwaiger Zufluss von Oberflächenwasser in einem relevanten Maß erfolgen könnte.

Was in diesem Fall als „relevant“ zu beurteilen ist, kann nur vom Nutzer des Expertensystems fallindividuell bewertet werden und bedarf einer objektiven Einschätzung. Dies betont an dieser Stelle noch einmal die erforderliche sorgfältige Recherche und Inwertsetzung der planungsrelevanten Ausgangssituation und das bedachte Nutzen eines Entscheidungshilfesystems (vgl. Kap. 1.5).

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Bei der Bewertung der Orientierung des Oberflächenabflusses wird besonders deutlich, dass ausprägungsindividuelle Werturteile alleinig, d.h. ohne gleichzeitige Betrachtung weiterer Kriterien – hier Hangneigung und Flächenversiegelung – nur eine orientierende Einschätzung des Grundwassergefährdungsrisikos zulassen.

Ein Abfluss des im Baustellenbereich anfallenden Oberflächenwassers zur Baugrube hin erhöht die Gefahr, dass stoffliche Belastungen dort in den Untergrund eingeschwemmt werden, wo die Sensibilität des Grundwassers durch eine Reduzierung oder gar völlige Abdeckung der Deckschichten (vgl. Kriterium 45) erhöht ist. Dies ist grundsätzlich als „gefährdungsbestäti-

gend (+)“ zu bewerten. Je nach Ausprägung der Grundwasserüberdeckung (vgl. Kap. 1.4) können bereits vergleichsweise geringmächtige Schichten von höchster Relevanz für die „Natural Attenuation“ des Untergrundes sein. So reichen nach allgemein anerkannter Meinung z.B. Lockergesteinsdeckschichten aus tonigem Schluff mit einer Mächtigkeit 2,5 m aus, um das Grundwasser wirksam abzuschirmen (BOLSENKÖTTER 1984). Es könnte weitreichende Auswirkungen auf das Grundwasser haben, wenn ebensolche Schichten durch eine Baugrube kurzgeschlossen und über eintretendes Oberflächenwasser wassergefährdende Stoffe oder Bakterien in den sensibilisierten Untergrund übergehen würden.

Umgekehrt kann es als gewisse Risikoentschärfung gewertet werden, wenn der Oberflächenabfluss nicht in relevantem Maß zur Baugrube hin orientiert ist und die Gefahr des Eintrags von Stoffen damit weniger hoch ist. Dies wird daher als „gefährdungsmindernd (-)“ eingestuft.

Kriterium 28

Flächenversiegelung

Wirkungseinfluss

Eine hohe Oberflächenversiegelung ist aus Sicht einer nachhaltigen Grundwasserressourcensicherung zunächst grundsätzlich als negativ zu betrachten, da das Reduzieren oder gar Verhindern der Niederschlagsversickerung die Wasserbilanz eines Raumes negativ beeinflusst.

Die ökologische, pedologische und wasserwirtschaftliche Relevanz einer Flächenversiegelung richtet sich immer nach deren Ausmaß (BLUME in DVWK 1999). Eine Versiegelung vermindert oder unterbindet die Infiltrationsfähigkeit einer Oberfläche und somit die Neubildung von Grundwasser (DVWK 1999). Insbesondere bei einer Siedlungsentwässerung im Mischsystem (vgl. Kriterium 9) wird Niederschlagswasser unwiederbringlich aus dem Bilanzgebiet abgeleitet und steht nicht mehr zur Grundwasserneubildung zur Verfügung. Im Trennsystem und in modifizierten Systemen wird dieser Tatsache

durch eine zumindest anteilige Entkoppelung von Schmutzwasser und Niederschlagswasser entgegengewirkt. Vor allem in Wassergewinnungsgebieten mit einem hohen Anteil an versiegelten Flächen kann dies auf lange Sicht zu Problemen führen. Mit der Flächenversiegelung wird gleichzeitig auch der Bodenwasserhaushalt dauerhaft verändert und der Oberflächenabfluss beschleunigt.

Die Versiegelung eines Raumes zeigt ein mehr oder minder mosaikhaftes Nebeneinander von versiegelten und offenen Flächen. Zur Einschätzung der Geländesituation ist es von Relevanz, wie sich das direkte Umfeld der geplanten Abwasserkanalführung darstellt, d.h. ob die Kanaltrasse z.B. durch Offenland oder durch dichte Siedlungsbebauung geführt wird. Beide Situationen sind unterschiedlich zu bewerten. Bei hoher Versiegelungsdichte geht ein vergleichsweise geringeres Gefährdungsrisiko von der Baumaßnahme aus, da weite Teile der baugrubenumgebenden Erdoberfläche gegen stoffliche Zutritte gesichert sind. Bei einem geringen Versiegelungsgrad zeigt sich der Untergrund dagegen deutlich empfindlicher.

Im Hinblick auf den Grundwasserschutz kann eine bereichsweise Flächenversiegelung damit durchaus als positiv angesehen werden, vor allem wenn sich diese auf das direkte Umfeld eines geplanten Abwasserkanals bezieht. Ist dieses versiegelt, wird die Wahrscheinlichkeit eines Versickerns wassergefährdender Stoffe im Baustellenumfeld während der Kanalbauphase reduziert und beschränkt sich nur im Bereich der Baugrube(n). Anfallendes, gegebenenfalls belastetes Oberflächenwasser kann kontrolliert abgeführt werden.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Versiegelungskonstellation im Trassenumfeld ist zu erheben. Hierzu sollen anhand verbal formulierter, durch prozentuale Versiegelungswerte ergänzte Ausprägungen Fälle unterschieden werden, welche von Entscheidungsbedeutung sein und anderweitige Abwägungskriterien (vgl. Kriterien 26 und 27) ergänzen können. Die Angabe von mit den Versiegelungsklassen oft-

mals korrelierenden Oberflächennutzungen vereinfacht eine Zuordnung, darf jedoch keinesfalls als feststehend, vollständig oder alleinig zuweisungsrelevant verstanden werden.

Zur Differenzierung der Flächenversiegelung kann u.a. auf eine von HÄRIG (1991) in seiner Arbeit zu Auswirkungen des Wasseraustausches zwischen undichten Kanalisationssystemen und dem Aquifer auf das Grundwasser vorgeschlagene Klassifikation der Versiegelung zurückgegriffen werden. Dort werden mäßige, mittlere, starke und sehr starke Versiegelungen unterschieden und anhand von Prozentangaben und Baunutzungsbeispielen gegeneinander abgegrenzt. Einfamilienhäuser, Kleingärten und Zeilenbausiedlungen sind einer mäßigen Versiegelung (10 bis 50 %), Blockrandbebauung und Nachkriegsneubauten einer mittleren Versiegelung (45 bis 75 %) zugeordnet. Städtische Baugebiete mit Blockrandbebauung sowie ältere Industrieanlagen sind als stark (70 bis 90 %), unzerstörte Blockbaugebiete der Innenstadtbezirke und Industrieflächen, die in jüngerer Zeit entstanden oder verändert wurden, sehr stark flächenversiegelt (85 bis 100 %).

Eine Übernahme des Ansatzes im Expertensystem gestaltet sich schwierig, da er sich auf eine Betrachtung bebauter Gebiete beschränkt und offene oder anderweitig genutzte Flächen unberücksichtigt lässt. Dies erscheint bei einer Fragestellung innerhalb von Wasserschutzgebieten nicht sinnvoll, da dort in der Regel von großen Offenland- und Waldanteilen ausgegangen werden kann.

Besser geeignet ist eine Klassifizierung, die auf einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes (1994 in DVWK 1999) zum Versiegelungsgrad verschiedener Siedlungstypen und Nutzungen aufbaut, in der neben Wohnnutzung auch Versorgungsflächen, Offen- und Grünflächen als bauliche Nutzungstypen Berücksichtigung finden. Die dort sechs Versiegelungsklassen I bis VI werden für die Verwendung im Expertensystem zu drei Klassen zusammengefasst. Die textlichen Ausführungen werden exzerpiert und ergänzt, um Beispiele für typische Raumnutzungen der einzelnen Klassen zu geben.

Es resultieren für das Kriterium „Flächenversiegelung“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert¹⁹) hieraus folgende Ausprägungsklassen:

- | | |
|----|--|
| 1: | geringe Versiegelung (<30 %)
(z.B. Offenland, Wald, Brache, aufgelockerte Siedlungen mit Einzel- und Reihenhausbebauung) |
| 2: | mittlere Versiegelung (30 bis 70 %)
(z.B. stärker verdichtete Siedlungen mit Einzel-, Reihen-, Hochhaus-, Blockrandbebauung, aufgelockerte Gewerbe- und Industrieparks) |
| 3: | hohe Versiegelung (>70 %)
(z.B. Blockbebauung, verdichtete Gewerbe- und Industrieflächen) |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die Möglichkeit einer kontrollierten Ableitung von potenziell belasteten Oberflächenwässern stellt bei den ausprägungsindividuellen Gefährdungseinschätzungen den maßgeblichen Beurteilungsfaktor dar. Ist die Oberflächenversiegelung im Trassenumfeld gering, wie z.B. bei Offenland oder aufgelockerten Siedlungen mit hohen Grün- und Offenflächenanteilen, wird im Baustellenbereich anfallendes Oberflächenwasser allenfalls anteilig von einem Versickern in den Untergrund abgehalten und sicher abgeleitet. Bei möglichen Unfällen oder Leckagen mit austretenden wassergefährdenden Stoffen werden diese mit höherer Wahrscheinlichkeit im Untergrund versickern. Dies ist als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu bewerten.

Ist die Umgebung des geplanten Abwasserkanals stärker versiegelt, wie bei z.B. stärker verdichteten Siedlungen mit Einzel-, Reihen-, Hochhaus-, Blockrandbebauung oder in aufgelockerten Gewerbe- und Industrieparks oft der Fall, kann gemutmaßt werden, dass zwar nicht überall, jedoch zumindest bereichsweise im Verlauf der Kanalführung eine schützende Oberflächenversiegelung gegeben ist. Abschnittsweise muss jedoch noch immer mit größeren un-

¹⁹ Angaben zum Versiegelungsgrad

versiegelten Bereichen gerechnet werden, weswegen eine mittlere Versiegelung „gefährdungsbestätigend (+)“ eingestuft wird.

Dagegen kann z.B. bei dichter Blockbebauung oder verdichteten Gewerbe- und Industrieflächen mit einem vergleichsweise geringen Anteil unversiegelter Fläche von einem „gefährdungsmindernden (-)“ Wirkungseinfluss ausgegangen werden, da die Flächenversiegelung hoch ist und anfallendes, unter Umständen belastetes Oberflächenwasser nicht unkontrolliert in den Untergrund übergehen kann.

Kriterium 29

Zugänglichkeit, Platzsituation

Wirkungseinfluss

Hinsichtlich der potenziellen Grundwassergefährdung während der Bauphase einer Abwasserkanalisation sind auch die Zugänglichkeit und Platzverhältnisse im Umfeld der Kanaltrasse zu beachten. Bei der Errichtung eines Abwasserkanals und dessen Bestandteilen wie z.B. Schächten (vgl. Kriterien 14) kommen je nach Bauweise und Bauverfahrenstechnik (vgl. Kriterium 15) verschiedene Fahrzeuge, Maschinen und Großgerätschaften wie u.a. Bagger, Kräne, LKW, Bohr- und Fräsmaschinen zum Einsatz.

Diese müssen den Baubereich problemlos erreichen und vor Ort sicher eingesetzt werden können. Gestaltet sich die Erreichbarkeit der Baustelle für Fahrzeuge schwierig und/oder ist diese an besondere Risiken gebunden, erhöht dies die potenzielle Grundwassergefährdung. Je schwieriger die Anfahrbarkeit des Baubereiches und je schwieriger, d.h. vor allem geringer die Platzverhältnisse, desto höher ist das Risiko, dass es zu unvorhersehbaren Zwischenfällen oder gar Unfällen mit möglicherweise bedeutendem Einfluss auf das Grundwasser kommt.

Die Zugänglichkeit einer Baustelle ist als problematisch anzusehen, wenn eine zureichend ausgebaute Verkehrsanbindung fehlt und/oder die örtlichen Freiraum- und Platzverhältnisse beengt und Hindernisse im Trassenumfeld zu

überwinden sind, welche den Einsatz von Maschinen, Fahrzeugen und Gerätschaften einschränken, erschweren oder gar gefährden. Selbiges gilt bei schwierigen Gelände-, insbesondere Boden- und Reliefverhältnissen, wie einem nicht ausreichend belastbaren Untergrund, der die Anfahrbarkeit und Standsicherheit einschränkt, wie er z.B. vielfach in Talauen gegeben ist. Auch zu überwindende steile Geländeabschnitte wie Hangkanten und Böschungen können umfangreiche Vorbereitungsmaßnahmen für einen sicheren Maschinen- und Fahrzeugeinsatz erfordern.

Die Berücksichtigung vorsorglicher Schutzmaßnahmen im Zuge der Baustelleneinrichtung (vgl. Kriterium 18) wie bodenverbessernde Maßnahmen im Bereich der Zuwegung und des Trassenumfeldes mit situationsangepasster Aufschotterung oder einem Einbau von Geotextil oder aber gegebenenfalls vorübergehende dichte Wasserrinnen mit Leichtflüssigkeitsabscheidern können das örtliche Gefährdungsrisiko wirksam verringern. Da auch sie bauliche Eingriffe in den Untergrund erfordern, haben sie so zu erfolgen, dass Grundwassergefährdungen nach Möglichkeit vermieden bzw. minimiert werden (FFSV 2002).

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung erfolgt nach der zusammenfassenden Beurteilung, ob Einschränkungen und Probleme hinsichtlich der Zugänglichkeit des vorgesehenen Baubereich abzusehen sind oder ob diese ausgeschlossen werden können. Dabei wird sich auf zwei Ausprägungen im Sinne von „Ja“/„Nein“ beschränkt. Trifft eine Ausprägung nicht zu, ist damit impliziert, dass die zweite als Gegenereignis zutreffen muss.

Als Ausprägungen des Kriteriums „Zugänglichkeit, Platzsituation“ (diskret verteilt, nominal skaliert) werden im Expertensystem berücksichtigt:

- | |
|---|
| <p>1: problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse sind sichergestellt</p> |
|---|

2: problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse sind nicht bzw. nicht überall sichergestellt

Die Zugänglichkeit ist z.B. dann als kritisch anzusehen, wenn keine ausgebaute Wegeanbindung zur Baustelle vorhanden ist und die vorübergehende Einrichtung einer solchen nicht geplant bzw. nicht möglich ist oder eine Anbindung vorliegt, die unter Umständen nicht ausreicht. Ebenso wird es als besonders risikoträchtig eingestuft, wenn z.B. Hangkanten, Böschungen, Gräben oder Gewässer außerhalb von Brücken zu überwinden sind, vernässtes, steiles oder schwer zugängliches Terrain vorliegt oder aber von eingeschränkten Platzverhältnissen im Arbeitsbereich z.B. durch Baumbestand oder Bebauung ausgegangen werden muss.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Können die Zugänglichkeit zum Baubereich und die dortigen Platzverhältnisse als unproblematisch eingestuft werden, ist im Hinblick auf das Grundwassergefährdungspotenzial der geplanten Maßnahme von einem „gefährdungsmindernden (–)“ Einfluss auszugehen. Probleme bei der Erreichbarkeit des Bauplatzes und räumliche Einschränkungen beim Einsatz erforderlicher Fahrzeuge, Maschinen und Gerätschaften sind nicht absehbar und treten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf. Unvorhersehbare Zwischenfälle und Unfälle können hierbei nicht berücksichtigt werden.

Sind Schwierigkeiten beim Zugang zur geplanten Trasse und/oder bei der Ausführung der Baumaßnahme aufgrund der gegebenen Platzsituation nicht auszuschließen oder gar absehbar, müssen vor Beginn der Bauarbeiten geeignete Vorsorgemaßnahmen bedacht und umgesetzt werden, welche zu einer sicheren Maßnahmenumsetzung beitragen. Hierfür erforderliche bauliche Eingriffe in den Untergrund sind auf die Bedürfnisse des Grundwasserschutzes innerhalb von Wasserschutzgebieten abzustimmen. Eine derartige Situation wirkt „gefährdungsbestätigend (+)“.

Kriterium 30

Oberflächengewässer mit hydraulischem Einfluss

Wirkungseinfluss

Oberflächengewässer zeigen sich in der Regel in Bezug auf das Grundwasser²⁰ von hydraulischer Bedeutung. Bei einem im Mittelgebirgsraum üblicherweise gegebenen hydraulischen Gefälle zum Oberflächengewässer hin erfüllt dieses die Funktion der Vorflut, so dass sich ein effluenter Abfluss aus dem Grundwasser in das Fließgewässer einstellt.

Kommt es z.B. bei Hochwasserereignissen durch das Ansteigen des Pegels im Fließgewässer zu einem zeitweiligen oder infolge künstlicher Grundwasserdepressionen durch Wasserentnahmen zu Trinkwasser-, Brauchwasser- oder Sumpfungszwecken zu einem permanenten Umkehren des hydraulischen Gefälles zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser, stellt sich ein influenter Abfluss ein, bei dem Uferfiltrat ins Grundwasser übergeht und das Oberflächengewässer seine Vorflutfunktion verliert (HÖLTING 2005; MÜLLER 1999).

Ob es zu einem Übertritt von Oberflächenwasser in das Grundwasser kommt, kann durch eine Analyse der im Grundwasser ansässigen Biozöosen geklärt werden, da die Zusammensetzung der Grundwasserfauna einen etwaigen Oberflächenwassereinfluss widerspiegelt. Sind im Grundwasser phototrophe Organismen wie Algen und Cyanobakterien nachzuweisen, welche für oberirdische aquatische Lebensräume typisch sind, im Grundwasser jedoch für gewöhnlich fehlen, da es dort an dem für ihren Stoffwechsel erforderlichen Licht mangelt, belegen diese zumindest zeitweilige influente Strömungsbedingungen. Über eine Erfassung zeitlicher Veränderungen der Zusammensetzung und Stärke entsprechender Arten im Grundwasser lassen sich somit Oberflächenwassereinträ-

²⁰ bezogen auf das Grundwasser im obersten Grundwasserstockwerk; dies gilt nicht für tiefere Stockwerke, die durch aushaltende, hydraulisch trennende Grundwassernichtleitende Schichten gegen das oberste Grundwasservorkommen abgegrenzt sind

ge in das Grundwasser belegen und bewerten (HAHN 2007; GRIEBLER 2007).

Fließgewässer können, sofern keine besonderen hydraulischen Bedingungen, wie z.B. eine Kolmation des Gewässerbettes vorliegen und sie bei Grundwasserentnahmen durch Brunnen in ihrem Umfeld die Vorflutfunktion nicht verlieren, bewirken, dass mit dem oberflächennahen Grundwasser und Interflow transportierte Stoffe abgefangen und abgeleitet werden, ohne dass diese den Bereich des Grundwasserleiters fernab des Fließgewässers erreichen.

Diese Möglichkeit erscheint im Hinblick auf die Lagekonstellation zwischen Trinkwassergewinnung und geplanter Abwasserkanalisation von besonders beachtungswürdiger Bedeutung. Ist in einem Wassergewinnungsgebiet ein Oberflächengewässer vorhanden, das unter Umständen während der Bauphase oder während des späteren Kanalbetriebs durch Leckagen in den Untergrund übergehende Stoffe abführen kann, reduziert dies die Sensibilität der Wassergewinnung und damit die potenzielle Gefährdung des geförderten Grundwassers.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung zielt auf die Ermittlung der Existenz und der hydraulischen Bedeutung eines Oberflächengewässers zwischen Kanaltrasse und Wassergewinnung ab und damit auf die Frage, ob im Einzelfall aufgrund des Einflusses eines Baches als hydraulischer Grenze von einer Gefährdungsreduzierung für das Grundwasser ausgegangen werden kann.

Die alleinige Erhebung des Vorhandenseins eines Fließgewässers zwischen Kanaltrasse und Wassergewinnung ist dabei nicht ausreichend, da diese noch keine Aussage dazu zulässt, ob dieses von hydraulischer Bedeutung für den Grundwasserabstrom ist. So haben z.B. im Buntsandstein des südwestlichen Saarlandes ausgedehnte Grundwasserentnahmen dafür gesorgt, dass die Bäche des Warndts ihre Funktion als Vorfluter in weiten Teilen verloren und an künstliche Pumpmulden abgegeben haben. Sie wären für ein Abfangen etwaiger kanalbürtiger

Stoffeinträge ohne Bedeutung. Selbiges gelte auch, wenn etwaige Stoffeinträge ein tieferes Grundwasserstockwerk als das mit dem Fließgewässer in Kontakt stehende betreffen.

Es wird daher gezielt berücksichtigt, ob ein aufgrund seiner hydraulischen Einbindung für das Abfangen möglicher kanal- oder baustellenbürtiger Einträge geeignetes Oberflächengewässer zwischen Abwasserkanal und Wassergewinnung existiert. Hieraus ergeben sich für das Abwägungskriterium „Oberflächengewässer mit hydraulischem Einfluss“ (diskret verteilt, nominal skaliert) folgende zwei Ausprägungen:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: zwischen Abwasserkanal und Wassergewinnung ist ein Oberflächengewässer vorhanden, welches in der Lage ist, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen 2: ein entsprechendes Oberflächengewässer ist nicht vorhanden |
|---|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Der Fall, dass ein hydraulisch eingebundenes Oberflächengewässer mit entsprechender Eignung im betrachteten Wasserschutzgebiet vorhanden ist, ist als „deutlich gefährdungsmindernd (––)“ anzusehen, da der durch den Abwasserkanal und die Baumaßnahme potenziell beeinflusste Bereich des Grundwasserleiters von dem Teil, aus dem die Gewinnung ihr Wasser bezieht, getrennt ist. Die Existenz und Funktion des Gewässers bieten eine zusätzliche Abschirmung des genutzten Grundwassers.

Hat ein Fließgewässer durch eine Grundwasserentnahme seine Vorflutfunktion verloren hat, ist es gegebenenfalls möglich, dass diese durch eine zeitweilige Verlagerung der Grundwasserentnahme (vgl. Kriterien 24 und 25) bzw. eine Verringerung der Entnahmeleistung und damit der Ausbreitung des Entnahmetrichters wieder herzustellen ist. Ist dies z.B. für den Zeitraum der Kanalbaumaßnahme möglich, verringert dies zumindest vorübergehend die potenzielle Grundwassergefährdung.

Umgekehrt können erhöhte Grundwasserentnahmeraten dazu führen, dass die bis dato bestehende hydraulische Barrierewirkung eines Fließgewässers verloren geht und durch ein Unterströmen des Gewässers stofflich belastetes Grundwasser aus dem Bereich des Grundwasserleiters fernab des Fließgewässers zur Trinkwassergewinnung geführt wird, was deren Sensibilität gegenüber kanalbürtigen Stoffzutritten erhöht. Die Existenz eines Oberflächengewässers mit hydraulischem Einfluss, welches in der Lage ist entsprechende Stoffeinträge abzufangen, kann demnach auch temporär sein.

Ist ein Oberflächengewässer vorhanden, dieses jedoch hydraulisch nicht von Bedeutung bzw. nicht in der Lage, etwaige Stoffeinträge aus dem Abwasserkanal abzuleiten bzw. ist überhaupt kein Oberflächengewässer zwischen geplantem Abwasserkanal und dem Trassenverlauf vorhanden, ist dies hinsichtlich der potenziellen Grundwassergefährdung „neutral (o)“ zu werten.

Kriterium 31

Überschwemmungsgefahr

Wirkungseinfluss

Überflutungen infolge von Hochwässern oder Starkniederschlägen können während der Bauphase dazu führen, dass der durch die Bauarbeiten und die dabei erforderliche Deckschichtenreduzierung bereits sensibilisierte Untergrund einer zusätzlichen Belastung durch stoffliche Einträge aus Regen- oder Oberflächenwasser ausgesetzt wird. Vor allem bei einer Trassenführung innerhalb aktiver Auenbereiche steigt mit geringer werdender Entfernung zum Fließgewässer und zunehmender Dauer der Baumaßnahme (vgl. Kriterium 17) die Wahrscheinlichkeit einer Überschwemmung des Baubereiches. Dies gilt insbesondere, wenn die Maßnahmen-durchführung in einer Zeit erfolgt, in der z.B. durch Schneeschmelzen eine natürlicherweise erhöhte Überschwemmungsgefahr besteht.

Bei Überschwemmungen im Baustellenumfeld besteht die Gefahr, dass größere Mengen stofflich und/oder bakteriell belasteten Oberflächen-

wassers in die Baugrube eintreten und dort in den Grundwasserleiter vordringen, wo die natürlichen Deckschichten im Zuge der Baumaßnahme verringert oder gar durchtrennt sind. Schlimmstenfalls können bei Hochwasserereignissen nicht ausreichend gesicherte Baumaschinen und -fahrzeuge havarieren und leckschlagen. Eine gegebene potenzielle Hochwassergefährdung des Baustellenbereiches vergrößert damit das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser und ist im Expertensystem zu berücksichtigen.

Nach Beendigung der Kanalbaumaßnahmen und fachgerechter Verfüllung des Rohr- bzw. Leitungsgrabens geht von Überschwemmungen keine Grundwassergefährdung im vorliegenden Sinne mehr aus, sofern bei der Bauausführung der Kanaltrasse, vor allem der Schachtbauwerke, eine ausreichende Hochwassersicherheit berücksichtigt wurde.

Überschwemmungen im Sinne lokaler Wasserflächenbildungen, die durch hohe Niederschlagsintensitäten in Verbindung mit einem überschrittenen Infiltrationsmaximum des Untergrundes stehen, nicht aber Folge eines Ausufers von Oberflächengewässern sind, fallen als unvorhersehbare Ereignisse nicht unter die vorliegende Betrachtung. Überschwemmungen zielen hier insbesondere auf durch Hochwässer bedingte Überflutungen ab. Als Beurteilungsgrundlage für eine gegebene Überschwemmungsgefahr sind im Trassenumfeld regelmäßig auftretende Hochwasserstände zu berücksichtigen.

Vom Abstand zwischen Kanaltrasse und Fließgewässer kann eine Überschwemmungsgefahr nicht abgeleitet werden, da sich in Abhängigkeit von Größe und Wasserführung eines Baches oder Flusses sowie der Breite und Morphologie des zur Verfügung stehenden Retentionsraumes eine Überflutung unterschiedlich weit in das Gewässerumfeld ausdehnt. Bei markanter Eintiefung eines Fließgewässers kann es zur gänzlichen Abkopplung der Aue als Überflutungskorridor kommen, so dass selbst bei Hochwässern ein bordvoller Abfluss nicht erreicht wird. Auch bei einem geringen Abstand zwischen Kanaltrasse und Fließgewässer besteht dann keine

unmittelbare Überflutungsgefahr für die Baugrube. Bei Hochwasserereignissen in Fließgewässernähe vorübergehend veränderte Strömungsverhältnisse und ein Zutritt von Uferfiltrat in die Baugrube sind jedoch zu berücksichtigen.

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung des Abwägungskriteriums „Überschwemmungsgefahr“ (diskret verteilt, nominal skaliert) berücksichtigt, ob im Baustellenbereich eine Überschwemmung denkbar ist oder ob eine solche ausgeschlossen werden kann. Hieraus resultieren die Ausprägungen:

- 1: potenzielle Gefahr gegeben, dass der Baustellenbereich bzw. die Baugrube überflutet wird
- 2: entsprechende Gefahr kann ausgeschlossen werden

Ist ein Baustellenbereich potenziell hochwassergefährdet, so sind vorsorgliche Schutzmaßnahmen an Maschinen und Fahrzeugen vorzusehen, die z.B. ein Umkippen und Austreten von Betriebsstoffen verhindern. Sofern dies die Planung und Durchführung der Baumaßnahme zulässt, sind die Arbeiten zur Kanallegung zeitlich so zu wählen, dass sie nicht in Zeiträume fallen, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Überschwemmungen gerechnet werden muss.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Aufgrund der größeren Empfindlichkeit des Untergrundes im Baubereich infolge der dortigen Reduzierung oder Abdeckung schützender Grundwasserdeckschichten wächst bei Hochwasserereignissen durch den möglichen Eintrag von Keimen und stofflichen Belastungen in die Baugrube das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser. Hinzu kommen erhöhte Risiken von Havarien an nicht ausreichend gesicherten Maschinen. Die Schadeinflüsse auf das Grundwasser können von erheblichem Ausmaße sein, weswegen von einem „gefährdungsbestätigenden (+)“ Wirkungseinfluss auszugehen ist.

Sind Überschwemmungen im Baubereich mit Sicherheit auszuschließen, so sind die oben erwähnten Gefährdungen für das Grundwasser nicht zu befürchten und die Situation „gefährdungsmindernd (-)“ einzustufen.

Kriterium 32

Setzungsgefahr

Wirkungseinfluss

Setzungserscheinungen lassen sich zumeist auf bergbauliche Tätigkeiten unter Tage zum Abbau von Bodenschätzen, Grundwasserentnahmen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Stabilität des entwässerten Gebirges oder auf die lithologischen Eigenschaften des Untergrundes zurückführen, die z.B. durch natürliche oder anthropogen verstärkte Auslaugungs-, Quellungs- und Schrumpfungsprozesse zu Bodenbewegungen führen und Veränderungen der Lagerungsverhältnisse verursachen, welche zur Bildung von Sickerpassagen und hydraulischen Kurzschlüssen führen können.

In bergbaulich geprägten Regionen wie der Niederrheinischen Tiefebene, dem Ruhrgebiet und dem Saarland sind künstlich verursachte Senkungs- und Setzungserscheinungen weit verbreitet und Resultate unterirdischer Materialentnahmen. Sie treten überall dort auf, „wo Lagerstätten auf großer Fläche im Tiefbau hereingewonnen werden und sich das hangende Gebirge über dem Abbauhohlraum senkt, so dass es an der Tagesoberfläche zu trichter- oder grabenförmigen Einbrüchen, zu Erdrissen und -stufen sowie zu ausgedehnten Senkungsmulden mit Senkungsbeträgen und Horizontalverschiebungen bis zu mehreren Metern“ kommt (KRATZSCH 1998). Durch den Gebirgsdruck der auflagernden Gesteinsschichten kommt es unter Tage zum Einstürzen verwaister Abbaustrecken und abbaubedingter Hohlräume und in der Folge zu einem Nachsacken des Deckgebirges, welches sich bis an die Erdoberfläche durchpaust.

Die grundwasserrelevanten Folgewirkungen von Setzungserscheinungen können vielfältig sein und sowohl den Untergrund unmittelbar als ins-

besondere auch darin verlegte Rohrleitungen wie Abwasserkanäle betreffen. Bei linienhaften Bauwerken wie Abwasserkanälen erweisen sich vor allem Senkungen als kritisch. Von Zerrungen und Pressungen gehen für Rohrleitungen im Allgemeinen mittlere, von Verschiebungen geringe Auswirkungen aus (KRATZSCH 1998). In Gebieten mit aktiven Bodenbewegungen steigt die Gefahr von Rohr- und Leitungsleckagen signifikant an, was besondere Anforderungen an die Errichtung, Dichtigkeitsüberwachung und Instandhaltung entsprechender Rohre und Leitungen stellt. Besonders gefährdet sind neben den Rändern von Senkungszonen Bereiche, in denen Bodenbewegungen nicht en bloc, sondern kleinräumlich unterschiedlich erfolgen.

Durch Setzungs- und Senkungsbewegungen entstehen im Gebirge Entlastungsklüfte, die eine Kommunikation mit dem grundwassergefüllten Trenngefüge ermöglichen und dadurch zu einem Kurzschluss von Grundwasserstockwerken oder einem Überbrücken schützender Grundwasserdeckschichten führen können. Bei wenig plastischen, starr brechenden Gesteinen kann es zu einem „Leckschlagen“ von Grundwasserleitern und einem Absinken des Grundwassers in tiefere Untergrundbereiche kommen. Zerrungen und Pressungen bewirken eine Zerrüttung stauender Grundwassernichtleiter, welche die Gebirgsdurchlässigkeit erhöht und die hydraulischen Verhältnisse im Untergrund nachhaltig verändern kann. Geländesenkungen können auch zu einem relativen Ansteigen des Grundwasserspiegels aufgrund einer Verringerung des Flurabstands führen, was mit einer Reduzierung der Mächtigkeit der grundwasserüberlagernden Deckschichten verbunden ist und eine unmittelbare Erhöhung der Grundwassersensibilität bewirken kann.

Kriteriumsdifferenzierung

Im Expertensystem wird differenziert, ob Boden-setzungen bzw. -bewegungen vorhanden bzw. zu befürchten sind oder ob diese nicht anzunehmen sind. Eine Unterscheidung zwischen bergbaubedingten, d.h. anthropogen verursachten und natürlichen Setzungs- und Senkungsbewegungen erfolgt nicht, da für die Fragestel-

lung lediglich das etwaige Auftreten entsprechender Senkungen, nicht aber ihre Ursache von Interesse ist. In der verbalen Formulierung der Ausprägungen werden exemplarisch verschiedene Gründe für Bodenbewegungen berücksichtigt, um zu verdeutlichen, dass nicht nur bergbaubedingte Senkungen in die Erhebung eingeschlossen sind.

Hinsichtlich des Kriteriums „Setzungsgefahr“ (diskret verteilt, nominal skaliert) erfolgt damit eine Berücksichtigung der Ausprägungen:

- 1: Bodensenkungen und -bewegungen vorhanden oder zu befürchten (natürlich oder anthropogen bedingt) z.B. durch Bergbau, Untergrundeigenschaften (Auslaugung, Quellung und Schrumpfung u.a.)
- 2: entsprechende Setzungen sind nicht anzunehmen

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Durch die bei Bodenbewegungen auftretenden Senkungs-, Pressungs- und Zerrungskräfte steigt in relevantem Maße die Gefahr der Entstehung von Rohr- und Leitungsundichtigkeiten, an denen es zu einem Übertritt von Abwasser in den Untergrund kommt. Zudem wird durch entstehende Sickerpassagen die Gefährdunganfälligkeit des Grundwassers gegenüber oberflächen- und kanalbürtigen Stoffzutritten erhöht.

Die Anforderungen an den Abwasserkanal als Ingenieurbauwerk steigen und machen spezielle Vorsorge- und Sicherungsmaßnahmen notwendig, um die geltenden Anforderungen an den Grundwasserschutz und ein einwandfreies Funktionieren der Siedlungsentwässerung zu gewährleisten. Im Vergleich zu Gebieten, die nicht von Senkungsbewegungen betroffen sind, ist die Grundwassergefährdung als mitunter deutlich größer einzuschätzen. Sie kann von erheblichem Ausmaß werden, weswegen im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung eine „deutlich gefährdungsbestätigende (++)“ Situation gegeben ist.

Sind Bodensenkungen und -bewegungen nicht vorhanden und solche auch nicht zu befürchten, sind die angeführten Risiken für das Kanalbauwerk und den Untergrund geringer, was aus Sicht der potenziellen Grundwassergefährdung als positiv zu bewerten ist. Es ist deshalb von einem „gefährdungsmindernden (-)“ Wirkungseinfluss auszugehen.

Kriterium 33

Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten

Wirkungseinfluss

Die Ausprägung der gemäß DIN 4049-3 (1994) als „Gesteinskörper (Locker- und Festgesteine) oberhalb einer Grundwasseroberfläche“ definierten Grundwasserüberdeckung (oft kurz auch als Deckschichten bezeichnet), welche Boden- und ungesättigte Gesteinsschichten umfasst, bestimmt maßgeblich die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber vertikalen stofflichen Einträgen und damit dessen natürlichen Gefährdungsschutz (HEINKELE 2002; HÖLTING 2005).

Durch die in der belebten Bodenpassage wie auch darunter ablaufenden natürlichen chemischen, biologischen und physikalischen bzw. physikalisch-chemischen Umwandlungs-, Demobilisierungs- und Rückhalteprozesse der „Natural Attenuation“ (vgl. Kap. 1.4) ist der ungesättigte Teil des Untergrundes für den natürlichen Schutz des Grundwassers hauptverantwortlich (EISWIRTH 2002; KUNTZE 1994; REHSE 1977). Durchdringen Schadstoffe die grundwasserüberlagernden Deckschichten, kommt dem gesättigten Bereich eine zusätzliche Bedeutung bei der Retardierung zu, die jedoch insbesondere in Wassergewinnungsgebieten mit betriebenen Brunnen durch die innerhalb des Absenkungstrichters zur Grundwasserentnahme hin zunehmenden Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers in ihrer Wirkung herabgesetzt wird.

Das Fehlen einer ausreichend retardierungswirksamen Grundwasserüberdeckung bzw. deren Abdeckung im Zuge von Tiefbaumaßnahmen erhöht die Anfälligkeit des Grundwassers

im darunter liegenden Grundwasserstockwerk gegenüber Stoffeinträgen von der Oberfläche her bzw. aus Oberflächennähe wie exfiltrierendem Abwasser aus undichten Abwasserkanälen. Sind wie z.B. in verkarsteten oder alleinig kluftdurchströmten Grundwasserleitern mit fehlender Matrixporosität hohe Durchlässigkeiten und damit eine geringe Retardierungsleistung gegeben, wird die Vulnerabilität des Grundwassers weitgehend alleinig durch die Ausprägung der Grundwasserüberdeckung bestimmt.

Auf den Stellenwert der grundwasserüberlagernden Deckschichten für die Beurteilung der Empfindlichkeit des Grundwassers im Zuge der Bemessung von Wasserschutz-zonen wurde eingangs der Arbeit ausführlich eingegangen. Auf diese Ausführungen wird an dieser Stelle noch einmal verwiesen (vgl. Kap. 1.4).

Ausmaß und Wirksamkeit der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung wie auch des Grundwasserleiters werden von der dortigen Aufenthaltszeit des durchsickernden Stoffes bestimmt, welche sich abhängig von der Mächtigkeit, der Lithologie und etwaig vorhandenen hydraulischen Kurzschlüssen zeigt (BOLSENKÖTTER 1984; DVGW 1995; DVGW 2006). Wesentlich für den Abbau oder die Demobilisierung eines Stoffes ist die Interaktion zwischen eingetragenen Stoff und Untergrund. Sie hängt von Art und Eigenschaften des Stoffes und maßgeblich von der Ausbildung der Kontaktflächen des Gesteins und der Kontaktzeit zwischen Eintrag und den zu durchdringenden Schichten ab, welche durch die Textur und die mineralogische bzw. chemische Zusammensetzung des Bodens und des Gesteins (vgl. Kriterien 34 und 36) sowie deren Mächtigkeit bestimmt wird. Veränderungen der Lagerungsverhältnisse durch tektonische Störungen oder menschliches Einwirken (vgl. Kriterium 32) können die Retardierung des Untergrundes entscheidend beeinflussen und diese verringern, wenn durch sie hochretardierende Schichten kurzgeschlossen und damit in ihrer Bedeutung für die natürliche Selbstreinigung des Untergrundes herabgesetzt werden.

Bauen sich Schichten z.B. aus sandigen Lockergesteinen auf, welche ein breites Korngrößenspektrum mit einem relevanten Anteil an Fein- und Feinstkorn aufweisen, oder

Fein- und Feinstkorn aufweisen, oder werden diese aus porösen Festgesteinen wie z.B. mürben, wenig verfestigten Sandsteinen repräsentiert, stellen sich aufgrund der großen inneren Oberflächen der Gesteinsmatrix, dem dadurch großen Reaktionsraum und der herabgesetzten Sickerate bessere Retardierungsleistungen ein als z.B. bei vornehmlich kiesigen Lockergesteinen oder klüftigen Festgesteinen, bei denen es durch höhere Abstandsgeschwindigkeiten zu einem kürzeren zeitlichen Kontakt zwischen Stoff und Gesteinsmedium kommt, wodurch die Effektivität des Stoffrückhaltes herabgesetzt wird. Je mächtiger die zu durchsickernden Boden- und Gesteinsschichten, desto länger können zudem Retardierungsvorgänge ablaufen.

Jede Veränderung der natürlichen Deckschichten hat aus hydrogeologischer Sicht einen mehr oder minder bedeutenden Einfluss auf die Empfindlichkeit des Grundwassers. Bei Baumaßnahmen sind Eingriffe in den Untergrund nicht zu vermeiden, jedoch ist – vor allem innerhalb von Wasserschutzgebieten – darauf zu achten, dass zeitweiliges oder dauerhaftes Abtragen, Zerschneiden oder sonstiges Stören von Deckschichten auf das erforderliche Mindestmaß beschränkt bleiben, um dadurch die Erhöhung der Grundwasserempfindlichkeit zu minimieren.

Die Betrachtung der Grundwasserüberdeckung innerhalb des Expertensystems teilt sich auf mehrere Abwägungskriterien auf, aus deren zusammenfassender Betrachtung eine Aussage zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung hervorgehen soll, welche für die gesamtheitliche Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von Bedeutung ist. Locker- und Festgesteinsdeckschichten werden getrennt betrachtet; Verwitterungsschichten des Festgesteins sind dabei als Lockergestein zu berücksichtigen. So wird es möglich, die komplexe Thematik für das Entscheidungshilfesystem fassbar zu machen und die Zahl notwendiger Differenzierungen handhabbar zu halten.

Kriteriumsdifferenzierung

Eine Klassifizierung der Deckschichtenmächtigkeit ohne gleichzeitige Berücksichtigung deren

Lithologie gestaltet sich schwierig. Wie u.a. die Untersuchungen und Arbeiten von REHSE (1977), BOLSENKÖTTER (1984), HÖLTING (1995) und HEINKELE (2002) zeigen, stehen Mächtigkeit und petrographisch-lithologische Zusammensetzung der Grundwasserüberdeckung im Hinblick auf deren Leistungsfähigkeit bei der Elimination von Schadstoffen in direkter Verbindung. Hinzu kommen beeinflussende Faktoren wie insbesondere eine etwaige Klüftigkeit der Grundwasserüberdeckung (vgl. Kriterium 38), aber auch nutzbare Feldkapazität, Grundwasserspannung und Grundwasserstockwerkbau.

Im vorliegenden Entscheidungshilfesystem soll die Bewertung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung nicht über die Verwendung eines Schutzwirkungswertes wie z.B. nach den Verfahren von REHSE (1977), BOLSENKÖTTER (1984) oder HÖLTING (1995) (vgl. Kap. 1.4) erfolgen, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass einem etwaigen Nutzer des Expertensystems selbige Verfahren bekannt sind und ihm Angaben über entsprechende Schutzfunktionswerte der Grundwasserüberdeckung vorliegen. Auch auf eine Eingabe ganzer Schichtenverzeichnisse zur Berechnung selbiger Werte soll verzichtet werden, da dies den Rahmen des Systems sprengen würde.

Für die gesamtheitliche Betrachtung relevante Angaben zur Schutzwirkung der Deckschichten und damit der Empfindlichkeit des Grundwassers sollen über eine zusammenfassende Betrachtung des Aufbaus und der daraus hervorgehenden Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung erfolgen, wenngleich wie HÖLTING (1995) betont das grundsätzliche Problem verbleibt, dass „die vielen Faktoren, die die Schutzfunktion oder Filterwirkung der Grundwasserüberdeckung beeinflussen, häufig unzureichend bekannt sind“.

Ein Vorschlag zur Klassifizierung der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung findet sich in der Veröffentlichung des ehemaligen DVWK (1993) zum Thema Stoffeintrag und Grundwasserbeeinträchtigung. Dort wird eine Untersuchung von VIERHUFF (1981) zitiert, welche die Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers in Abhängigkeit zu den Deckschichten be-

wertet und Angaben zu Überdeckungsmächtigkeiten und deren Auswirkung auf die Sensibilität des Grundwassers macht.

Der dortige Ansatz differenziert Locker- und Festgesteine in Abhängigkeit von Grundwasserflurabstand und Deckschichtendurchlässigkeit und grenzt Verschmutzungsempfindlichkeiten zwischen „groß“ und „sehr gering“ voneinander ab. Als signifikante Bewertungsgrenzen bezüglich Lockergesteinen werden Mächtigkeiten von 2 m und 10 m angeführt. Bei Mächtigkeiten unter 2 m wird mit Ausnahme von Ton, Tonstein und Torf grundsätzlich von einer „großen Verschmutzungsempfindlichkeit“ ausgegangen, bei solchen bis 10 m von einer „mittleren bis großen Verschmutzungsempfindlichkeit“. Bei Deckschichten in einer Mächtigkeit von über 10 m wird eine „mittlere bis geringe Verschmutzungsempfindlichkeit“ zugeordnet. Die so erfolgte Klassifizierung bleibt zwangsläufig grob, da sie nicht alle Einflussgrößen, welche eine Relevanz auf die Schutzwirkung der Deckschichten besitzen, berücksichtigen kann, kann jedoch als Orientierung angesehen werden.

Die Wahl der Klassengrenze 2 m findet sich auch in den Verfahren von REHSE (1977) und BOLSENKÖTTER (1984) wieder. Sie wird dort als die Mächtigkeit angeführt, die bei einer Grundwasserüberdeckung aus hochretardierenden Lockergesteinen wie Ton ohne Risse, tonigem Schluff oder stark tonigem Sand als Mindestmächtigkeit für eine ausreichende Schadstoffelimination notwendig ist. Die Klassengrenze 10 m bildet in den letztgenannten Verfahren keine markante Bewertungsmarke. Sie entspricht diesen zufolge einer ausreichend retardierenden Überdeckungsmächtigkeit, sofern Deckschichten aus Mittel- und Grobsand vorliegen.

Für die Klassifizierung der „Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) werden im Expertensystem die Werte 2 m und 10 m als Klassengrenzen übernommen. Zusätzlich wird die Marke von 20 m gewählt, welche bei einer Grundwasserüberdeckung aus sandigem Kies einen ausreichenden Stoffrückhalt gewährleistet (DVGW 1995), um eine weitere qualitative Differenzierung zu er-

möglichen. Als vierte Ausprägung ist zu berücksichtigen, dass Lockergesteinsdeckschichten auch (nahezu) fehlen können, wenn z.B. reliefbedingt nur Festgesteinsdeckschichten vorhanden sind, deren Aufwitterung sehr gering ist. Somit resultieren die Klassen:

- | | |
|----|--|
| 1: | bis zu 2 m |
| 2: | bis zu 10 m |
| 3: | bis über 10 m |
| 4: | keine bzw. vernachlässigbare Deckschichten aus Lockergestein vorhanden |

Da sich mit der Lage des Grundwasserspiegels auch die Mächtigkeit der Deckschichten verändert, ist bei der fallspezifischen Betrachtung als Worst-Case der Grundwasserhöchststand anzusetzen und damit die mindestens gegebene Überdeckungsmächtigkeit.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Unabhängig von der Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten (vgl. Kriterium 34) ist bei einer Deckschichtenmächtigkeit von unter 2 m grundsätzlich davon auszugehen, dass eine große Empfindlichkeit des Grundwassers vorliegt. Selbst bei hochretardierenden Lockergesteinen wie z.B. Tonen, tonigen Schluffen und stark tonigen Sanden ist von keiner ausreichend hohen Grundwasserabschirmung auszugehen. Dies wird grundsätzlich als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ angesehen.

Insbesondere, wenn unterhalb der geringmächtigen Lockergesteinsdeckschichten keine Festgesteinsdeckschichten ausgebildet sind, erscheint diese Einstufung angebracht, da sie aus Sicht der Grundwassersensibilität den Worst-Case darstellt. Sind zusätzlich zu den Lockergesteinsdeckschichten Festgesteinsdeckschichten vorhanden, kann dies über eine Verknüpfung mit interagierenden Abwägungskriterien (vgl. Kap. 5) gegebenenfalls zu einer Relativierung der Bewertung führen. Dies betont noch einmal, dass der Wirkungseinfluss der gesamten Grund-

wasserüberdeckung im Hinblick auf die potenzielle Gefährdung des Grundwassers letztlich erst gesamtheitlich möglich wird.

Sind Lockergesteinsdeckschichten in Mächtigkeiten bis 10 m ausgebildet, kann noch immer von einer großen bis mittleren Grundwasserempfindlichkeit ausgegangen werden. Bei günstiger Lithologie (vgl. Kriterium 34) können Lockergesteinsdeckschichten dieser Mächtigkeit jedoch bereits für eine ausreichende Grundwasserabschirmung sorgen. Vor allem bei gröberen Sanden und bei Kiesen mit wenig Feinkornanteilen sind für eine Elimination von Schadstoffen jedoch größere Überdeckungsmächtigkeiten erforderlich. Die Grundwassergefährdung ist im Vergleich zum vorangegangenen Fall weniger kritisch, jedoch schlimmstenfalls noch immer als „gefährdungsbestätigend (+)“ anzusehen. Diese Bewertung kann sich je nach der Ausprägung der Festgesteinsdeckschichten und der Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten abmildern.

Bei Mächtigkeiten bis über 10 m ist die Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers als mittel bis gering einzustufen. Die Wahrscheinlichkeit erhöht sich, dass eine zum Schadstoffrückhalt ausreichende Deckschichtenmächtigkeit erreicht wird. Nur bei groben kiesdominierten Sedimenten wird noch keine ausreichende Retardierung erreicht. Dies lässt im Gegensatz zu den beiden erstgenannten Ausprägungen die Einstufung des Wirkungseinflusses als „gefährdungsmindernd (–)“ zulässig erscheinen. Je nach Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten und Charakter der Festgesteinsdeckschichten ist auch hier eine Relativierung der Gefährdungseinstufung möglich.

Sind keine Lockergesteinsdeckschichten ausgebildet oder ist deren Ausbildung als vernachlässigbar anzusehen, wird dies grundsätzlich als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ bewertet, da wie zuvor ausgeführt gerade Lockersedimenten in vielen Fällen von vornehmlicher Bedeutung für den flächenhaften Grundwasserschutz und die Abschirmung des Grundwassers vor Stoffzusickerungen wie z.B. aus undichten Abwasserkanälen sind.

Kriterium 34

Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten

Wirkungseinfluss

Zusammen mit der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung hat deren petrographisch-lithologische Ausbildung entscheidenden Einfluss auf die Sensibilität des durch sie überdeckten Grundwassers. Die Schutzwirkung grundwasserüberdeckender Lockergesteine ist für gewöhnlich signifikant größer als die von vergleichbar zusammengesetzten Festgesteinen (DVGW 1995). Dies ist zum einen auf den nicht zementierten Porenraum, der damit als Reaktionsraum für Austausch-, Abbau- und Demobilisierungsprozesse zur Verfügung steht, vor allem aber auch auf die bei Lockergesteinen fehlende Klüftung (vgl. Kriterium 38) zurückzuführen, welche bei Festgesteinen Teile des Gesteinsverbandes hydraulisch kurzschließen kann. Das natürliche Retardierungsvermögen ist in seiner Wirkung zudem umso bedeutender, je aushaltender und unbeeinflusster die Verbreitung entsprechend wirksamer Deckschichten ist.

Bei nicht verfestigten Gesteinen hat deren Korngröße direkten Einfluss auf die Wasserdurchlässigkeit und somit die Aufenthaltszeit und Retardierungswirksamkeit. Mit sich verringernder Korngröße geht die Sickergeschwindigkeit in der ungesättigten Untergrundzone zurück, da die größere spezifische Oberfläche feinkörniger Partikel einen größeren Teil des Sickerwassers und der darin enthaltenen Stoffe in der porösen Gesteinsmatrix zurückhält. Durch die längeren Verweilzeiten und die größere Adsorptionswirkung wird der mögliche Schadstoffrückhalt vergrößert (GREWING 1994).

Sehr gute Eigenschaften als Deckschichten besitzen damit Lockergesteinsablagerungen mit hohem Schluff- und vor allem Tonanteilen. Diese treten als grundwassergering- bzw. grundwasser-nichtleitende Schichten in Erscheinung, wodurch sie etwaig stofflich belastete Sickerwässer vom Übergang in den Grundwasserkörper weitgehend abhalten bzw. Zusickerungen retardierungswirksam verlangsamen. Begünstigend wir-

ken hierbei u.a. auch die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Tonmineralen, welche Stoffe an sich binden und damit länger zurückhalten können.

Gemäß DIN 4022-2 (1988) werden bei Lockergesteinen Grobkornbereich (Siebkorn) und Feinkornbereich (Schlammkorn) unterschieden, wobei die Grenze beider bei einer Korngröße von 0,06 mm gezogen wird. Die Grobkornfraktion umfasst Sande (0,063 bis 2 mm), Kiese (2 bis 63 mm) und Steine (>63 mm), die Feinkornfraktion Schluffe (0,002 bis 0,06 mm) und Tone (<0,002 mm). Weitergehende Untergliederungen u.a. nach Kantenform, Rundungsgrad oder Plastizität der Bodenarten sind je nach Betrachtungsschwerpunkt und Klassifizierungsansatz möglich. Als Beispiele für weitergehende Klassifizierungen können u.a. die Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke nach DIN 18196 (2006) und die pedologische Kornfraktionsklassifikation der AG BODEN (2005) angeführt werden.

Kriteriumsdifferenzierung

Aufgrund der Bedeutung der Korngröße für unterschiedliche Fragestellungen kann auf verschiedene Differenzierungsansätze zurückgegriffen werden, von denen einige für eine nähere Betrachtung innerhalb der vorliegenden Fragestellung in Betracht kommen und sich inhaltlich geeignet erweisen, Angaben zur Schutzfunktion der Deckschichten und damit zur potenziellen Gefährdung des Grundwassers zu machen.

MONZEL (1992) und AVS (1992) übernehmen in ihren Untersuchungen zur Positionierungsplanung abwassertechnischer Bauwerke Zuordnungen aus DIN 18196 „Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke“. Die sehr umfangreiche Differenzierung berücksichtigt die mineralogische und chemische Zusammensetzung sowie das Gefüge und Vorkommen der Gesteine im geologischen Verband. Es wird zwischen „bindigem“, „bindigem bis rolligem“ und „vornehmlich rolligem“ Lockermaterial differenziert, wobei eine zum Teil an Gewichtsprozenten der Kornfraktionen orientierte Berücksichtigung von Bodenarten erfolgt,

die den jeweiligen Klassen zugeordnet werden. Diese Detailliertheit stellt sich für eine standortbezogene Betrachtung des Baugrundes als sinnvoll heraus, erscheint für die Verwendung innerhalb des Expertensystems jedoch nicht zweckdienlich, da sie zu weitgehend wäre.

GREWING (1994) unterscheidet in ihrer Arbeit zur Bewertung anthropogener Grundwasserbelastungen ebenfalls anhand des Feinkorngehaltes „bindiges“, „bindiges bis rolliges“ und „vornehmlich rolliges“ Lockermaterial. Als Feinkorn bezeichnet sie Lockermaterial mit einer Korngröße <0,2 mm, was der oberen Grenze für Feinsand der DIN 18196 entspricht. GREWING verzichtet auf eine detaillierte Zuordnung der zu den Klassen gehörenden Bodenarten und verweist auf die entsprechenden DIN-Normen.

WALTER (2001) berücksichtigt in seiner Veröffentlichung zu den geowissenschaftlichen Grundlagen der Niederschlagsversickerung im Saarland auch die Sedimentgenese und differenziert Lockergesteine in „Terrassenablagerungen“, „sandig-kiesige Hangschuttmassen“, „Hanglehme und Lösslehme“, „Auenlehme“ und „unverwitterte Tone“. Diese ordnet er drei Durchlässigkeitsklassen zu, wobei Terrassenablagerungen und sandig-kiesige Hangschuttmassen als „ausreichend durchlässig“, Hanglehme und Lösslehme als „weniger durchlässig“ und Auenlehme und unverwitterte Tone als „gering durchlässig“ eingestuft werden.

Die im vorliegenden Fall für das Expertensystem gewählten Ausprägungen berücksichtigen das Auftreten von Psephiten, Psammiten und Peliten, d.h. von groben, mittleren und feinen Sedimenten innerhalb der Deckschichten. Fallspezifisch auszuwählen ist die Bodenart, welche vorwiegend und eigenschaftsbestimmend vorliegt und charakteristisch für die Untergrundsituation ist. Die Formulierung und Differenzierung der Ausprägungen erfolgt qualitativer Art. Auf die konkrete Bezugnahme auf quantitative Gewichtsprozent o.ä. wird verzichtet, da eine solche hier als zu komplex angesehen wird. Es ist von Nutzer des Expertensystems damit objektiv und fallindividuell einzuschätzen, ob Beimengungen an feinerem Sediment in relevantem, eigenschaftsbestimmendem Maß gegeben sind.

Es resultieren bezüglich des Abwägungskriteriums „Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) somit die Ausprägungsklassen:

- 1: kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn (vorwiegend rollig)
- 2: kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn (vorwiegend bindig)
- 3: schluffige und/oder tonige Lockergesteinsdeckschichten (bindig)

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Lockergesteinsdeckschichten mit kiesig bis sandigem Charakter und nur geringen Anteilen an feineren Korngrößen besitzen vergleichsweise hohe Durchlässigkeiten, die eine recht rasche vertikale Durchsickerung bewirken. Die Retardierungsleistung ist signifikant geringer als bei Sedimenten mit deutlichen Beimengungen an Fein- und Feinstkorn. Im Hinblick auf die Empfindlichkeit des unterlagernden Grundwassers ist dies als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu werten.

So bleibt z.B. die Reinigungsleistung grober Kiese durch die dort gegebenen hohen Abstandsgeschwindigkeiten ähnlich gering wie die klüftiger Festgesteine (vgl. Kap. 1.4). Bei Fein- und Mittelkiesen mit hohem Sandanteil liegen die zum Schadstoffrückhalt erforderlichen Mindestüberdeckungsmächtigkeiten bei etwa 25 m, bei Mittel- und Grobkiesen mit wenig Sand bei 35 m. Werden Deckschichten durch Steine mit nur wenig Kies und Sand aufgebaut, sind Mächtigkeiten von bis zu 50 m notwendig, um Einträge ausreichend rückzuhalten (DVGW 1995).

Zeigen kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten deutliche Beimengungen an Schluff und/oder Ton, wird deren Durchläss-

igkeit deutlich verringert, was gleichzeitig die Schutzwirkung der Schichten erhöht. Bei schluffigem Kies mit reichlich Sand und Ton genügt bereits eine Mächtigkeit von 8 m für eine ausreichende Grundwasserabschirmung, bei Fein- und Mittelsand 6 m (DVGW 1995). Deutliche Beimengungen an Ton und Schluff verringern das potenzielle Gefährdungsrisiko für das Grundwasser deutlich, so dass von einer „gefährdungsmindernden (-)“ Konstellation ausgegangen werden kann.

Mit steigendem Fein- und Feinstkornanteil sinkt die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber stofflichen Zutritten von der Oberfläche her, da die geringere Durchlässigkeit und die gleichzeitig höhere spezifische Oberfläche des Sedimentgefüges Stoffe in der porösen Untergrundmatrix effektiver zurückhalten können. Die guten Voraussetzungen für eine Stoffretardierung bei einer Überdeckung aus schluffigen und/oder tonigen, bindigen Lockergesteinsdeckschichten führt zur Bewertung „deutlich gefährdungsmindernd (- -)“.

Kriterium 35

Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten

Wirkungseinfluss

Die Betrachtung der Festgesteinsdeckschichten ist in Analogie zu derjenigen der Lockergesteinsdeckschichten zu sehen (vgl. Kriterien 33 und 34). Lockergesteinsdeckschichten treten für gewöhnlich immer, wenn z.T. auch nur (sehr) geringmächtig, Festgesteinsdeckschichten je nach Untergrundaufbau und Grundwasserstand auf. Nur durch eine gesamtheitliche Betrachtung von Locker- und Festgesteinsdeckschichten wird letztlich eine Aussage zur Deckschichten-schutzfunktion und damit zur Grundwassersensibilität möglich (vgl. Kap. 5).

Kriteriumsdifferenzierung

Zur Differenzierung aussagebedeutsamer Festgesteinsdeckschichtenmächtigkeiten kann auf

die bereits bei der Betrachtung der Lockergesteinsüberdeckung angeführten Arbeiten zurückgegriffen werden (vgl. Kriterium 33).

Die Veröffentlichung von VIERHUFF (DVWK 1993) zur Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers berücksichtigt parallel zur Betrachtung der Lockergesteinsdeckschichten eine qualitative Einordnung für Festgesteinsdeckschichten, die als Orientierung angesehen werden kann, wenngleich die Zuordnungen, da pauschalisiert nicht alle relevanten Einflussgrößen mit in die Bewertung einfließen können, zwangsläufig grob bleiben.

Für verschiedene Festgesteinsdeckschichtmächtigkeiten werden Verschmutzungsempfindlichkeiten zwischen „groß“ und „sehr gering“ gegeneinander abgegrenzt. Als Klassenintervallgrenzen sind die Mächtigkeiten 2 m und 20 m berücksichtigt. Überdeckungsmächtigkeiten unter 2 m wird grundsätzlich eine „große“, solchen bis 20 m eine „mittlere“ bis „große“ Verschmutzungsempfindlichkeit zugewiesen. Sind Festgesteinsdeckschichten von über 20 m ausgebildet, spricht dies für eine „mittlere“ bis „geringe“ Empfindlichkeit des unterlagernden Grundwassers.

Inwiefern eine Klassengrenze von 2 m, die sich bei Lockergesteinen bewährt hat (vgl. Kriterium 33), auch bei Festgesteinen sinnvoll ist, bleibt fraglich. Selbst bei Festgesteinen mit relativ geringen, im Vergleich zu fein- und mittelkörnigen Lockersedimenten jedoch mitunter immer noch (sehr) hohen Sickergeschwindigkeiten, und höheren Austauschkapazitäten wie z.B. Mergelstein, Sandstein mit Tonsteinzwischenlagen, Ton- und Glimmerschiefer oder Phyllit ist bei alleiniger Grundwasserüberdeckung erst bei Mächtigkeiten um 10 m bzw. 20 m von einer ausreichenden Schutzwirkung auszugehen.

Bei anderen Gesteinstypen liegen die notwendigen Mindestmächtigkeiten deutlich darüber. Grund hierfür ist insbesondere der immense Einfluss der Gesteinsklüftung (vgl. Kriterium 38). Bei stärker verfestigten, schluffig und tonig gebundenen Sandsteinen betragen die erforderlichen Mächtigkeiten um 50 m, bei körnigen Intrusivgesteinen um 70 m. Bei kluffreichen Quarziten oder stark kieseligen Sandsteinen

sind Mächtigkeiten von 100 m, bei verkarsteten Kalkgesteinen sogar von 200 m für eine Elimination von Schadstoffen notwendig (DVGW 1995).

Zur Klassifizierung innerhalb des Expertensystems werden die Verschmutzungsempfindlichkeitsklassen „groß“ und „groß bis mittel“ nach VIERHUFF zusammengefasst. Bereits eine mittlere bis große Empfindlichkeit wird als ausreichend angesehen, um zu einer Bestätigung der Grundwassergefährdung zu führen, so dass eine weitere Unterscheidung – zumindest bei der Betrachtung der Festgesteinsdeckschichten – verzichtbar erscheint. Der Schwellenwert 20 m wird zur Abgrenzung einer „großen bis mittleren“ von einer „mittleren bis geringen“ Empfindlichkeit übernommen, wobei betont wird, dass dieser nur einer orientierenden Abschätzung dienen kann.

Zusätzlich wird der Fall berücksichtigt, dass keine Festgesteinsdeckschichten ausgebildet sind. Es ergeben sich hinsichtlich des Abwägungskriteriums „Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) damit nachfolgende klassifizierte Ausprägungen:

- | | |
|----|--|
| 1: | bis 20 m |
| 2: | bis über 20 m |
| 3: | keine bzw. vernachlässigbare Deckschichten aus Festgestein vorhanden |

Da sich mit der Lage des Grundwasserspiegels auch die Mächtigkeit der Deckschichten verändert, ist bei der fallspezifischen Bewertung der Ausgangs- und Planungssituation wiederum als schlimmster Fall der Grundwasserhöchststand anzunehmen und somit die geringste Deckschichtenmächtigkeit.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Der letztendliche Gesamteinfluss der Grundwasserüberdeckung im Hinblick auf die potenzielle Gefährdung des Grundwassers ist wie mehrfach angeführt erst nach einer zusammenfassenden Betrachtung verschiedener Abwä-

gungskriterien möglich (vgl. Kap. 5). Unabhängig von der lithologischen Ausbildung der Festgesteinsdeckschichten ist jedoch bei einer Deckschichtenmächtigkeit von weniger als 20 m zunächst als Worst-Case davon auszugehen, dass ein erhebliches Risikopotenzial für das Grundwasser vorhanden ist. Dies ist als „deutlich gefährdungsbestätigende (++)“ Ausgangssituation zu beurteilen.

Selbst bei vergleichsweise günstigen lithologischen Eigenschaften des Festgesteins wird nur selten eine ausreichende Schutzwirkung erzielt. In den meisten Fällen muss davon ausgegangen werden, dass die Grundwasserüberdeckung durch Festgesteinsdeckschichten in dieser Mächtigkeit alleinigen keinen ausreichenden Schutz darstellt (BOLSENKÖTTER 1984; DVGW 1995). Sind neben den Festgesteinsdeckschichten auch Deckschichten aus Lockergestein ausgebildet (vgl. Kriterien 33 und 34), können diese zu einer Risikorelativierung führen, so dass die gegebene Gefährdung verringert wird.

Bei Festgesteinsdeckschichten von bis zu über 20 m Mächtigkeit ist es von deren Lithologie und Klüftigkeit abhängig, ob von einer mittleren oder einer geringen Empfindlichkeit des Grundwassers auszugehen ist. Mächtigkeiten, die zur Elimination oberflächennah zutretender Stoffe ausreichen, können, müssen aber nicht erreicht werden. Vor allem bei kluffreieichen Gesteinen bleibt auch bei größeren Mächtigkeiten die Situation oft kritisch. Unter Berücksichtigung des möglichen Worst-Cases wäre eine gefährdungsmindernde Bewertung nicht zu rechtfertigen, so dass von einer „gefährdungsbestätigenden (+)“ Situation auszugehen ist, die jedoch je nach Ausbildung des gesamten Deckschichtenverbandes einschließlich der Lockergesteinsdeckschichten relativiert werden kann.

Sind keine bzw. nur vernachlässigbare Festgesteinsdeckschichten ausgebildet, wird dies „neutral (o)“ bewertet. Die Vulnerabilität des Grundwassers wird in diesem Fall ausschließlich durch die Ausprägung der Lockergesteinsdeckschichten bestimmt (vgl. Kriterien 33 und 34).

Kriterium 36

Lithologie der Festgesteinsdeckschichten

Wirkungseinfluss

Grundsätzlich werden in der Geologie bzw. Petrographie gemäß ihrer Genese drei Gruppen von Festgesteinen unterschieden. Magmatische Gesteine – auch Eruptivgesteine oder kurz Magmatite genannt – sind im wesentlichen Kristallisationsprodukte einer heißen silikatischen, seltener karbonatischen oder sulfidischen Glutschmelze, die als Magma bezeichnet wird. Je nachdem ob ihre Erstarrung in der Tiefe der Erdkruste oder an der Erdoberfläche erfolgt, differenziert man Tiefengesteine (Plutonite), welche eine mittel- bis grobkörnige Struktur besitzen, von vulkanischen (Vulkaniten) mit mittel- bis feinkörniger Textur. Zwischen beiden existieren fließende Übergänge, welche durch die unterschiedlichen Kristallisationstemperaturen der Minerale begründet werden (MATTHES 2005).

Sedimentgesteine – auch Ablagerungsgesteine oder kurz Sedimentite – gehen aus der Verwitterung anderer Gesteine und/oder aus einer physikalischen Ablagerung, chemischen Ausfällung oder biologischen Ausscheidung bzw. Umwandlung organischen und/oder anorganischen Materials und der anschließenden Verfestigung (Diagenese) der so entstanden Produkte hervor. Je nach Verfestigungsgrad unterscheidet man Locker- und Festgesteine, die in der Geotechnik auch mit den Synonymen Boden und Fels benannt werden (MÜLLER 1999).

Metamorphe Gesteine – auch Umwandlungsgesteine oder Metamorphite – sind Produkte der als Gesteinsmetamorphose bezeichneten Umwandlung eines bereits vorhandenen Gesteins unter sich ändernden physikalischen und chemischen Bedingungen, d.h. Druck und Temperatur. Sie gehen aus Magmatiten oder Sedimentiten hervor, wodurch sie in Ortho- und Paragesteine unterteilt werden (MATTHES 2005).

Bei der Betrachtung von Festgesteinen ist neben der mineralogisch-chemischer Zusammensetzung vor allem die Ausbildung des Trennge-

füges von besonderem Stellenwert, in dem die Sicker- und Grundwasserbewegung vorzugsweise erfolgt (vgl. Kriterium 38).

Kriteriumsdifferenzierung

Zur Differenzierung der Festgesteinsbeschaffenheit kann auf verschiedene Ansätze zurückgegriffen werden. Von maßgeblicher Bedeutung für die Beurteilung der Grundwassersensibilität, welche die Einschätzung der von einer Abwasserkanalisation ausgehenden potenziellen Grundwassergefährdung mit beeinflusst, ist dabei die gesteinspezifische Retardierung, welche von der Durchlässigkeit des Festgesteins bestimmt wird.

In den Arbeiten von MONZEL (1992) und AVS (1992) werden unabhängig von der petrographischen Gesteinsart verschiedene Festgesteinszustände nach ihrer Gefügefestigkeit und Klüftigkeit berücksichtigt, wobei sich die Betrachtung an Felsklassen orientiert. Differenziert werden „Felsklasse 6 – leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten – Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt haben, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare verfestigte nicht bindige und bindige Bodenarten“, „Felsklasse 6 bis 7 – leicht lösbarer Fels bis schwer lösbarer Feld“ sowie „Felsklasse 7 – Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügefestigkeit haben und die nur wenig klüftig oder verwittert sind“.

WALTER (2001) bezieht sich in seiner Klassifizierung auf die Petrographie und unterscheidet „Karbonate“, „grobkörnige Sedimentgesteine“, „feinkörnige Sedimentgesteine“ sowie „Metamorphe Gesteine und Magmatite“. Seine Aussagen zur Eignung der Gesteine zur Niederschlagsversickerung bauen auf der Durchlässigkeit und der Retardierung der Gesteinstypen auf. Karbonate und metamorphe Gesteine werden als schlecht geeignet für die Niederschlagsversickerung eingestuft, was auf deren Klüftigkeit und das mangelnde Rückhaltevermögen zurückgeführt wird. Ebenfalls als ungeeignet bewertet werden infolge ihrer geringen Durch-

lässigkeit feinkörnige Sedimentgesteine wie Ton- und Schluffsteine. Eine bedingte Eignung wird grobkörnigen Sedimentgesteinen wie Sandsteinen, Grauwacken und Konglomeraten zugesprochen, die mittlere Durchlässigkeiten und Retardierungen zeigen.

Für die Differenzierung wird im vorliegenden Betrachtungsfall eine Bezugnahme auf die petrographische Gesteinsart als zielführend erachtet, da zu dieser meist ohne Weiteres Angaben gemacht werden können, während Aussagen zur vorliegenden Felsklasse nur in Einzelfällen möglich sein dürften, wenn örtlich auf entsprechende gutachtliche Untersuchungen zurückgegriffen werden kann. Der verwendete Ansatz lehnt sich an den Klassifizierungsvorschlag von WALTER an. Eine zusätzliche Unterscheidung der Festigkeit des Gesteines erfolgt nicht. Es wird bei der Beurteilung von hartem Fels als Worst-Case ausgegangen. Damit sind bei mürberer Ausprägung des Festgesteines Sicherheitsreserven mit eingeschlossen.

Es ergeben sich bezüglich der „Lithologie der Festgesteinsdeckschichten“ (diskret verteilt, nominal skaliert) die Ausprägungen:

- 1: Festgesteinsdeckschichten aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen
- 2: Festgesteinsdeckschichten aus vorwiegend tonigen, mergeligen oder schluffigen Sedimentgesteinen
- 3: Festgesteinsdeckschichten aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Die Schutzwirkung grundwasserüberlagernder Festgesteine ist grundsätzlich geringer einzustufen als die von gleich zusammengesetzten Lockergesteinen. Dies ist mit ihrer Klüftung und damit dem hohen Infiltratwasseranfall zu begründen (DVGW 1995). Die nachfolgenden Gefährdungseinschätzungen sind daher mit den Angaben zur Klüftung (vgl. Kriterium 38) ab-

zugleich, was mitunter zu einer Abschwächung der Risikobewertung führen kann, sofern der Fall gegeben ist, dass keine bedeutsame Klüftung im Festgestein vorliegt und damit keine bevorzugten Leitbahnen für die Wasserbewegung innerhalb der Grundwasserüberdeckung vorliegen.

Setzt sich die Festgesteinsüberdeckung lithologisch aus sandigen und/oder konglomeratischen Gesteinen zusammen, ist bei weniger verfestigtem Fels oft mit relativ hohen Durchlässigkeiten und einer herabgesetzten Abschirmungswirkung zu rechnen. Mit Zunahme der diagenetischen Gesteinsverfestigung wächst der Bedeutungseinfluss der Klüfte. Dies ist aus Sicht des Grundwasserschutzes als „gefährdungsbestätigend (+)“ zu werten. Bei relevantem Feinkornanteil, Kluftrarmut oder bindigen Klufbestegen kann sich die Situation jedoch durchaus günstiger darstellen.

Baut sich die Grundwasserüberdeckung aus Mergel-, Ton- oder/und Schluffsteinen auf, ist die Empfindlichkeit des unterlagernden Grundwassers deutlich geringer. Klüfte sind zumeist nicht oder kaum wasserwegsam und verfügen über bindige Bestege. Der Austausch zwischen Geländeoberfläche und Grundwasser ist stark eingeschränkt, so dass sich aus Sicht der Lithologie gute Voraussetzungen für die Abschirmung des Grundwassers ergeben. Dies ist als „deutlich gefährdungsmindernd (–)“ zu werten, was jedoch gewisse Mindestmächtigkeiten voraussetzt (vgl. Kriterium 35).

Bei Magmatiten, Metamorphiten und insbesondere bei Kalkgestein sind Klüfte weit verbreitet. Ein Fehlen von Klüften ist der Ausnahmefall. Aufgrund einer nahezu bis gänzlich fehlenden effektiven Matrixdurchlässigkeit bleibt die Wasserbewegung auf den Kluftraum beschränkt, in dem eine stoffliche Retardierung fast völlig unterbleibt. Retardierende Eigenschaften besitzen Magmatite, Metamorphite und Kalkgestein nur im Aufwitterungsbereich, wo dieser ausreichend mächtig und bindig ist. Im Normalfall ist die Grundwassersensibilität gegenüber stofflichen Einträgen hoch, der Wirkungseinfluss somit als „besonders gefährdungsbestätigend (++)“ zu bewerten.

Kriterium 37

Horizontbeständige wasserstauende Schicht in geringem Abstand unterhalb der Kanalsole

Wirkungseinfluss

Die Beschaffenheit des Bettungsmaterials (vgl. Kriterium 16) und des umgebenden Bodens beeinflusst die Exfiltration aus leckgeschlagenen Abwasserkanälen. An der Austrittsstelle kann sich eine biologisch aktive Schicht ausbilden, in der vornehmlich die partikulären Abwasserinhaltsstoffe abgefangen werden und ein Abbau organischer Substanzen erfolgt. Die Mächtigkeit dieser Schicht zeigt sich von der anstehenden Bodenart und deren Durchlässigkeit abhängig.

Bei Sand kann die Dicke einer entsprechenden biologisch aktiven Schicht Zentimeter bis Dezimeter betragen (DOHMANN 1996). Untersuchungen von HAGENDORF (1996) in Lockergesteinsuntergründen zeigen, dass bereits innerhalb der ersten 10 cm unter der Rohrsole ein deutlicher Konzentrationsrückgang um bis 90 % zu verzeichnen ist. Der Bereich unmittelbar unter der Kanalgründung bis etwa einen Meter unter dem Sohlbereich ist bezüglich seiner Funktion für den Rückhalt und den Abbau von Schadstoffen von besonderer Bedeutung (HAGENDORF 1996).

Die nach Austritt von Leckagenwässern durch die Untergrundmatrix abfiltrierten organischen Partikel haben Einfluss auf den Rückhalt von Stoffen. Sie können zu einer Selbstabdichtung führen, die allerdings durch äußere Einflüsse wie z.B. eine Infiltration von Grundwasser wieder aufgehoben werden kann. Bei schwerwiegenden Kanalschäden über gut durchlässigen Untergründen reichen die natürliche Sorptionsfähigkeit, Filterwirkung und Abbauleistung der aeroben Zone jedoch meist nicht aus, um der Menge an austretendem Abwasser ausreichend zu begegnen (EISWIRTH 1999). Modellversuche haben gezeigt, dass es im Falle von Regenern auf Grund der hydrostatischen Druckerhöhung über dem Rohr- oder Leitungsschaden und einer im Gegensatz zum Trockenwetterabfluss stärkeren Verdünnung des Abwassers zu einer negativen Beeinflussung der bio-

logisch aktiven Schicht und damit zu einer größeren Exfiltration kommt (DECKER 1995).

Es erscheint damit zusätzlich zum Aufbau der Grundwasserüberdeckung sinnvoll und zielführend zu erheben, wie sich die lithologische Situation im Bereich unterhalb der Kanalgründung verhält²¹. Es ist zu prüfen, ob retentionswirksame Schichten in geringem vertikalen Abstand zum Abwasserkanal- oder zur Abwasserleitung vorhanden sind, wodurch gezielt ermittelt werden kann, ob eine Schicht ausgebildet ist, die in besonderem Maße dazu befähigt ist, Sickerwässer vorübergehend zurückzuhalten bzw. diese erst zeitlich verzögert in den tieferen Untergrund weiterzuleiten²².

Eine Differenzierung zwischen vertikaler und horizontaler Durchlässigkeit wäre zur genauen Ansprache der Untergrundsituation und des Wasser- bzw. Stoffausbreitungsverhaltens unterhalb des Abwasserkanals zwar sinnvoll, allerdings wird es als unwahrscheinlich angesehen, dass in der Praxis richtungsdifferenzierte Kenntnisse über die horizontale und die vertikale Durchlässigkeit des geologischen Untergrundes vorliegen. Im Normalfall wird der Anwender auf Ergebnisse von z.B. Pumpersuchen zurückgreifen, die nur einen allgemeinen Wert für die Untergrunddurchlässigkeit abschätzen lassen (vgl. Kriterium 38).

Besitzen die unterhalb des Kanalbauwerks ausgebildeten Schichten zunächst relativ gute Durchlässigkeiten, weiter unterhalb anstehende Schichten dann geringe Durchlässigkeiten, besteht die Möglichkeit, dass aussickernde Leckagenwässer bzw. stoffliche Einträge während der Kanalbaumaßnahme auf der stauenden Schicht gemäß dem natürlichen Schichteinfallen abfließen²³. Ist dieses zur Wassergewinnung hin orientiert (vgl. Kriterium 41), kann belastetes Wasser im Bereich des besser wasserleitenden Horizontes zur Gewinnung hin bewegen. Sobald sich die Durchlässigkeit der Stauschicht signifi-

kant erhöht, z.B. an natürlichen bzw. durch Bautätigkeiten bedingten Störungen und Schichtfenstern oder an durchschlagenden Klüften, kann eine Versickerung in Richtung Grundwasserleiter erfolgen. Eine flächige und vor allem beständige Ausbildung eines entsprechenden grundwasserstauenden Horizontes z.B. aus tonigem Lockergestein oder Festgestein mit geringer wasserwirksamer Klüftung ist daher zu beachten.

Durch tektonische oder geomorphologische Prozesse wie auch durch anthropogene Beeinflussungen z.B. nach untertägigen Abbautätigkeiten kann die ursprüngliche Gesteinslagerung nachhaltig beeinflusst werden. Zerrüttungen mit Kluftbildung wie auch Horizontal- und Vertikalverschiebungen von Gesteinsschichten sind möglich, die zu einer Durchtrennung, Verstellung oder Perforation geologischer Schichten führen und deren Durchlässigkeit verändern. Geringe Horizontbeständigkeiten und Schichtun- stetigkeiten können auch geogenen Ursprungs und z.B. auf räumlich unterschiedliche Entstehungsbedingungen zurückzuführen sein.

Je kleinräumiger die Ausdehnung abschirmender, retardierungswirksamer Stauschichten wie z.B. Tonschichten, Höhenlehmen und Talalluvionen ist, desto weniger sind diese für den übergeordneten Grundwasserschutz und einen flächigen Rückhalt stofflicher Einträge von Bedeutung. Hohe Retardierungsleistungen bleiben bei geringen Horizontbeständigkeiten räumlich begrenzt und bedingen nur lokal einen erhöhten Grundwasserschutz. Je aushaltender ein Gesteinshorizont ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieser bei einer entsprechend geringen Durchlässigkeit auf einem möglichst langen Streckenabschnitt des Abwasserkanals für eine wirksame Abschirmung des Grundwassers von relevanter Bedeutung ist.

Kriteriumsdifferenzierung

Innerhalb des Expertensystems soll berücksichtigt werden, ob wasserstauende und damit grundwasserabschirmungsrelevante Gesteinsschichten unterhalb der Kanalgründung vorhanden sind. Hinsichtlich der Festlegung, was unter

²¹ sowie im Bereich der Kanalgründung (vgl. Kriterium 16)

²² für den Fall, dass der geplante Abwasserkanal oberhalb des Grundwasserspiegels liegt

²³ sofern durch Grundwasserentnahmen die natürlichen Fließverhältnisse nicht überlagert bzw. außer Kraft gesetzt werden und der geplante Abwasserkanal oberhalb des Grundwasserspiegels liegt

„geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle“ zu verstehen ist, wird bewusst auf eine Angabe konkreter Abstandswerte verzichtet. Aus den angeführten Gründen sollten hierunter jedoch in jedem Fall einige Meter, je nach dem auch größere Vertikalabstände gefasst werden.

Bei der Formulierung der Ausprägungen ist sich entsprechend auf die räumliche Ausdehnung eines etwaigen solchen Horizontes zu beziehen. Hierbei ist zu beurteilen, ob im relevanten Maßstab von der aushaltenden Verbreitung einer oder mehrerer grundwasserstauender Schichten unterhalb der Kanalsohle auszugehen ist. Auf eine numerische Abgrenzung für die Differenzierung zwischen horizontal aushaltenden und linsenförmigen Horizonten, wie sie z.B. von MONZEL (1992) angeführt wird, der bei einer Erstreckung von 5 km eine entsprechende Grenze zieht und bei einer Ausdehnung kleiner bzw. größer 200 m zwischen klein- und großskalig linsenförmig unterscheidet, soll zugunsten einer qualitativen Einordnung verzichtet werden.

Verbal formulierte, gewollte Unschärfen berücksichtigende Ausprägungen sind Zahlenwerten vorzuziehen, welche nur orientierenden Charakter haben können. Es zeigt sich u.a. vom Aufbau und Einfallen im Untergrund abhängig, ab welcher Horizontausdehnung mit einem signifikanten risikomindernden Einfluss zu rechnen ist. Bei größerer Schichtneigung kann Sickerwasser oberhalb einer horizontbeständigeren geringleitenden Schicht gegebenenfalls ähnlich rasch zu hydraulischen Fenstern abgeleitet werden wie oberhalb einer Stauschicht geringerer Ausdehnung, welche jedoch eine geringere Schichtneigung besitzt.

Für das Kriterium „Horizontbeständige wasserstauende Schicht in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle“ (diskret verteilt, nominal skaliert) werden demnach betrachtet:

1: zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle mindestens eine weiträumig und wirksam ausgebildete, horizontbeständige wasserstauende Schicht

2: zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert keine entsprechende Schicht

Was dabei als „weiträumig und wirksam ausgebildet“ zu verstehen ist, muss ebenfalls einzelfallspezifisch unter Beachtung der gesamten Ausgangs- und Planungssituation definiert werden und kann nicht anhand fixer Zahlenwerte vorgegeben werden.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sind zwischen Abwasserkanal und Grundwasserleiter eine oder mehrere entsprechende grundwasserstauende und damit retardierungswirksame, grundwasserabschirmende Gesteinschichten weiträumig und wirksam ausgebildet, so ist deren Wirkungseinfluss auf die Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzial als „gefährdungsmindernd (-)“ einzustufen. Etwaig aus dem Abwasserkanal exfiltrierendes Abwasser wird vom Versickern in die Tiefe hin in relevantem Maße abgehalten. Allerdings kann sich aus einem etwaigen Abfließen oberhalb der Stauschicht zu gegebenen Unstetigkeiten im Untergrundaufbau eine zusätzliches Gefährdungspotenzial für das Grundwasser ergeben (vgl. Kriterium 41).

Ein Fehlen entsprechender gering durchlässiger Schichten ist aus Sicht des Schadstoffrückhaltes als negativ einzustufen und im Hinblick auf die hohe Empfindlichkeit des Grundwassers als „gefährdungsbestätigend (+)“ zu sehen.

Diese Einstufung ist als Worst-Case zu verstehen, da gemäß der Formulierung der Ausprägungsalternativen auch retardierungswirksame Stauschichten mit geringer Horizontbeständigkeit wie z.B. kleinräumlich linsenförmiger Ausprägung mit diesem Urteil bedacht werden, obwohl diese lokal durchaus von Bedeutung für die Abschirmung des Grundwassers sein können. Ist die Horizontbeständigkeit einer Stauschicht gering, so ist deren Einfluss auf den Grundwasserschutz über weite Strecken eher unwahrscheinlich.

Kriterium 38

Klüftung**Wirkungseinfluss**

Die hydraulische Leitfähigkeit eines Gesteines für Grundwasser ist sein Vermögen, unter bestimmten Druckverhältnissen für Wasser durchfließbar zu sein. Sie zeigt sich abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Wassers, z.B. den temperaturabhängigen Größen Viskosität und Dichte, sowie von den Eigenschaften des Grundwasserleiters, vor allem dem nutzbaren Hohlraumvolumen des Gesteins (HÖLTING 2005; DIN 4049-3 1994). Die hydraulische Leitfähigkeit besitzt eine integrale Bedeutung für die hydrogeologische Charakterisierung des Untergrundes und das Verhalten von Wasser und gelösten Stoffen im Gesteinskörper.

Die Bewegung des Grundwassers erfolgt in den Hohlräumen des Gesteins, deren Ausdehnung, Größe und gegenseitige Kommunikation die Wasserbewegung beeinflussen. In Lockergesteinen strömt Wasser annähernd laminar, d.h. glatt und wirbelfrei, da trotz der geogen bedingten heterogenen Struktur des durchflossenen Substrates den strömungsmechanischen Gesetzen eines laminaren Fließens weitgehend entsprochen wird. Dies lässt es zu, hydraulische Gesetzmäßigkeiten für die Wasserbewegung und damit die Gesteinsdurchlässigkeit mathematisch zu fassen (HÖLTING 2005).

Als Maßzahl für die Untergrunddurchlässigkeit dient der Durchlässigkeitsbeiwert, kurz k_f -Wert. Dieser zeigt sich abhängig vom Widerstand des durch das Fluid Wasser durchflossenen Gesteins (Reibung) und den Hohlraumeigenschaften des Aquifers (Poren, Klüfte) sowie von Dichte, Viskosität und Temperatur des Wassers. Er ist nur dann genau bestimmbar, wenn die REYNOLDS-Zahl²⁴ zwischen 1 und 10 liegt (MATTHESS 2000). Aufgrund der Temperaturabhängigkeit ändert sich der k_f -Wert oberflächennaher Grundwasserleiter im jahreszeitlichen Verlauf.

²⁴ dimensionslose Kennzahl, welche in der Strömungslehre verwendet wird und das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften darstellt

Der Durchlässigkeitsbeiwert errechnet sich nach dem Gesetz von DARCY aus dem Quotienten zwischen durchfließender Wassermenge und dem Produkt der durchflossenen Querschnittsfläche und dem hydraulischen Gradienten. Dieser Zusammenhang beruht auf der Beobachtung, dass die durch eine bestimmte Fläche hindurchfließende Wassermenge dem Druckhöhenunterschied und einem filtergesteinsspezifischen Koeffizienten (dem k_f -Wert) direkt proportional und umgekehrt proportional der Fließlänge ist. Das Verhältnis zwischen Druckhöhenunterschied und Fließlänge wird dabei als hydraulischer Gradient oder Gefälle des Grundwasserspiegels bezeichnet (HÖLTING 1995).

Die Fließgeschwindigkeit im Untergrund im Sinne der Filtergeschwindigkeit, resultierend aus dem Quotienten zwischen Wassermenge und Filterquerschnitt bzw. dem Produkt aus Durchlässigkeitsbeiwert und dem hydraulischen Gradienten, wird durch Inhomogenitäten im durchflossenen Medium ständig verändert und ist deshalb als dynamische Geschwindigkeit zu verstehen. Inhomogenitäten können klein- und großskaliger Art sein. Bedeutsam sind z.B. wechselnde Porendurchmesser, Ungleichförmigkeiten im Geschwindigkeitsprofil innerhalb eines Porenquerschnittes und Geschwindigkeitsverringerungen durch Umfließen der Korngerüststrukturen wie auch z.B. das Auftreten von Sand- oder Schlufflinsen oder Schichtfugen.

Im Gegensatz zu Lockergesteinen kommt innerhalb von Festgesteinsverbänden der eigentlichen Gesteinsdurchlässigkeit im Sinne der durch den nutzbaren Porenraum bestimmten Matrixpermeabilität eine nur untergeordnete Rolle zu. Von sehr viel größerer, im Normalfall bestimmender Bedeutung für die Wasserwegsamkeit ist die auf dem Vorkommen und der Ausbildung von Spalten, Klüften, Schicht-, Bankungs- sowie anderen mechanisch oder chemisch entstandenen Trennfugen beruhende Trennfugendurchlässigkeit.

Die Wasserbewegung im Kluftraum folgt zwar auch bestimmten gesetzmäßigen Anordnungen, jedoch bleiben diese gerade in kleinen Raumeinheiten aufgrund von Schichtungen, Störungen und Klüften u.a. nicht konstant. Innerhalb

verschiedener Raumrichtungen desselben Gesteinsverbandes variiert die Durchlässigkeit u.a. mit der Ausbildung des Kluftnetzes, d.h. mit Dichte, Öffnungsgrad und Orientierung des Trenngefüges, sowie mit etwaiger Feinschichtung, Textur und effektiver Porosität. Auf letztere wirken sich vor allem Sortierung, Korngröße und Kornform sowie eingelagertes Bindemittel und der diagenetische Verfestigungsgrad aus (MATTHESS 1983). Die Fließgeschwindigkeiten im Trenngefüge wechseln auf engstem Raum, so dass die das strömungsmechanische Verhalten bestimmende REYNOLDS-Zahl im Normalfall überschritten wird und es zu einer turbulenten, d.h. wirbelnden Strömung kommt. Hydrogeologische Kennwerte sind bei Kluft- und Kluft-Poren-Grundwasserleitern daher nicht exakt zu bestimmen.

Da sich das Grundwasser in Klüften leichter und schneller als in Poren bewegt, wird der Zustrom bei einem dichten und weitverzweigten Kluftnetz hauptsächlich aus diesem gespeist. Zwar ist zur hydraulischen Charakterisierung eines Festgesteinsuntergrundes und insbesondere dessen Speichereigenschaften auch die Berücksichtigung des Porenraumes notwendig, jedoch bleibt die Dominanz der Trennfugendurchlässigkeit im Vergleich zur Porendurchlässigkeit in der Regel bestimmend. Der Grundwasserzufluss kann auf einzelne Klüfte begrenzt bzw. konzentriert bleiben. Wenn die Klüftung eines Festgesteins engständig und homogen ausgebildet ist, können sich ähnliche Fließbedingungen wie im Lockergestein einstellen (HÖLTING 2005). Bei sedimentären Festgesteinen, die aus sandigen oder kiesigen Ablagerungen hervorgegangen sind, resultiert die hydraulische Leitfähigkeit aus einem Summeneffekt der Matrix- und der Trennfugendurchlässigkeit, weswegen auch von Zweiporositäts-Medien oder biporösen Medien gesprochen wird (HÖLTING 2005). Porendurchlässigkeit und Kluft- bzw. Trennfugendurchlässigkeit werden zusammen als Gebirgsdurchlässigkeit bezeichnet (MATTHESS 2000).

Der Grundwasserströmungstyp ist mitentscheidend für die Ausbreitung einer Schadstofffahne im Untergrund. Aus der Überbrückung einer gegebenenfalls vorhandenen filterwirksamen Gesteinsmatrix über Klüfte und Fugen resultieren

unmittelbar negative Auswirkungen auf das Retardierungsvermögen innerhalb eines Grundwasserleiters oder den ihn überlagernden Deckschichten. In stark klüftigen Festgesteinen wird Wasser rasch weitergeleitet, so dass diese nahezu kein wirksames Reinigungsvermögen besitzen, während insbesondere sandige Sedimentgesteine mit geringer Klüftigkeit und mit hohem nutzbarem Hohlraumvolumen einen ausgeprägten Stoffrückhalt aufweisen können (vgl. Kriterium 36).

Besonders anfällig für Verunreinigungen ist Grundwasser in Karstgebieten, da dieses die aufgeweiteten Lösungshohlräume im Gestein mit hohen Abstandsgeschwindigkeiten durchströmt, wodurch Reinigungsvorgänge kaum zur Wirkung kommen. In entsprechenden Festgesteinsdeckschichten und Festgesteinsgrundwasserleitern bewegt sich das Wasser im Klufttraum mit Abstandsgeschwindigkeiten zwischen 0,3 m/d und 8.000 m/d. In Karstgebieten wurden z.T. sogar Abstandsgeschwindigkeiten von bis zu 26.000 m/d beobachtet (ALTHAUS 1982).

In Porengrundwasserleitern einschließlich Kluftgrundwasserleiter, die wie Porengrundwasserleiter zu behandeln sind, durchläuft ein Wasserteilchen den effektiven Porenraum und legt bei seinem Weg eine weitaus größere Strecke zurück als den bloßen Horizontalabstand zwischen zwei Punkten. Die Abstandsgeschwindigkeiten betragen oft nur wenige Dezimeter bis Meter pro Tag. Örtlich können Geschwindigkeiten von 10 m/d und mehr auftreten (ALTHAUS 1982). Grund für die geringeren Abstandsgeschwindigkeiten ist die gewundene Bahnbewegung, die sich am Aufbau der Kornstrukturen im Untergrund orientiert. Da Wasserteilchen die Porenmatrix durchlaufen müssen, kommen Prozesse der Diffusion, Dispersion und Adsorption zum Tragen, die den Rückhalt und den Abbau von Stoffen begünstigen. In hochpermeablen, kiesigen Aquiferen mit geringem Feinkornanteil gehen die entsprechenden Rückhalteprozesse zurück, so dass deren Reinigungsvermögen deutlich eingeschränkt ist (vgl. Kriterium 34).

Für die Betrachtung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung von Festgesteinsdeckschichten und der Grundwasserempfind-

lichkeit sowie für eine Einschätzung der Strömungsbedingungen und Fließgeschwindigkeiten im potenziell gefährdeten Aquifer besitzt die Klüftung damit eine große Bedeutung, weswegen sie als Abwägungskriterium zu beachten ist.

Kriteriumsdifferenzierung

Innerhalb des Expertensystems soll berücksichtigt werden, ob eine relevante Klüftung innerhalb der Grundwasserüberdeckung und/oder innerhalb des Grundwasserleiters gegeben ist. Dabei ist der Begriff „Klüftung“ als Sammelbegriff für das gesamte Trenngefüge zu verstehen und somit u.a. auch auf Schicht- und Bankungsfugen zu beziehen. Als „relevant“ ist eine Klüftung dann zu betrachten, wenn diese für die Sicker- bzw. Grundwasserbewegung wirksam wird, d.h. der Trennfugenraum wasserwegsam und nicht durch bindige Bestege abgedichtet ist.

Trenngefüge, welche wasserwegsam sind, jedoch weitgehend solitär und nicht verzweigt in Erscheinung treten, sind dann als relevant einzustufen, wenn sie durchschlagenden Charakter besitzen und z.B. besonders retardierungswirksame Gesteinsschichten kurzschließen und den Verlauf der Abwasserkanaltrasse kreuzen. Fehlt eine Verzweigung des Kluftnetzes, über die oberflächennah über die Baugrube oder über spätere Undichtigkeiten des Abwasserkanals zutretende Stoffe rasch vordringen können, kann dies eine Einstufung als nicht relevant begründen. Ein durchströmbares, hydraulisch gekoppeltes Trennfugennetz ist dagegen als relevant anzusehen. Insbesondere vertikal oder schräg zur Tiefe hin verlaufende Klüfte sind von Bedeutung, da sie den Gesteinskörper über eine mehr oder weniger große vertikale Distanz durchziehen und von Sickerwässern als Leitbahnen bevorzugt werden. Schicht- und Bankungsfugen mit eher horizontaler oder begrenzter Ausdehnung haben dagegen hinsichtlich kanalbürtiger Gefährdungen einen eher geringeren, jedoch nicht zwangsweise zu vernachlässigenden Bedeutungseinfluss.

In einer Veröffentlichung der WASSERWIRTSCHAFTSDIREKTION SAALE-WERRA (1989) finden sich Klassifizierungsansätze für Klufthäufigkei-

ten, -abstände und -volumina. Dabei wird ein Vorschlag zur Unterscheidung von Kluftabstandsklassen zwischen unter 2 cm und über 60 cm gemacht. Da bereits beim grundsätzlichen Vorhandensein eines relevanten Trenngefüges von einer Verschärfung der Grundwassersensibilität auszugehen ist und der Worst-Case Ausgangspunkt der Betrachtung des Expertensystems sein soll, kann auf eine derart detaillierte Betrachtung innerhalb des Entscheidungshilfesystems jedoch verzichtet werden.

Es wird als ausreichend angesehen, ein gegebenes Trenngefüge, differenziert nach dessen Auftreten in der Grundwasserüberdeckung und im Grundwasserleiter, zusammenfassend zu betrachten. Eine Berücksichtigung bestimmter Kluftöffnungsweiten und Kluftdichten wie auch der Kluftorientierung und Kluftsteilheit erfolgt auch daher nicht, da zu ihnen in vielen Fällen wenn überhaupt allenfalls eingeschränkte Informationen vorliegen dürften und sich das Expertensystem zur Festigung dessen Aussagen auf Abwägungskriterien stützen soll, zu denen in möglichst vielen Betrachtungsfällen mit hoher Wahrscheinlichkeit eine belastbare Aussage gemacht werden kann.

Aus der Differenzierung des Abwägungskriteriums „Klüftung“ (diskret verteilt, nominal skaliert) resultieren folgende Ausprägungen:

- | | |
|----|---|
| 1: | relevante Klüftung in den Deckschichten |
| 2: | relevante Klüftung im Grundwasserleiter |
| 3: | relevante Klüftung in den Deckschichten und im Grundwasserleiter |
| 4: | relevante Klüftung weder in den Deckschichten noch im Grundwasserleiter |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Ist innerhalb der Grundwasserüberdeckung ein verzweigtes und für die Wasserbewegung relevantes Trenngefüge ausgebildet, bedeutet dies, dass sich die Wasserbewegung im Untergrund

an diesen Leitbahnen orientieren und schneller zum bzw. im Grundwasserleiter fließen kann als in einem Fall, in dementsprechend relevante Klüfte fehlen. Die Retardierungsfähigkeit des Untergrundes wird durch den Kurzschluss der Gesteinsmatrix herabgesetzt und kann je nach Ausprägung des Trenngefüges eingeschränkt werden oder unter Umständen sogar gänzlich an Bedeutung verlieren. Die Empfindlichkeit des Grundwassers ist in diesem Fall als besonders hoch einzustufen, der Wirkungseinfluss ist „gefährdungsbestätigend (+)“.

Bei einem Kluftgrundwasserleiter ist von einer relevanten Klüftung im Sinne der Erhebung auszugehen. Vor allem wenn es durch Grundwasserentnahmen zu hydraulischem Stress und einer zusätzlichen Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Trenngefüges kommen sollte, wird durch die dominante bzw. alleinige Durchströmung des Trenngefüges die Retardierung innerhalb des Grundwasserleiters weiter herabgesetzt. Dies ist dann, wenn auch die grundwasserüberlagernden Schichten über eine relevante Klüftung verfügen, als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu bewerten. Sowohl die Retardierung innerhalb der Deckschichten als auch innerhalb des Aquifers ist aufgrund der relevanten Klüftung herabgesetzt.

Eine fehlende relevante Klüftung innerhalb des Grundwasserleiters ist nur bei Grundwasserleitern gegeben, die als Porengrundwasserleiter in Erscheinung treten und bei denen die Wasserbewegung innerhalb der Gesteinsmatrix erfolgt. Dies kann sich je nach lithologischer Beschaffenheit des grundwasserleitenden Gesteins (vgl. Kriterium 41) begünstigend auf die „Natural Attenuation“ auswirken.

Beschränkt sich eine relevante Klüftung auf den Grundwasserleiter, d.h. weist die Grundwasserüberdeckung kein wasserwegesames Trenngefüge in bedeutsamer Ausprägung auf, können die überlagernden Deckschichten je nach Mächtigkeit und Lithologie (vgl. Kriterien 33 bis 36) eine besondere Bedeutung bei der Abschirmung des Grundwassers besitzen. Zeigen Festgesteinsdeckschichten keine relevante Klüftung, gehen von ihnen aufgrund der fehlenden Wasserleitbahnen deutlich höhere Schutzwirkungen aus,

da etwaig vorhandene Matrixdurchlässigkeiten durch eingelagertes z.B. toniges, silikatisches oder ferritisches Bindemittel herabgesetzt sind. Bei Lockergesteinsdeckschichten ist deren Fein- und Feinstkornanteil für das Maß ihrer Schutzwirkung ausschlaggebend. Es verbleibt die erhöhte Sensibilität innerhalb des kluftdurchströmten Grundwasserleiters, weshalb aus Vorsichtsgründen von einer „gefährdungsbestätigenden (+)“ Konstellation ausgegangen werden muss.

Fehlt eine relevante Kluftausbildung sowohl in den Deckschichten als auch im Grundwasserleiter, kann sich dies für den Schutz des Grundwassers bei entsprechender Ausbildung und Mächtigkeit der Deckschichten als günstig herausstellen. Dies rechtfertigt das Urteil „gefährdungsmindernd (-)“. Fehlt es jedoch z.B. einer Grundwasserüberdeckung aus Lockergesteinen an feinkornreichen Sedimenten, kann das unterlagernde Grundwasser dennoch als empfindlich einzustufen sein.

Kriterium 39

Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Wirkungseinfluss

Gesteinskörper, die zusammenhängende Hohlräume enthalten und damit die Eignung besitzen, Grundwasser weiterzuleiten, werden nach DIN 4049-3 (1994) als Grundwasserleiter – auch Aquifer – bezeichnet. Der Grundwasserleiter ist demnach der Bereich des Untergrundes, aus dem innerhalb eines Wasserschutzgebietes die Gewinnung des Trinkwassers erfolgt.

Im Hinblick auf die Frage, ob und wie schnell Kontaminationen, die den Grundwasserleiter erreichen, zur Wassergewinnungsanlage gelangen, spielt die Mächtigkeit des Grundwasserleiters mit eine Rolle. Sind bei vertikal eng begrenzten grundwasserführenden Schichten, wie z.B. oftmals innerhalb quartärer Lockersedimente in Fließgewässernähe oder bei auskeilenden Festgesteinshorizonten, nur flache Aquifere mit Mächtigkeiten von einigen Metern bis wenigen Zehner Metern ausgebildet, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Einwirkungsbe-

reich einer Grundwasserentnahme über Brunnen durch die geringe Zuströmhöhe weiter auf das Umfeld des Förderstandortes ausdehnt, also bei einem hydrogeologisch vergleichbaren Grundwasserleiter mit größerer Mächtigkeit. Da sich die Grundwasserströmung im Absenkungsbereich einer Grundwasserentnahme mit abnehmender Entfernung zu einem Brunnen aufgrund des zunehmenden hydraulischen Gefälles beschleunigt, fließen auch etwaige mit dem Grundwasserstrom transportierte Schadstoffe der Wassergewinnung schneller zu.

Bei mächtigeren Grundwasserleitern ist der räumliche Einfluss einer Wasserentnahme in Abhängigkeit von u.a. Strömungsart, Untergunddurchlässigkeit und Höhe des Grundwasserzuflusses weniger weitreichend als in flacheren Grundwasserleitern vergleichbaren Aufbaus. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass eine Grundwasserentnahme tiefer aus dem Aquifer erfolgt, d.h. der Brunnen im oberen Bereich des Grundwasserleiters noch nicht verfiltert sind, woraus innerhalb der gesättigten Zone eine zusätzliche Retardierung erfolgen kann, da zutretendes Sickerwasser, welches später als Grundwasser entnommen wird, erst die oberen Bereiche des wassererfüllten Untergrundes vertikal durchlaufen muss, bis es die Tiefe erreicht, in der die Entnahme erfolgt. Ausbau und Eigenschaften des Grundwasserleiters sind hierbei entscheidend. Bei geringmächtigen Grundwasserleitern wie z.B. den quartären Schottern entlang des Rheines werden Brunnen dagegen zumeist auf der gesamten Mächtigkeit des Grundwasserleiters verfiltert, so dass die vertikale Wasserbewegung innerhalb des gesättigten Bereiches geringer ist.

Kriteriumsdifferenzierung

Da in der einschlägigen Fachliteratur auf eine qualitative Differenzierung der Mächtigkeit eines Aquifers in Bezug auf die angeführten Gesichtspunkte nicht eingegangen wird, eine solche im vorliegenden Fall jedoch mit als zielführend erachtet wird, wird ein Vorschlag für eine entsprechende Differenzierung formuliert. Eine Definition eindeutig abgegrenzter Mächtigkeitsintervalle ist aufgrund des Fehlens anerkannter

Klassifizierungsmaßstäbe nicht zu rechtfertigen, weshalb eine verbal umschreibende Festlegung mit Berücksichtigung eines Bewertungs- und damit Zuordnungsspielraums einzig sinnvoll sein kann. Diese soll Fälle voneinander abgrenzen, die grundsätzlich unterscheidbar sind und eine qualitative Aussagebedeutung für die Zielaussage besitzen. Relativ geringmächtige sind von mächtigeren bzw. mächtigen Aquiferen zu unterscheiden.

Hierzu werden folgende Ausprägungen zur Differenzierung der „Mächtigkeit des Grundwasserleiters“ (stetig erteilt, verhältnisskaliert) berücksichtigt:

- | |
|---|
| 1: einige Meter bis wenige Zehner Meter |
| 2: mindestens mehrere Zehner Meter |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Besitzt der betrachtete Grundwasserleiter eine recht geringe Mächtigkeit von maximal wenigen Zehner Metern, so kann davon ausgegangen werden, dass stoffliche Belastungen, welche innerhalb eines Wasserschutzgebietes die Deckschichten durchsickern und in den grundwassererfüllten Untergrund eintreten, vergleichsweise schneller und gegebenenfalls konzentrierter zur Wassergewinnungsanlage transportiert werden. Eine Grundwasserentnahme über Brunnen kann die Strömungsbedingungen im Grundwasserleiter räumlich relativ weit beeinflussen. Aus Sicht der Grundwassergefährdung des genutzten Grundwassers ist dies als „gefährdungsbestätigend (+)“ zu bewerten.

Liegen größere oder gar große Aquifermächtigkeiten vor, sind die genannten gefährdungsbe günstigen Bedingungen im Grundwasserleiter zumeist geringer einzustufen. Allerdings kann von der alleinigen Existenz einer größeren Mächtigkeit nicht unmittelbar auf eine Minderung des Gefährdungsrisikos geschlossen werden. Eine alleinig hohe Mächtigkeit des Grundwasserleiters hat damit keinen aussagekräftigen Einfluss auf die Einschätzung der potenziellen

Grundwassergefährdung und ist daher hinsichtlich ihres Wirkungseinflusses als „neutral (o)“ einzustufen. Erst in Kombination mit u.a. Lithologie (vgl. Kriterium 40) und Klüftigkeit des Grundwasserleiters (vgl. Kriterium 38) kann eine signifikante Relevanz gegeben sein.

Kriterium 40

Lithologie des Grundwasserleiters

Wirkungseinfluss

Im Hinblick auf die lithologische Beschaffenheit des Grundwasserleiters braucht anders als bei der Grundwasserüberdeckung nicht das gesamte Spektrum an Locker- und Festgesteinen betrachtet zu werden. Es entfallen diejenigen Gesteine bzw. Gesteinsgruppen, die aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeiten nicht als Grundwasserleiter in Erscheinung treten und als Grundwassergering- oder -nichtleiter einzustufen sind. Hierzu zählen z.B. schluffige oder tonige Lockergesteine sowie Festgesteine wie Tonstein, Schluffstein oder Mergelstein. Sie besitzen für die Grundwassergewinnung keine Bedeutung.

Wie erläutert (vgl. Kriterium 38) sind grundsätzlich zwei Aquifertypen voneinander abzugrenzen: Porengrundwasserleiter und Klüftgrundwasserleiter, die sich wie Porengrundwasserleiter verhalten, sowie Karstgrundwasserleiter und Klüftgrundwasserleiter, die sich wie Karstgrundwasserleiter verhalten (DVGW 1995). Beide Typen unterscheiden sich im Strömungsverhalten des sie durchfließenden Grundwassers (laminar bzw. turbulent) sowie in der Bedeutung der Gesteinshohlräume (Porenraum bzw. Trenngefüge) für die Grundwasserbewegung.

Bei Lockergesteinsgrundwasserleitern zeigt sich die Korngröße bzw. Korngrößenverteilung des Sedimentes von ausschlaggebender Bedeutung für die hydrogeologische Charakterisierung, da diese die Durchlässigkeit unmittelbar bestimmt. Für die Charakterisierung von Festgesteinsgrundwasserleitern ist der Durchlässigkeitsbeiwert dagegen als beschreibender Wert wie erläutert (vgl. Kriterium 38) nur mit Einschränkungen geeignet.

Eine umfangreiche Betrachtung von Durchlässigkeiten enthält die DIN 18196 (2006), die Durchlässigkeiten verschiedener Bodenarten differenziert. Unterschieden werden dabei die Durchlässigkeiten „sehr gering“, „gering“, „mittel“, „hoch“, „sehr hoch“ und „äußerst hoch“. Die auf der Betrachtung von wassergesättigtem Boden²⁵ basierende Durchlässigkeitsklassifizierung der AG BODEN (2005) berücksichtigt sechs Durchlässigkeitsklassen, bezieht diese allerdings nicht auf Bodenarten, sondern grenzt sie anhand von Durchlässigkeitsbeiwerten (vgl. Kriterium 38) voneinander ab. Es wird differenziert zwischen den Durchlässigkeiten „sehr gering“ bei $k_f < 1,16 \cdot 10^{-7}$ m/s, „gering“ bei $1,16 \cdot 10^{-7} < k_f < 1,16 \cdot 10^{-6}$ m/s, „mittel“ bei $1,16 \cdot 10^{-6} < k_f < 4,63 \cdot 10^{-6}$ m/s, „hoch“ bei $4,63 \cdot 10^{-6} < k_f < 1,16 \cdot 10^{-5}$ m/s, „sehr hoch“ bei $1,16 \cdot 10^{-5} < k_f < 3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s und „äußerst hoch“ bei $k_f > 3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Die AG HYDROGEOLOGIE (1997) vergleicht eine Vielzahl in der Literatur vorzufindender Klassifikationen, darunter die von SCHAEF (1964), die der DIN 19711 (1975) und der DIN 18130 (1989) sowie die der Geologischen Landesämter (1990), die sich bezüglich Klassengrenzen und -zahl mitunter deutlich unterscheiden. Resultierend wird eine Gliederung in sieben weitgehend äquidistante Klassen vorgeschlagen²⁶, die „Grundwassergeringleiter“ ($<10^{-5}$ m/s) und „Grundwasserleiter“ ($>10^{-5}$ m/s) differenziert.

Weniger Klassen berücksichtigen z.B. HÖLTING (2005) und EINSELE (1996 in MATTHESS 2000), die beide vier Durchlässigkeitsklassen vorschlagen und Gesteine mit $k_f < 10^{-9}$ m/s als „undurchlässig“, solche mit $10^{-9} < k_f < 10^{-6}$ m/s als „schwach durchlässig“ und solche mit $10^{-6} < k_f < 10^{-3}$ m/s als „durchlässig“ bezeichnen. Gesteine mit $k_f > 10^{-3}$ m/s werden von HÖLTING als „hochdurchlässig“, von EINSELE als „sehr gut durchlässig“ bezeichnet. Andere Grenzziehungen verwenden MONZEL (1992) und AVS (1992), die bei $k_f < 10^{-8}$ m/s von „sehr gering durchlässig“, bei $10^{-8} < k_f < 10^{-6}$ m/s von „gering durchlässig“ und bei $10^{-6} < k_f < 10^{-4}$ m/s von „durchlässig“ sprechen. Gesteine mit $k_f > 10^{-4}$ m/s stu-

²⁵ hier Boden im pedologischen Sinn

²⁶ bezogen auf die Hydrogeologische Karte 1:50.000 (HK 50)

fen sie als „stark durchlässig“ ein. Im Vergleich zu den Klassifikationen von EINSELE und HÖLTING werden die mittleren Durchlässigkeitsklassen damit enger gefasst.

Im DWA-Merkblatt M 146 (2004), der Arbeit von GREWING (1994) sowie in der Klassifizierung nach CASSAGRANDE werden zur grundsätzlichen Orientierung nur drei Durchlässigkeitsintervalle differenziert. Die ersten beiden ziehen bei 10^{-6} m/s und 10^{-4} m/s Klassengrenzen, ohne die Durchlässigkeitsbereiche verbal zu benennen. CASSAGRANDE verwendet als Klassengrenzen 10^{-9} m/s und 10^{-5} m/s und unterscheidet so „undurchlässig“, „schlecht durchlässig“ und „gut durchlässig“. Er berücksichtigt damit sowohl die in vielen Ansätzen wiederzufindende Grenze von 10^{-9} m/s als Übergang zur praktischen Undurchlässigkeit sowie die durch die Hydrogeologische Kartieranleitung vorgeschlagene Grenze zwischen Grundwassergeringleiter und Grundwasserleiter von 10^{-5} m/s.

Kriteriumsdifferenzierung

Zur Differenzierung werden die im Vorangegangenen bereits diskutierten Gliederungen zur Lithologie der Grundwasserüberdeckung übernommen (vgl. Kriterien 34 und 36). Hinsichtlich der im Rahmen der wissenschaftlichen Abwägung berücksichtigten Differenzierungsansätze wird auf die dortigen Ausführungen verwiesen.

Es erfolgt eine Kombination der für die lithologisch-petrographische Differenzierung der Locker- und Festgesteinsdeckschichten gewählten Ausprägungen, wobei aus den genannten Gründen diejenigen Gesteinsarten unbeachtet bleiben, welche aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeit nicht als Grundwasserleiter in Erscheinung treten. Auf eine quantitative Berücksichtigung der Durchlässigkeit wird verzichtet, weil diese qualitativ in den verbal formulierten Ausprägungen ausreichend impliziert ist.

Als Differenzierungen des Abwägungskriteriums „Lithologie des Grundwasserleiters“ (diskret verteilt, verhältnisskaliert) werden berücksichtigt:

- 1: Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn
- 2: Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn
- 3: Festgesteinsgrundwasserleiter aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen (z.B. Konglomerat, Sandstein)
- 4: Festgesteinsgrundwasserleiter aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Lockergesteinsgrundwasserleiter mit kiesigem bis sandigem Charakter und nur geringen Anteilen an feinerem Korn besitzen vergleichsweise gute Durchlässigkeiten, wodurch die zeitliche Verweildauer innerhalb des Grundwasserleiters gering bleibt. Die Retardierung kann dadurch deutlich eingeschränkt sein. Bei groben Kiesen mit hohen Abstandsgeschwindigkeiten bleiben sie nur wenig hinter denen von Festgesteinen zurück. Dominant sandige und vor allem kiesige Lockergesteinsgrundwasserleiter zeigen sich oft sensibel und zudem hoch ergiebig. Liegt ein solcher Aquifer im Betrachtungsraum vor, ist dies im Hinblick auf die Fragestellung als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu bewerten.

Zeigen kiesig-sandige Lockergesteinsgrundwasserleiter deutliche Beimengungen an Schluff und/oder Ton, wird ihre Durchlässigkeit verringert und ihre Retardierung wirksam erhöht, da sich die Kontaktzeit zwischen Grundwasser und Sediment verlängert, was Abbau- und Rückhaltprozesse begünstigt. Die höheren Feinkornanteile können das potenzielle Gefährdungsrisiko für das Grundwasser merklich reduzieren, so dass von einer „gefährdungsmindernden (-)“ Situation auszugehen ist, wenngleich sie auch bedingen, dass mit abnehmender Durchlässigkeit die Ergiebigkeit des Untergrundes abnimmt

und die Absenkung des Grundwasserspiegels wie auch die Ausbreitung des Absenkungstrichters bei gleicher Förderrate zunehmen.

Bei Festgesteinsgrundwasserleitern kann davon ausgegangen werden, dass diese eine relevante Klüftigkeit besitzen, da ohne diese eine Wasserwegsamkeit in ausreichendem Maße nicht anzunehmen ist. Aufgrund der Klufftströmung und der dadurch höheren Fließgeschwindigkeiten ist die Schutzwirkung eines Festgesteinsaquifers im Normalfall geringer als die eines vergleichbar aufgebauten Lockergesteinsgrundwasserleiters. Aus sandigen bzw. konglomeratischen Sedimenten hervorgegangene Festgesteinsaquifere werden hinsichtlich des Gefährdungsrisikos für das Grundwasser daher als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet.

Bei magmatischen, metamorphen und vor allem karbonatischen Gesteinen, die zur Grundwassergewinnung genutzt werden, ist davon auszugehen, dass Klüfte in relevantem Maße vorhanden sind, da aufgrund einer weitgehend fehlenden effektiven Matrixdurchlässigkeit andernfalls keine Wasserleitfähigkeit gegeben wäre (vgl. Kriterium 38). Die Rückhalteleistung derartiger Gesteine ist sehr gering oder fehlt praktisch ganz. Das potenzielle Gefährdungsrisiko für das Grundwasser ist in diesem Fall als sehr hoch anzusehen, was zu der Einstufung „besonders gefährdungsbestätigend (++)“ führt.

Kriterium 41

Schichteinfallen im Trassenbereich

Wirkungseinfluss

Grundwasser durchfließt einen durchlässigen Untergrund gemäß des gegebenen Potenzial-, d.h. Druckgefälles, welches natürlicher Weise je nach Aufbau und Eigenschaften des durchflossenen Untergrundes dem ausgebildeten Oberflächengewässernetz oder aber künstlichen Pumpmulden zuorientiert ist.

Die der Schwerkraft folgende vertikale Wasserbewegung durch ein anisotropes und inhomogenes Gesteinspaket wird in ihrem Maß, d.h.

ihrer Geschwindigkeit durch den Horizont innerhalb des Schichtverbandes geprägt, der die geringste Durchlässigkeit besitzt. Trifft Sickerwasser beim Durchlaufen des Untergrundes auf dem Weg zum Grundwasserleiter auf eine Gesteinsschicht, die im Vergleich zur überlagernden Schicht eine signifikant geringere Durchlässigkeit besitzt und als Grundwassergeringleiter oder gar als -nichtleiter in Erscheinung tritt, wird sich das Wasser je nach zusickerndem Wasservolumen, Durchlässigkeit dieser Schicht und etwaigen kurzschließenden Trenngefügen oberhalb der geringer durchlässigen Schicht stauen. Die dann verstärkt zum Zuge kommende laterale, schichtparallele Fließbewegung wird durch den Horizont mit der höchsten Durchlässigkeit und damit dem geringeren Fließwiderstand bestimmt. Begünstigt wird die schichtparallele Bewegung durch eine horizontbeständige Schichtausbildung, etwaige Schicht- oder Bankungsfugen und das Fehlen durchschlagender und damit schichtüberbrückender Trenngefüge.

Die resultierende vertikale Durchlässigkeit eines inhomogenen Gesteinspakets geht aus dem Produkt der Durchlässigkeit der Schicht mit der geringsten Durchlässigkeit und dem Quotienten der Gesamtmächtigkeit des Schichtpakets und der Mächtigkeit der Schicht mit der geringsten Durchlässigkeit hervor. Die resultierende horizontale Durchlässigkeit leitet sich dagegen aus dem Produkt der Durchlässigkeit der Schicht mit der größten Durchlässigkeit und dem Verhältnis zwischen der Mächtigkeit der Schicht mit der größten Durchlässigkeit und der Mächtigkeit der gesamten zu durchsickernden Schichtfolge ab (LANGGUTH 2004). Die laterale Wasserbewegung wird demnach v.a. durch gröbere, also porösere, und/oder wenig verfestigte, stärker durchlässige Schichten bestimmt, während feinkornreiche, weniger poröse und/oder stärker verfestigte Horizonte die Bewegung in vertikaler Richtung bestimmt.

Fallen Gesteinsschichten von einem Abwasserkanal aus in Richtung der Grundwassergewinnung ein kann, es bei Rohr- und Leitungsschäden mit austretendem Leckagenwasser zu einem Abströmen des exfiltrierenden Wassers oberhalb einer versickerungshemmenden Gesteinsschicht in Richtung der Grundwasserent-

nahme kommen. Eine etwaig existente potenziell retardierungswirksame Schicht kann dadurch für den effektiven Grundwasserschutz an Bedeutung verlieren. Umgekehrt ist der Fall denkbar, dass belastetes Sickerwasser durch das Schichteinfallen von einer Gewinnung weggeführt und dadurch das Grundwassergefährdungspotenzial zusätzlich verringert wird.

Voraussetzung für eine Bedeutungsrelevanz des Schichteinfallens ist in diesem Zusammenhang, dass ein etwaiges Abfließen im Schichteinfallen nicht durch hydraulischen Stress, d.h. grundwasserentnahmebedingte Beeinflussungen wie künstliche Pumpmulden, oder nicht dem Schichteinfallen folgende Fließgradienten überlagert und damit außer Kraft gesetzt wird. Auch das Ausstreichen oder vorübergehende Aussetzen geologischer Schichten und das Überbrücken stauender oder hemmender Schichten durch kurzschließende Trenngefüge können eine entsprechende Wirkung außer Kraft setzen.

Kriteriumsdifferenzierung

Lagerungsverhältnisse im Untergrund gestalten sich ebenso wie deren unmittelbarer und mittelbarer Einfluss auf die Sicker- und Grundwasserbewegung oft kompliziert, insbesondere dann, wenn es durch Grundwasserentnahmen zu einer Überlagerung der natürlichen Strömungsverhältnisse im Untergrund kommt.

Aus den geschilderten Gründen soll das Schichteinfallen in der Gesamtbetrachtung mit berücksichtigt werden. Auch wenn dieses als Abwägungskriterium hinsichtlich seiner Bedeutungsrelevanz nicht den gleichen hohen Stellenwert genießt wie andere planungs- und raumspezifischen Aspekte, so kann dies dennoch von ergänzend wichtiger Bedeutung für die Beurteilung der fallspezifischen Situation und die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung sein. Ist das Einfallen geologischer Gesteinshorizonte variabel oder auch nur gering, reicht als Worst-Case bereits die begründete Vermutung aus, dass Schichten so orientiert sind, dass diese den (Ruhe-)Abstrom zu einer Wassergewinnungsanlage hin begünstigen.

Der zunächst verfolgte Ansatz, auch die Größe der Schichtneigung mit in die Differenzierung einzuschließen, wird nicht weiter verfolgt. Zwar wäre bei der Berücksichtigung verschiedener Einfallswinkel gegebenenfalls eine grobe Abschätzung darüber möglich, ob ein seitliches Abführen oberhalb einer stauenden Schicht schneller oder langsamer vonstatten geht, jedoch wird die Einfallsrichtung an sich bereits als ausreichend erachtet, eine qualitative Aussage zur Minderung oder Steigerung des Grundwassergefährdungsrisikos zu machen.

Damit werden hinsichtlich des Abwägungskriteriums „Schichteinfallen im Trassenbereich“ (diskret verteilt, nominal skaliert) innerhalb des Expertensystems als Ausprägungen differenziert:

- 1: in Richtung einer oder mehrerer Wassergewinnungsanlagen
- 2: von Wassergewinnungsanlagen weg

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Fallen die Gesteinsschichten im Untergrund zur Grundwasserentnahme hin ein, kann der angeführte Fall eintreten, dass belastete Sickerwässer oberhalb einer stauenden Schicht auch bei Brunnenruhe bzw. in Bereichen, die hydraulisch nicht von der Grundwasserentnahme beeinflusst sind und in denen die natürlichen hydraulischen Gegebenheiten dies zulassen, zur Wassergewinnung abgeführt werden und dadurch die Retardierungswirkung des Untergrundes nicht voll zum Zuge kommt. Dies kann im Hinblick auf das Grundwassergefährdungspotenzial gegebenenfalls „gefährdungsbestätigend (+)“ sein.

Im umgekehrten Fall wird möglicherweise belastetes Sickerwasser von der Gewinnung weggeleitet, wodurch der Ort, an dem Kontaminationen an Schichtunstetigkeiten weiter vertikal in den Untergrund vordringen können, weiter entfernt zur Grundwasserentnahme liegen kann als die Kanaltrasse als eigentlichem Emissionsherd. Dies kann gegebenenfalls die Aufenthaltszeit im Untergrund erhöhen und einen „gefährdungsmindernden (-)“ Wirkungseinfluss darstellen.

Kriterium 42

Grundwasserstockwerke**Wirkungseinfluss**

Durch wechselnde Entstehungsbedingungen, welche den Aufbau des geologischen Untergrundes bestimmt haben, kommt es sowohl in Festgesteinsverbänden wie auch innerhalb von Lockergesteinsserien zu verschiedenmaßstäblichen Anisotropien und Inhomogenitäten, welche von Bedeutung für das Vorkommen, das Einspeichern und das Weiterleiten von Grundwasser sind. Durch eine Wechsellagerung von grundwasserleitenden und grundwassernicht- bzw. grundwassergeringleitenden Schichten kann es zur Ausbildung verschiedener übereinanderliegender Grundwasservorkommen kommen, die sich hydraulisch unterschiedlich verhalten und teilweise bis vollständig unabhängig voneinander sein können (HÖLTING 2005).

Für den Grundwasserschutz ist die Ausbildung unterschiedlicher Grundwasserstockwerke von besonderer Bedeutung, da durch zwischenlagernde, stockwerksabgrenzende Trennschichten mit geringer Durchlässigkeit das Vordringen von Schadstoffen aus Oberflächennähe in tiefere Grundwasservorkommen verhindert oder zumindest relevant verringert werden kann (DVWK 1993). Tiefere Grundwasserstockwerke zeigen sich dahingehend oft besonders gegen Stoffzutritte geschützt, wie sie z.B. aus Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen bei Baumaßnahmen oder bei Leckagen aus Abwasserkanälen hervorgehen können.

Derartige stoffliche Einflüsse betreffen zumeist das oberste Grundwasserstockwerk und können dort zu einer unmittelbaren Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit führen, müssen jedoch nicht zwangsläufig zu einer bedeutsamen Beeinflussung des Grundwassers im darunter liegenden Aquifer führen, da durch die stockwerkstrennende Stauschicht der vertikale Austausch zwischen den Stockwerken verlangsamt und die Retardierung begünstigt wird. Auch der umgekehrte Fall ist möglich, dass in tiefer liegenden Grundwasserstockwerken gegebene stoffliche Belastungen von Grundwas-

serleitem oberhalb ferngehalten werden (MONZEL 1992). So sind z.B. innerhalb der Niederrheinischen Tiefebene um Euskirchen sumpfbedingte Anstiege an Sulfat auf bestimmte Grundwasserstockwerke beschränkt und betreffen Grundwasservorkommen in Horizonten oberhalb und unterhalb nicht (WOLF 2007b).

Voraussetzung für einen Grundwasserstockwerksbau mit vertikal gegeneinander abgrenzbaren Grundwasserleitern sind zwischenlagernde Schichten geringer oder verschwindend geringer Durchlässigkeit (MÜLLER 1999), welche als hydraulische Sperren in Erscheinung treten. Ihre Mächtigkeit, Lithologie und Horizontbeständigkeit bestimmen maßgeblich, inwiefern es zu einem hydraulischen Austausch zwischen den Grundwasservorkommen ober- und unterhalb durch flächige Zusickerungen („Leakage“) oder punktuelle bzw. lineare Übergänge an geologischen Fenstern oder wasserwegsamem tektonischen Lineamenten kommt. Ein natürlicher Austausch zwischen verschiedenen Stockwerken ist trotz trennender Stauschichten immer in gewissem Maß gegeben und im Hinblick auf die Grundwasserneubildung im tieferen Aquifer auch erforderlich. Er beruht auf der Tatsache, dass selbst nahezu undurchlässige Schichten faktisch über eine gewisse Durchlässigkeit verfügen, die zwar sehr klein ist, jedoch in Abhängigkeit zur Zeit und räumlichen Ausdehnung durchaus von Relevanz sein kann.

Eine Ausgliederung von Grundwasserstockwerken erfordert in der Regel eine nicht nur kleinräumliche, z.B. auf lokalen Schichtwässern beruhende Verbreitung verschiedener vertikaler Grundwasservorkommen im Sinne von schwebendem Grundwasser, sondern eine übergeordnete räumliche Erstreckung. Ein weniger weitflächig ausgedehnter, jedoch im Hinblick auf den Grundwasserschutz mitunter nicht bedeutungsloser Grundwasserstockwerksbau ist oft in der Nähe mittlerer oder größerer Fließgewässer gegeben, wo sich bei entsprechender lithologischer Ausbildung, Mächtigkeit und Ausdehnung der Auensedimente ein zumindest teilweise vom Grundwasser unterhalb entkoppeltes quartäres Grundwasservorkommen ausbilden kann. Die auflagernden Auensedimente bewirken im unterlagernden Grundwasserleiter oftmals halbge-

spannte bis gespannte Verhältnisse (vgl. Kriterium 46), wodurch einem vertikalen Vordringen von stofflichen Belastungen von der Oberfläche her zur Tiefe hin entgegengewirkt wird.

Idealtypische, weiträumig ausgedehnte Grundwasserstockwerke finden sich z.B. innerhalb der mächtigen quartären Sedimentfolge des Oberrheingrabens oder der Niederrheinischen Tiefebene, wo innerhalb der zahlreichen Sand- und Kieshorizonte u.a. der pliozänen Reuver-, Rotton- oder Hauptkies-Serie vertikal gegeneinander abgrenzbare Grundwasservorkommen ausgebildet sind, die durch Tonschichten gegeneinander abgetrennt werden.

Im Saarland ist ein weiträumiger Stockwerksbau im klassischen Sinne innerhalb der Festgesteine der Trias gegeben, wo die Kalke und Dolomite des Oberen Muschelkalkes ein eigenständiges Grundwasservorkommen (Kluft- bzw. Karstgrundwasserleiter) ausbilden, dem innerhalb der Sandsteine und Konglomerate des Mittleren Buntsandsteins (Poren-Kluft-Grundwasserleiter) ein zweites ausgedehntes Grundwasserstockwerk folgt. Innerhalb des Buntsandsteins können sich Zwischenstockwerke ausbilden, die aufgrund eines Fehlens aushaltender zwischenlagernder Stauschichten innerhalb der Folge jedoch keine überörtliche Bedeutung besitzen.

Die Existenz verschiedener Grundwasserstockwerke erweist sich im Hinblick auf die Fragestellung insbesondere dann als bedeutsam, wenn sich das zur Trinkwassergewinnung herangezogene Grundwasserstockwerk von dem Grundwasserstockwerk unterscheidet, das von der Abwasserkanalführung bzw. der Kanalbaumaßnahme betroffen ist (vgl. Kriterium 43).

Bei baulichen Eingriffen in den Untergrund ist zwingend darauf zu achten, dass es durch tief einbindende Bauwerke, Gründungen o.ä. nicht zu einem Kurzschluss verschiedener Grundwasserstockwerke kommt, der zu einer direkten Kommunikation getrennter Grundwasserleiter führt und Vertikaldrainagen für etwaig belastete Sickerwässer schafft. Stockwerkstrennende Schichten sind zu erhalten bzw. bei einem erforderlichen Abdecken wirksam wiederherzustellen.

Kriteriumsdifferenzierung

Es ist zu erheben, ob im von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme betroffenen Gebiet unterschiedliche Grundwasserstockwerke ausgebildet sind. Zur Differenzierung reichen zwei Fälle aus. Ist eine der Ausprägungen nicht zutreffend, folgt daraus, dass die jeweils andere Gültigkeit besitzen muss. Die Abfrage, wo die geplante Baumaßnahme in Bezug zur Trinkwassergewinnung erfolgt, wird separat betrachtet (vgl. Kriterium 43).

Aus der Differenzierung des Kriteriums „Grundwasserstockwerke“ (diskret verteilt, nominal skaliert) resultieren als Ausprägungen:

- 1: verschiedene Grundwasserstockwerke sind vorhanden
- 2: verschiedene Grundwasserstockwerke sind nicht vorhanden

Wie erläutert sind in der Betrachtung neben weiträumig ausgebildeten Grundwasserstockwerken gegebenenfalls auch lokal, d.h. z.B. in Gewässerauen vorhandene Stockwerksbildungen zu berücksichtigen, wenn davon auszugehen ist, dass zwischen den verschiedenen Grundwasservorkommen eine retardierungsrelevante Verzögerung der vertikalen Grundwasserbewegung gegeben ist.

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sind verschiedene, vertikal durch gering durchlässige Schichten voneinander abgetrennte Grundwasservorkommen gegeben, so kann dies im Hinblick auf die potenzielle Grundwassergefährdung als „gefährdungsmindernder (-)“ Wirkungseinfluss zum Tragen kommen. Zwar muss als entscheidendes Faktum mit berücksichtigt werden, ob die Kanalbaumaßnahme und die Grundwassergewinnung im gleichen Grundwasserstockwerk erfolgen (vgl. Kriterium 43), jedoch kann aus der Existenz verschiedener Grundwasserstockwerke allein bereits ein möglicher Handlungsspielraum bei akuten oder zu befürchtenden Beeinträchtigungen der Grundwas-

serbeschaffenheit resultieren. Erfolgen Wassergewinnung und Abwasserkanalführung im gleichen Aquifer kann bei mehreren Grundwasserstockwerken unter Umständen die Möglichkeit gegeben sein, die Trinkwasserentnahme ersatzweise auf ein anderes, im Regelfall dann tieferes Grundwasservorkommen zu verlagern, wodurch gegebenenfalls eine Alternative bestünde, die Wassergewinnung zu sichern, auch wenn hiermit umfangreiche bauliche Maßnahmen und Kosten verbunden wären. Vor allem bei einer gestaffelten Anordnung mehrerer hinsichtlich Ergiebigkeit und Nutzbarkeit ähnlicher Grundwasservorkommen wie z.B. innerhalb der Niederrheinischen Tiefebene erscheinen entsprechende Alternativen abzuwägen.

Sind keine unterschiedlichen Grundwasserstockwerke ausgebildet, so ist dies grundsätzlich als „gefährdungsbestätigend (+)“ anzusehen. Stoffliche Einträge, die den wassererfüllten Untergrundbereich erreichen, betreffen in jedem Fall das Grundwasservorkommen, das zur Trinkwassergewinnung herangezogen wird.

Kriterium 43

Förderung und Baumaßnahme im gleichen Grundwasserstockwerk

Wirkungseinfluss

Ist in einem zur Wassergewinnung herangezogenen Gebiet nur ein Grundwasserleiter ausgebildet, kommt der Grundwasserüberdeckung die alleinige Bedeutung zu, oberflächennah zuzickernde Belastungen von einem Zutreten zum genutzten Grundwasser abzuhalten (vgl. Kriterien 33 bis 36). Reicht hierzu die „Natural Attenuation“ der Deckschichten nicht aus, bestehen mit Ausnahme der Retardierung im Grundwasserleiter selbst keine natürlichen Schutzmechanismen, welche dem Ausbreiten von Stoffen im Untergrund entgegenwirken.

Kommt es aufgrund einer beständigen, weitgehend ungestörten und dadurch hydraulisch wirksamen Wechsellagerung wasserdurchlässiger und -gering- bzw. -nichtleitender Schichten zu verschiedenen Grundwasserstockwerken (vgl.

Kriterium 42) kann dies dann einen zusätzlichen Schutz für ein als Trinkwasser genutztes Grundwasser bedeuten, wenn bauliche Eingriffe, wie sie bei der Errichtung einer Abwasserkanalisation erforderlich werden nicht im selben Grundwasserstockwerk erfolgen, aus dem auch die Trinkwassergewinnung erfolgt. Ein Stoffeintrag während der Baumaßnahme oder durch spätere Kanalleckagen wird sich, sofern er durch die Gestaltung der Leitungszone (vgl. Kriterium 16) nicht verhindert werden kann, zunächst in dem Stockwerk ausbreiten, in dem die Kanalisation verläuft. Dies wird in der Regel das oberste Stockwerk, je nach dessen Mächtigkeit und Tiefenlage der Kanalgründung auch das darunter liegende Stockwerk sein.

Erfolgt die Wassergewinnung aus einem anderen Stockwerk als dem, das unmittelbar durch die Abwasserableitung betroffen ist, ist damit eine Entschärfung der Gefährdungssituation verbunden. Aus der Lagebeziehung zwischen Baumaßnahme und wasserwirtschaftlich genutztem Grundwasservorkommen kann demnach eine deutliche Gefährdungsminderung für die Trinkwasserversorgung resultieren. Je nach dem welches Ausbreitungsverhalten und welche Abbaufähigkeit der eingetragene Stoff besitzt und wie gering durchlässig die stockwerkstrennende Stauschicht ist, wird erst bei fortschreitender Zeitdauer durch allmähliches Zusickern eine Beeinflussung des genutzten Aquifers möglich sein. Unabhängig davon kann die Gefährdung des Grundwasserleiters im durch die Kanalführung direkt beeinflussten Grundwasserstockwerk dennoch hoch sein.

Kriteriumsdifferenzierung

Es ist nicht auszuschließen, dass Kanalbaumaßnahmen, wenn diese besonders tief in den Untergrund eingreifen und das oberste Grundwasserstockwerk nur geringmächtig ist, trotz der Forderung, stockwerksabtrennende Schichten nicht zu verletzen, diese dennoch durchtrennen müssen. In diesem Fall ist auch das Grundwasservorkommen im liegenden, zweiten Stockwerk von stofflichen Einflüssen während der Bauphase und gegebenenfalls solchen während des späteren Kanalbetriebes potenziell beeinflusst.

Es kann zudem in Fällen, in denen eine besonders tiefe Trassenführung erforderlich wird, der Fall eintreten, dass ein Abwasserkanal in einem Grundwasserstockwerk unterhalb eines flachen, oberflächennahen Grundwasservorkommens verlegt werden muss, das z.B. über Quelfassungen oder Horizontalfilterbrunnen (vgl. Kriterium 21) zur Trinkwassergewinnung herangezogen wird. Im Regelfall wird eine Grundwasserentnahme jedoch im gleichen bzw. in einem tieferen Grundwasserstockwerk erfolgen als die Siedlungsentwässerung.

Innerhalb der vorliegenden Betrachtung gilt es zu erheben, wie Baumaßnahme und Wasserförderung relativ zu einander liegen. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob sich der genutzte Grundwasserleiter unter oder über demjenigen befindet, der von der geplanten Abwasserdurchleitung unmittelbar betroffen sein wird. Sofern aus der vorangegangenen Erhebung (vgl. Kriterium 42) resultiert, dass keine verschiedenen Grundwasserstockwerke vorliegen, erübrigt sich die Erhebung der Lagekonstellation, da dann Förderung und Baumaßnahme in jedem Fall im gleichen Grundwasserstockwerk stattfinden. Dies wird bei der Verknüpfung der Abwägungskriterien berücksichtigt (vgl. Kap. 5).

Im Hinblick auf das Abwägungskriterium „Förderung und Baumaßnahme im gleichen Grundwasserstockwerk“ (diskret verteilt, nominal skaliert) werden als Ausprägungen differenziert:

- | |
|---|
| <p>1: Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme im gleichen Grundwasserstockwerk</p> <p>2: Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme nicht im gleichen Grundwasserstockwerk</p> |
|---|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Ist ein Grundwasserstockwerksbau im Untergrund gegeben, erfolgen Kanalführung und Baumaßnahme jedoch im gleichen Grundwasserleiter, so ist keine zusätzliche Schutzwirkung für

das genutzte Grundwasser vorhanden. Die Situation ist so einzuschätzen, als wäre nur ein Grundwasserleiter ausgebildet. Die Retardierungswirkungen der Deckschichten und der wassergesättigten Untergrundzone stellen die alleinigen Schutzmechanismen zur Elimination von stofflichen Einträgen dar. Kontaminationen, die den wassererfüllten Untergrund erreichen, betreffen das Grundwasser, das zur Wasserversorgung entnommen wird. Ein etwaiges Verlagern der Förderung auf einen anderen Grundwasserleiter ist nicht denkbar. Aus Sicht des potenziellen Risikos für das genutzte Grundwasservorkommen ist dies in jedem Fall als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ zu beurteilen. Ein unter Umständen gegebenes, zuvor positiv bewertetes Vorliegen mehrerer Grundwasserstockwerke (vgl. Kriterium 42) wird relativiert.

Wirken die Abwasserkanalisation und die zu deren Errichtung erforderlichen Tiefbaumaßnahmen nicht unmittelbar auf den Grundwasserleiter ein, der zur Trinkwassergewinnung herangezogen wird, ist dies aufgrund der angeführten Gesichtspunkte als „deutlich gefährdungsmindernd (--)“ zu bewerten. Es kann von einem zusätzlichen Schutz des genutzten Grundwasservorkommens ausgegangen werden. Die Gefährdung des durch den Abwasserkanal unmittelbar beeinflussten Grundwasserstockwerks bleibt hiervon jedoch unberührt.

Kriterium 44

Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel

Wirkungseinfluss

Bei der Einschätzung des von Abwasserkanälen ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials stellt der Vertikalabstand zwischen dem Kanalbauwerk, d.h. der Kanalsole, und dem Grundwasserspiegel ein mit zu beachtendes Abwägungskriterium dar. Er definiert bei einer Grundwasserspiegellage unterhalb des Kanals die Mächtigkeit der ungesättigten Zone, die von besonderer Relevanz für den Abbau und den Rückhalt von Schadstoffen ist, welche z.B. über

Kanalleckagen oder die Baugrube in den Untergrund eingetragen werden. Liegt ein höherer Abstand vor, kann davon ausgegangen werden, dass ein generell geringeres potenzielles Gefährdungsrisiko für das Grundwasser besteht, als bei einem nur geringen Vertikalabstand zwischen potentiellm Eintragsherd und Grundwasser. Stellt sich die Beschaffenheit der Deckschichten als weniger günstig dar (vgl. Kriterien 33 bis 36), kann dies zumindest teilweise durch einen größeren Sickerweg bis zum Erreichen des Grundwassers ausgeglichen werden.

Die vorangegangenen Betrachtungen zur Grundwasserüberdeckung kamen zu dem Ergebnis, dass eine pauschale Klassifizierung von Mächtigkeiten ohne Bezug zur Lithologie und Klüftung nur grob möglich ist. Eine zusätzliche Erhebung des Vertikalabstandes zwischen Kanal und Grundwasser an dieser Stelle erscheint daher sinnvoll, um die bereits betrachteten Aspekte zur Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung und damit zur Empfindlichkeit des Grundwassers zu ergänzen. Ziel soll es sein, Abstandsintervalle zu differenzieren, die einen qualitativen Bezug zur potenziellen Grundwassergefährdung zulassen. Zusammen mit den Informationen zur Einbettungstiefe des Abwasserkanals (vgl. Kriterium 3) wird damit auch indirekt der Grundwasserflurabstand als lotrechtem Abstand zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Grundwasseroberfläche des ersten Grundwasserstockwerks klassifiziert abschätzbar (DIN 4049-3 1994).

Kriteriumsdifferenzierung

Die Differenzierung erfolgt durch eine Bezugnahme auf Abstandsklassen. Die Betrachtung zielt dabei auf die Konstellation ab, dass der Grundwasserspiegel unter der Kanalsole zum Liegen kommt (vgl. Kriterium 45). Ist dies nicht der Fall, verliert der Abstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel – in diesem Fall dann besser zwischen Grundwasserspiegel und Abwasserkanal – diesbezüglich an Aussagebedeutung.

Zwar finden sich in der Fachliteratur, z.B. in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN

1994/2005) oder der Arbeit von VIERHUFF (1981 in DVWK 1993), Ansätze zur qualitativen Differenzierung des Vertikalabstandes zwischen Geländeoberfläche und Grundwasserspiegel (Grundwasserflurabstand), jedoch nicht zwischen Gründungstiefen und Grundwasser. Ein Bezug auf die Klassifizierungsansätze für den Grundwasserflurabstand erscheint nicht unproblematisch, da diese z.T. sehr differenziert sind, weswegen sie für die Betrachtungen innerhalb des Expertensystems nicht übernommen werden. Es erfolgt stattdessen unter Berücksichtigung u.a. der Arbeiten von REHSE (1977), BOLSENKÖTTER (1984) und HÖLTING (1995) ein Vorschlag von Abstandsintervallen, welche für eine Betrachtung des Grundwasserrisikos qualitativ von Bedeutung sein können.

Die Differenzierung berücksichtigt drei Wertebereiche bezogen auf die Kanalsole, wobei die ersten 5 m bzw. 20 m besondere Beachtung finden und als Klassengrenzen übernommen werden. Als Ausprägungen bezüglich des „Vertikalabstandes zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel“ (stetig verteilt, verhältnisskaliert) werden damit berücksichtigt:

- 1: Abstand zwischen Abwasserkanalsole und Grundwasser bis zu 5 m
- 2: Abstand zwischen Abwasserkanalsole und Grundwasser bis zu 20 m
- 3: Abstand zwischen Abwasserkanalsole und Grundwasser bis über 20 m

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung²⁷

Beträgt der Abstand zwischen der Sohle des Abwasserkanals und dem Grundwasserspiegel bis zu 5 m, wird dies als „deutlich gefährdungsbestätigender (++)“ Wirkungseinfluss eingestuft. Nur bei gering durchlässigen Lockergesteinen mit hohen Anteilen an Ton und Schluff genügen entsprechende Mächtigkeiten für eine ausreichende Schutzwirkung und Elimination von

²⁷ es wird jeweils von einer Kanalführung oberhalb des Grundwasserspiegels ausgegangen (vgl. Kriterium 45)

Schadstoffen. Bei allen anderen Locker- und vor allem bei Festgesteinsarten sind höhere Mächtigkeiten erforderlich.

Wenngleich ein Vertikalabstand bis 20 m bei Sanden und z.T. sandigen Kiesen sowie bei vergleichsweise gut abschirmenden Festgesteinen wie u.a. Mergelgestein, Sandstein-Tonstein-Wechsellagerungen, Ton- und Glimmerschiefer bei geringer Klüftigkeit einen wirksamen Schutz bietet, erfordert ein solcher bei feinkornarmen Kiesen und klüftigen Festgesteinen mitunter deutlich höhere Abstände. Eine relevante Grundwassergefährdung kann nicht ausgeschlossen werden, was eine Einstufung als „gefährdungsbestätigend (+)“ rechtfertigt.

Bei größeren Mächtigkeiten hängt es von der Ausprägung des grundwasserüberdeckenden Gesteins ab, in welchem Maß sich die Gefährdungssituation entschärft. Grundsätzlich wird angenommen, dass bei großen Vertikalabständen zwischen Kanalsole und Grundwasser zumindest eine gewisser „gefährdungsmindernder (-)“ Wirkungseinfluss gegeben ist.

Kriterium 45

Grundwasserstand im Verhältnis zur Kanalsole

Wirkungseinfluss

Zur letztendlichen Inwertsetzung des Vertikalabstandes zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel (vgl. Kriterium 44) ist noch zu klären, wo der Grundwasserspiegel im Verhältnis zur Kanalsole liegt, d.h. ob das geplante Kanalbauwerk oberhalb oder unterhalb des Grundwasserspiegels verlaufen wird. Dieses Faktum ist für eine Einschätzung des vom Abwasserkanal ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials mit von entscheidender Bedeutung, da es bestimmt, ob es zu einer Abwasserexfiltration oder aber zu einer Grundwasserinfiltration kommt.

Undichtigkeiten an Abwasserkanälen oder -leitungen haben stoffliche Austauschprozesse zwischen Grundwasser und dem Kanalisations-

system zur Folge. Befindet sich der Wasserstand im Abwasserkanal oberhalb der Grundwasser Oberfläche oder kommt es zu einer Überlastung mit einem gegenüber dem Außenwasserdruck größeren Innenwasserdruck im Kanal, kann Abwasser durch die Schadstellen im Rohr bzw. der Leitung in den Untergrund exfiltrieren und zu einer Belastung des Grundwassers führen. Im umgekehrten Fall einer Lage des Abwasserkanals im Aquifer infiltriert Grundwasser, unter Umständen zusammen mit Bodenmaterial aus der Leitungszone, in den defekten Kanal.

Abwasserexfiltrationen können zu einer Veränderung von Grundwasserständen, Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen sowie vor allem zu stofflichen Belastungen des Grundwassers führen (HÄRIG 1991). Folgeschäden sind neben dem Schadstoffeintrag in Grundwasser und Boden schädigende Auswirkungen auf Leitungen, Bauwerke oder den Straßenoberbau sowie Änderungen der Bettungsbedingungen wie z.B. Lageabweichungen, Verformungen, Risse, Rohrbrüche oder Einstürze (STEIN 1998).

Grundwasserinfiltrationen ziehen dagegen eine Erhöhung des Fremdwasseranteils innerhalb des Abwasserkanals nach sich, die zu einer Erhöhung der Schadstofffracht in den Vorfluter, der Kosten für Abwassertransport und Abwasserbehandlung sowie der Abwasserabgabe führt. Es kommt u.a. zu einer hydraulischen Mehrbelastung von Kläranlagen, Kanälen und Pumpwerken bis hin zu deren Überlastung. Durch Absenkungen des Grundwasserspiegels kann es zu Setzungen und damit zu Schäden an Bauwerken sowie durch Wassermangel zu Schädigungen am Bewuchs kommen. Darüber hinaus sind Schadfolgen durch Änderungen der Bettungsbedingungen möglich (STEIN 1998).

DOHMANN (1996) nimmt an, dass rund 80 % der Kanallänge in der alten Bundesrepublik „exfiltrationswirksam“ sind und somit einen Betriebswasserspiegel oberhalb des Grundwasserspiegels besitzen. Hieraus leitet sich eine aus öffentlichen Kanalisationen im Untergrund versickernde Exfiltrationsmenge von jährlich 180 Mio. m³ (Minimalabschätzung) bis 330 Mio. m³ (Maximalabschätzung) ab (DECKER 1995). EISWIRTH

(1999) nimmt an, dass von der täglich in Deutschland anfallenden Abwassermenge von 140 bis 160 Litern pro Einwohner im Durchschnitt etwa 15 Liter durch Kanalleckagen in den Untergrund entweichen. Im Schnitt läge der Exfiltrationsanteil damit bei 17 %. Allgemeingültige quantitative Aussagen über Abwasserexfiltrationen in Abhängigkeit von Randbedingungen wie Fließtiefe bzw. Druckhöhe, Hydraulik, Abwasserbeschaffenheit, Schadensart und Schadensausdehnung sowie geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes liegen bislang nicht vor (STEIN 1998).

Kriteriumsdifferenzierung

Die beiden grundsätzlich möglichen Konstellationen zwischen Grundwasserspiegel und Abwasserkanal sind zu differenzieren. Für den Fall, dass es z.B. durch variierende Einbindungstiefen bzw. Grundwasserflurabstände innerhalb des Wasserschutzgebietes zu wechselnden Lagekonstellationen kommt, ist die Ausprägung zu wählen, welche die fallspezifische Situation am ehesten wiedergibt und repräsentativ für die örtliche Situation ist. Somit gehen aus der Differenzierung des „Grundwasserstandes im Verhältnis zur Kanalsohle“ (diskret verteilt, nominal skaliert) die beiden Ausprägungen hervor:

- 1: Grundwasserspiegel oberhalb der Kanalsohle
- 2: Grundwasserspiegel unterhalb der Kanalsohle

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Liegt der Grundwasserspiegel oberhalb der Kanalsohle, kann dies eine Entschärfung des Risikos für das Grundwasser bedeuten. Sofern die Druckverhältnisse innerhalb des Abwasserkanals nicht höher sind als außerhalb, wird es zu einer Infiltration von Grundwasser in die Kanalisation kommen. Damit werden Schadstoffaustritte in den Untergrund unterbunden, was im Hinblick auf das Gefährdungsrisiko des Grundwassers als „gefährdungsmindernd (-)“ einzu-

stufen ist. Zu einer Exfiltration von Abwasser kann es trotz einer Grundwasserspiegellage über der Kanalsohle nur dann kommen, wenn es innerhalb der Kanalisation durch hydraulische Belastung oder bei Druckleitungen (vgl. Kriterium 2) durch den Betriebsdruck zu einem höheren Druck kommt als außerhalb. Auch kann beim völligen Kollabieren eines Rohres bzw. einer Leitung eine Vermischung von Ab- und Grundwasser nicht ausgeschlossen werden.

In der mehrheitlichen Zahl der Fälle ist davon auszugehen, dass sich das Kanalniveau oberhalb des Grundwasserspiegels befindet. Damit ist bei Kanalleckagen in Abhängigkeit von der Gestaltung der Kanalbettung (vgl. Kriterium 16) von einem Übergang von Abwasser und damit stofflichen Belastungen in den Untergrund auszugehen. Ein „gefährdungsbestätigender (+)“ Wirkungseinfluss ist gegeben.

Kriterium 46

Hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter

Wirkungseinfluss

Je nach Aufbau des Untergrundes und der Überlagerung durch gering- oder -nichtleitende Gesteinsschichten können sich in einem Grundwasserleiter unterschiedliche hydraulische Drucksituationen einstellen, welche zeitlich (z.B. bei schwankenden Grundwasserständen im jahreszeitlichen Verlauf) oder räumlich (z.B. zwischen Tal- und Hanglagen) variieren können und im Absenkungsbereich einer Grundwasserentnahme über Pumpen unmittelbar durch die sich ausbildende künstliche Grundwasserdepression beeinflusst werden.

Kann sich die Grundwasseroberfläche als obere Grenzfläche eines Grundwasserkörpers (DIN 4049-3 1994) frei verändern und wird diese Veränderung nicht durch eine mehr oder weniger undurchlässige Schicht im Hangenden beeinflusst, liegt freies oder ungespanntes Grundwasser vor. Grundwasseroberfläche und Grundwasserdruckfläche als geometrischer Ort der Endpunkte aller Standrohrspiegelhöhen einer

Grundwasseroberfläche (DIN 4049-3, 1994), sind identisch. Demgegenüber ist Grundwasser dann gespannt, wenn sich die Grundwasseroberfläche nicht frei verändern kann und ein Anstieg des Grundwasserspiegels durch eine überlagernde Stauschicht verhindert wird. Die Grundwasseroberfläche entspricht dann nicht mehr der Grundwasserdruckfläche, sondern der durch den geologischen Untergrundaufbau vorgegebenen Grundwasserdeckfläche. Liegt die Grundwasserdruckfläche oberhalb der Geländeoberfläche, ist das Grundwasser artesisch gespannt (MATTHESS 2000).

Zwischen ungespannten und gespannten Verhältnissen existieren Übergangsformen. Wird die Veränderung der Grundwasseroberfläche bei Anstieg des Grundwasserspiegels nicht in dem Maße gehemmt wie bei gespannten Grundwasserbedingungen, bei denen die Durchlässigkeit der hangenden Stauschicht verschwindend gering ist, sondern ist oberhalb des Grundwasserleiters ein Gestein ausgebildet, das im Vergleich zum Aquifer eine signifikant geringere hydraulische Leitfähigkeit besitzt, die jedoch nicht vernachlässigbar klein ist, liegen sogenannte halbgespannte Verhältnisse vor. Die Wasserbewegung innerhalb der gering durchlässigen Schicht im Hangenden beschränkt sich hierbei auf die Vertikale. Horizontal erfolgt nahezu keine Durchströmung.

Sind die den Grundwasserleiter überlagernden Schichten demgegenüber durchlässiger, jedoch immer noch signifikant geringer hydraulisch leitfähig als der Aquifer, liegt eine halbgespannte Drucksituation vor. In der den Grundwasserleiter überlagernden Schicht ist eine vertikale wie auch horizontale Wasserströmung möglich, die in ihrem Maß jedoch hinter derjenigen im Grundwasserleiter zurückbleibt.

Gespannte Verhältnisse treten typischer Weise in Grundwasserleitern auf, welche von dichten und oft auch mächtigen Ton(stein)schichten überlagert werden, und damit oft, jedoch nicht nur in tieferen Grundwasserstockwerken (vgl. Kriterium 42). Weitreichende, nicht auf das unmittelbare Umfeld einer Grundwasserförderung beschränkte ungespannte Verhältnisse sind in tieferen Grundwasserstockwerken zumeist auf

Entnahmen zurückzuführen, welche die Leistungsfähigkeit des Grundwasserleiters übersteigen. So ist es in tiefen Grundwasserstockwerken innerhalb der bereits mehrfach angeführten Lockergesteinsserie der Niederrheinischen Tiefebene um Euskirchen durch bergbaubedingte Grundwasserentnahmen zu einem weiträumigen Verschwinden der gespannten Verhältnisse gekommen, während überlagernde, nicht von der Sümpfung betroffene Horizonte z.T. noch immer gespannte Verhältnisse zeigen.

Halbgespannte Verhältnisse finden sich oftmals innerhalb von Gewässerauen der Mittelgebirgsregion, wo sandig-lehmige, insbesondere aber schluffig-tonige, z.T. anmoorige Ablagerungen eine Reduzierung der vertikalen Durchlässigkeiten bedingen können. Dies kann in den Tallagen dazu führen, dass die Grundwasserdruckfläche des unterlagernden Aquifers innerhalb oder gar oberhalb der Auensedimente zum Liegen kommt, was zu einer aufwärts gerichteten Strömungsbewegung aus dem unterlagernden halbgespannten Grundwasserleiter in die Auensedimente führt. An den Talhängen gehen die halbgespannten oft in freie Verhältnisse über.

Gespannte wie auch halbgespannte Verhältnisse belegen somit eine begünstigende Abschirmung und eine vertikal aufwärts gerichtete Wasserbewegung im (halb)gespannten Aquifer, was dessen Sensibilität gegenüber oberflächennahen stofflichen Zutritten verringert.

Kriteriumsdifferenzierung

Die unterschiedlichen möglichen hydraulischen Druckverhältnisse im zur Trinkwassergewinnung herangezogenen Grundwasserleiter sind zu berücksichtigen. Halbgespannte und halbgespannte Grundwasserbedingungen werden dabei zu einer Ausprägung zusammengefasst.

Aus der Differenzierung des Abwägungskriteriums „Hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) gehen damit als Ausprägungen hervor:

- | |
|---|
| <p>1: Grundwasser im genutzten Grundwasserleiter gespannt</p> <p>2: Grundwasser im genutzten Grundwasserleiter halbgESPANNT oder halbUNGESPANNT</p> <p>3: Grundwasser im genutzten Grundwasserleiter ungespannt</p> |
|---|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Bei gespannten Grundwasserverhältnissen kann davon ausgegangen werden, dass der geologische Untergrund über gering durchlässige und damit retardierungswirksame Schichten verfügt, die das etwaige Zusickern von Belastungen in den Aquifer verhindern oder zumindest verlangsamen. Zudem ist innerhalb eines gespannten Aquifers eine vertikal aufwärts gerichtete Strömungstendenz gegeben.

Dies begünstigt den Grundwasserschutz und reduziert die Empfindlichkeit des genutzten Grundwassers gegenüber von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe zutretenden Stoffen. Das Grundwassergefährdungsrisiko wird entschärft. Gespannte Grundwasserverhältnisse werden somit als „deutlich gefährdungsmindernd (– –)“ Wirkungseinfluss beurteilt.

Im Vergleich zu gespannten Grundwasserverhältnissen nimmt die Durchlässigkeit der den Grundwasserleiter überlagernden Schichten bei halbgESPANNTEN und halbUNGESPANNTEN Verhältnissen zu. Hierdurch erhöht sich der vertikale Wasseraustausch und damit auch der Kontakt zur Erdoberfläche bzw. zum überlagernden Grundwasserstockwerk und gegebenenfalls zum Abwasserkanal als potenziellem Emissionsherd. Durch die herabgesetzte Durchlässigkeit der den genutzten Aquifer überlagernden Schichten ist die vertikale Wasserbewegung jedoch eingeschränkt; ein vertikal aufwärts gerichtetes Leakage ist je nach Druckgefälle zu den überlagernden Schichten möglich. Dies begünstigt die Abschirmung des Grundwassers. Halb(un)gespannte Verhältnisse werden daher als „gefährdungsmindernd (–)“ eingestuft.

Liegen freie hydraulische Verhältnisse im Grundwasserleiter vor, kann zunächst lediglich die Aussage gemacht werden, dass die Grundwasserdruckfläche nicht durch eine stauende Schicht im Hangenden beeinflusst wird. Dies schließt die Existenz einer entsprechenden retardierungswirksamen und für das vertikale Vordringen von Sickerwässer bedeutsamen Schicht oberhalb des Grundwasserspiegels jedoch nicht aus.

Anders als bei gespannten Verhältnissen muss jedoch grundsätzlich mit einer vertikal abwärts gerichteten Sickerbewegung bzw. einem zur Tiefe hin orientierten Leakage aus den überlagernden Schichten ausgegangen werden, so dass bei ungespannten Grundwasserverhältnissen eine die Empfindlichkeit des genutzten Grundwassers herabsetzende, aufwärts gerichtete Strömungsbewegung aus dem Aquifer in die überdeckenden Schichten nicht gegeben ist. Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung wird dies als „gefährdungsbestätigende (+)“ Situation gesehen.

Kriterium 47

Grundwasserbeschaffenheit, Qualitätsveränderungen

Wirkungseinfluss

In zahlreichen grundlegenden Veröffentlichungen mit Bezug zu Grund- und Trinkwasserressourcen wie u.a. der DIN 2000 „Zentrale Trinkwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen“ (2000) wird als Grundsatz betont, dass Trinkwasser als wichtigstes Lebensmittel durch nichts ersetzt werden kann und daher gegenüber konkurrierenden Interessen Vorrang besitzt. Jedes Wasserschutzgebiet genießt damit eine grundsätzlich hohe Schutzwürdigkeit, wobei die Sicherung der Wasserressourcen eine öffentliche Aufgabe ist (MATTHESS 2000).

Obwohl Wasserschutzgebiete gemäß § 9 WHG (2007), den darauf aufbauenden Landeswassergesetzen der Bundesländer und dem DVGW-

Arbeitsblatt W 101 (2006) als Vorsorgegebiete zum entsprechenden Schutz und zur Sicherung der Trinkwasserversorgung besonderen Nutzungsrestriktionen unterliegen, welche negative und nachhaltige Beeinflussungen der Wasserressourcen vermeiden und Gefährdungen vorbeugen sollen, sind stoffliche Einträge in zu Trinkwasserzwecken genutzte Oberflächengewässer und das Grundwasser jedoch nicht gänzlich auszuschließen.

Stoffliche Belastungen beeinflussen, unabhängig von der allgemeinen Schutzwürdigkeit des Grundwassers, dessen Wertigkeit und dessen Schutzfähigkeit. Stoffeinträge resultieren aus der in vielen Gewinnungsgebieten zwangsläufig gegebenen räumlichen Überlagerung mit anderen Nutzungsinteressen, welche aus Sicht des Grundwasserschutzes oft kritisch zu betrachten sind, jedoch historisch gegeben und/oder aus Sicht des Allgemeinwohls notwendig und daher nicht zu vermeiden bzw. zu dulden sind (vgl. Kap. 1.1). Gerade in Gewinnungsgebieten in verdichteten und intensiv genutzten Räumen, in denen Schutzgebietsausweisungen oftmals jünger sind als anderweitige, potenziell grundwassergefährdende Nutzungen, kann sich die Grundwasserbeschaffenheit verändert zeigen. Hieraus können unmittelbare Probleme für die Wasserversorgung und die Notwendigkeit einer entsprechenden Wasseraufbereitung resultieren.

Als potenzielle Stoffquellen können insbesondere undichte Abwasserkanäle von besonderer Bedeutung sein, die zu einer Exfiltration von Abwasser führen können (vgl. Kriterium 45), sowie die Landwirtschaft mit den dort zur Anwendung kommenden Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln, des Weiteren Verkehrswege, an denen u.a. Auftausalze eingesetzt werden, sowie Altlasten und Unfälle oder Havarien mit wassergefährdenden Stoffen z.B. an Industriestandorten (MATTHESS 2000).

Neben anthropogen bedingten oder verstärkten Ursachen können im Grundwasser nachzuweisende Stoffe auch geogen bedingt sein. So können z.B. Erzlagerstätten im Gestein oder eine durch Versauerung bedingte Desorption von Tonmineral- und Eisenhydroxidoberflächen

dafür sorgen, dass es natürlicher Weise zu erhöhten Schwermetallgehalten im Grundwasser kommt, welche unabhängig von überlagernden Raumnutzungen sind (CREMER 2002). Dies kann auch bei verschiedenen anderen hydrochemischen Parametern der Fall sein wie z.B. Sulfat, das zwar auf Einträge aus Bauschuttdeponien hindeuten kann, bei Grundwässern aus z.B. gipshaltigem Gestein jedoch natürlich erhöht ist.

Zur folgerichtigen Beurteilung des Gütezustandes eines Grundwassers und der Identifikation der Ursache von Belastungen ist damit die Abgrenzung der etwaigen anthropogenen Belastung vom geogenen stofflichen Background erforderlich. Dieser definiert die Stoffkonzentrationen im Grundwasser, welche alleinig aus der natürlichen Interaktion zwischen Grundwasser, Untergrund, Biosphäre u.a. hervorgeht und die natürliche Beschaffenheit eines Grundwassers charakterisiert. Diesbezüglich sind z.B. im Saarland im Zuge der Betrachtungen zur Europäischen Wasserrahmenrichtlinie Untersuchungen zu geogenen Hintergrundwerten des Grundwassers anhand von Quellwässern durchgeführt worden (WOLF 2006; WOLF 2008). Natürlicher Background und anthropogene Belastung bedingen gemeinsam die Grundlast eines Grundwassers (GREWING 1994).

Lassen hydrochemische Trendentwicklungen darauf schließen, dass die gebiets- bzw. gesteinstypische Beschaffenheit eines Grundwassers verändert ist, ist von einer stofflichen Sensibilisierung des Grundwassers zu sprechen. Ist es wahrscheinlich oder gar absehbar, dass als Qualitätsnormen festgesetzte Schwellenwerte im Grundwasser, wie sie z.B. gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie und Grundwasserrichtlinie (WRRL 2000; GWRL 2007) für verschiedene Parameter festgelegt bzw. festzulegen sind, auf kurz oder lang erreicht wird, oder ist ein solcher Wert bereits überschritten, liegt eine stoffliche Belastung vor. Für die Bewertung einer stofflichen Veränderung und insbesondere für das Einleiten etwaiger gegensteuernder Maßnahmen ist es dabei mit von Bedeutung, ob entsprechende Veränderungen geogenen oder anthropogenen Ursprungs sind (GWRL 2007).

Maß und Art der gegebenen oder tendenziell abzusehenden Grundlast bestimmen mit die Verwendbarkeit des Grundwassers und damit auch die Wertigkeit des Wassergewinnungsgebietes (vgl. Kriterium 24). Sie bedingt unmittelbar die Maßnahmen und Verfahren, welche erforderlich werden, um das Grundwasser als Trinkwasser nutzbar zu machen bzw. dessen entsprechende Nutzbarkeit zu erhalten, wie z.B. die Einrichtung oder Anpassung der Wasseraufbereitung oder ein etwaiger Betrieb von Abwehrbrunnen zur Reduzierung des Stoffstroms zur Gewinnung (vgl. Kriterium 23).

Verschiedene an Gewinnungsanlagen und im Grundwasserleiter zu beobachtende Phänomene können auf nachteilige Entwicklungen und Sensibilisierungen des Grundwassers bzw. des Grundwasserleiters hindeuten, aus denen Probleme für die Wassergewinnung hervorgehen. Diese können chemischer, bakteriologischer oder hydraulischer Art²⁸ sein und die Nutzbarkeit, Zeitbeständigkeit und Wertigkeit einer Gewinnung beeinflussen und die geordnete Trinkwasserbereitstellung stören. Hierzu gehören in erster Linie unmittelbare stoffliche Veränderungen, die sich in den an Trinkwassergewinnungsanlagen regelmäßig durchzuführenden Rohwasseranalysen widerspiegeln, aber insbesondere auch Alterungserscheinungen im Aquifer und an den Gewinnungsanlagen, welche oft in enger Verbindung zur Art und Weise des Förderbetriebs stehen und zu einem Nachlassen der Leistungsfähigkeit führen.

In erforderlicher Kürze soll an dieser Stelle auf die wichtigsten Phänomene der Brunnenalterung eingegangen werden, die zumindest mittelbar auch Folgen für die Beschaffenheit und damit die Sensibilität des Grundwassers besitzen können. Ausführlicher erläutert werden diese u.a. im Standardwerk von LANGGUTH (2004), der Veröffentlichung von PAUL (1997) zu den Ursachen der Brunnenalterung und der Arbeit von WAGNER (2003) zur Zeitbeständigkeit unverfilterter Brunnen in Festgesteinsgrundwasserleitern Mittel- und Süddeutschlands.

Als Prozesse der Brunnenalterung lassen sich Versandung, Inkrustierungen und Korrosion anführen, wobei die Einzelphänomene eigenständig, meist jedoch in Kombination auftreten.

Korrosion ist Folge einer Reaktion von Brunnenwerkstoffen untereinander oder derer mit dem Förderwasser und betrifft naturgemäß insbesondere metallische Ausbaumaterialien. Sie tritt dann auf, wenn eingesetzte Werkstoffe nicht aufeinander bzw. nicht auf die Beschaffenheit des zu fördernden Grundwassers abgestimmt sind und das Grundwasser aggressive Eigenschaften besitzt. Rohrbeschichtungen als Korrosionsschutz haben sich bewährt (LANGGUTH 2004), können jedoch beim Einbau oder im Laufe der Zeit z.B. durch Vibrationen der Unterwasserpumpe bei deren Anlaufen und Abschalten oder beim Ein- und Ausbau von Pumpe und Steigleitungen beschädigt werden, so dass an dann ungeschützten Rohrstellen Korrosion eintreten kann. Korrosion führt zu einer irreversiblen Schwächung der Werkstoffe, wobei es zu einer Vergrößerung des korrodierten Materials auf das 10- bis 15fache des ursprünglichen Volumens kommen kann (PAUL 1997). Ergebnis sind Loch- oder Muldenfraß bis hin zur Flächenkorrosion, die zum Eintreten der Ringraumschüttung oder gar zum Kollabieren der gesamten Ausbauperforierung führen können. Zudem kann Korrosion die biologische Verockerung (s.u.) begünstigen.

Inkrustationen als Sammelbegriff für entstehende Ablagerungen an der Ausbauperforierung und/oder dem anstehenden Gebirge stellen nach Beobachtungen von GROSSMANN (2000) mit fast 80 % die häufigste Ursache für Brunnenalterungen in Deutschland dar. Als Inkrustationstypen²⁹ können Verockerung, Versinterung, Aluminiumhydroxidinkrustationen und sulfidreiche Eisenoxidinkrustationen sowie mikrobielle Verschleimung unterschieden werden (LANGGUTH 2004), wobei Verockerungen am häufigsten sind und mehr als zwei Drittel (68 %) der Inkrustationen darstellen (GROSSMANN 2000).

²⁸ auf Probleme, welche z.B. auf eine Überbeanspruchung des genutzten Grundwasserleiters hindeuten, wird ergänzend hingewiesen (vgl. Kriterien 24 und 25)

²⁹ unter besonderen hydrochemischen Randbedingungen wie z.B. bei Mineral- und Thermalwässern können auch andere Inkrustationen u.a. von Sulfaten, Baryt oder Eisensilikaten beobachtet werden (LANGGUTH 2004)

Eine Verockerung resultiert aus der Fällung praktisch nichtlöslicher, meist rotbrauner Eisen- und/oder schwarzbrauner Manganverbindungen, der chemische Reaktionen (chemische Verockerung) oder mikrobiologische Prozesse (biologische Verockerung) vorausgehen. Nach PAUL (1997) ist die biologische Verockerung die verbreitetste Art der Brunnenalterung überhaupt.

Die chemische Verockerung beruht auf der Oxidation gelöster Eisen- und Manganverbindungen durch Sauerstoff bzw. Nitrat innerhalb der oxischen Zone des Grundwasserleiters, wobei im Falle von Eisen zunächst Ferrihydrit als amorphes Eisenhydroxid entsteht, welches sich dann mit der Zeit in kristallisiertes Goethit umwandelt und aushärtet. Bei manganreichen Inkrustationen ist eine ähnliche Kristallisationsreihenfolge zu beobachten (LANGGUTH 2004). Die biologische Verockerung erfordert die Anwesenheit eisen- und manganfällender Mikroorganismen, welche durch ihren Stoffwechsel zweiwertige Eisen- und Manganionen bei geeigneten hydrochemischen und thermodynamischen Reaktionsbedingungen³⁰ umsetzen. Da die entsprechenden Bakterien zumeist sessil sind, begünstigt die erhöhte Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Brunnennähe den Antransport von Nährstoffen und damit die biologische Verockerung. Dahingehend betrifft diese oft im Besonderen die Filterschlitz- und Innenseiten der Filterrohre und Bohrlochwände.

Versinterung bezeichnet die chemische Fällung von Karbonatverbindungen und tritt nur bei Grundwässern mit hohen Karbonatgehalten auf. Durch die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in Brunnennähe kann zur Lösung der Karbonate erforderliche Kohlensäure aus dem Grundwasser ausgetrieben werden, was je nach Milieubedingungen und Beschaffenheit des Grundwassers zur Ausfällung meist sehr fester, unterschiedlich gefärbter Karbonatminerale wie u.a. Kalzit, Dolomit, Ankerit und Siderit führt.

Inkrustierungen durch Aluminiumverbindungen sind selten und auf das Auswaschen von Aluminium aus dem Boden über sehr saure Sickerwässer zurückzuführen. Durch eine Reduzie-

rung des pH-Wertes nach Vermischung des Sickerwassers mit weniger saurem Grundwasser kommt es zu einer Ausfällung weißlicher Aluminiumhydroxide. Sulfidreiche Eisenoxidinkrustationen können gelegentlich als Nebengemengeteil von Verockerungen auftauchen und sind in Reinform nur in hochsalinaren Thermalwässern zu beobachten (LANGGUTH 2004). Sie gehen aus einer mikrobiellen Reduktion von gelöstem Sulfat zu Sulfid und dessen Fällung als Eisensulfid hervor. In Verbindung mit biologischer Aktivität stehen auch Verschleimungen, die auf eine Massenentwicklung schleimbildender Bakterien und niederer Pilze zurückzuführen sind, und besonders bei nährstoffreichen Wässern (z.B. Uferfiltrat) auftreten. Von unmittelbarer Bedeutung sind die im Wasser verfügbaren Gehalte an organischem Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphat (LANGGUTH 2004).

Versandung bezeichnet den physikalischen Vorgang, bei dem Feinbestandteile des anstehenden Gebirges in Form von Sand und/oder Ton und Schluff durch das der Entnahme zuströmende Grundwasser aus ihrem Verband gelöst und in Bewegung gesetzt werden. Das Maß der Mobilisierung und die transportierte Korngröße zeigen sich von dem durch die Strömungsgeschwindigkeit bestimmten Erosionsvermögen des Grundwassers beeinflusst. Eine Versandung begünstigen können Erschütterungen, wie sie bei Tiefbauarbeiten beim Einbringen eines Verbaus möglich sind, da diese zu einem Lösen von Kluftbestegen und Zusammenbrechen von Kornbrücken führen können.

Aus dem Gesteinsverband gelöste Bestandteile finden sich als Sandführung oder Trübe im geförderten Rohwasser, als Auflandung sedimentiert an der Sohle eines Brunnens bzw. am Grund eines Quellsammelbeckens oder als Kolmation der Ringraumkiesschüttung wieder und können einen erhöhten Verschleiß von Pumpenteilen, eine Selbstabdichtung der Filterkiesschüttung und/oder ein verringertes Fassungs- und Leistungsvermögen bewirken. Oftmals ist das Versanden eines Brunnens u.a. auch auf eine nicht richtig abgestimmte Wahl der Filterschlitzweite der Ausbauserohrung bzw. einen hohen Unterkornanteil im verwendeten Filterkies zurückzuführen. Nach GROSSMANN

³⁰ darunter u.a. pH-Wert, Redoxspannung, Ionenaktivität

(2000) ist bei 14 % aller Brunnenalterungen in Deutschland Versandung der Hauptgrund.

Kriteriumsdifferenzierung

Im Hinblick auf die gegebene Sensibilität des genutzten Grundwassers im von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme betroffenen Wassergewinnungsgebiet soll erhoben werden, ob bislang relevante Qualitätsveränderungen des Grundwassers festzustellen sind oder waren, welche nachweislich nicht geogenen Ursprungs sind. Von Bedeutung sind dabei auch Beschaffenheitsveränderungen, welche sich andeuten oder absehbar sind, d.h. auch solche aus der Vergangenheit, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder auftreten können oder werden.

Ziel ist es, damit u.a. die Wertigkeit des Grundwassers und etwaige Empfindlichkeiten von Grundwasserleiter und Wassergewinnungsanlagen zu berücksichtigen. Beurteilungsgrundlage sollten gesicherte und repräsentative Messreihen und Informationen darstellen (vgl. Kriterien 49 und 54). Singularitäten sind zu berücksichtigen, wenn diese gesichert zu belegen sind und auf besondere Sensibilitäten hindeuten.

Im Besonderen sind gegebene stoffliche Sensibilisierungen und Belastungen zu berücksichtigen, welche zusammen mit etwaigen zusätzlichen, aus dem Bau und Betrieb des geplanten Abwasserkanals hervorgehenden Beeinflussungen die Nutzbarkeit des Grundwassers zu Trinkwasserzwecken zeitweilig oder anhaltend einschränken können. Trübung und Sedimentführung des Grundwassers können auf leicht zusammenbrechende Feinkornbrücken und leicht zu mobilisierendes Sediment hinweisen.

Dies kann eine erhöhte Empfindlichkeit des Grundwasserleiters z.B. Erschütterungen belegen, wie sie bei Tiefbaumaßnahmen oftmals gegeben sind. Auf eine entsprechende Empfindlichkeit können gegebenenfalls auch Auflandungen in Gewinnungsanlagen oder starker Pumpenschleiß hindeuten, wenn diese nicht auf eingetragenen Filterkies- bzw. -sand zurückzuführen sind. Bei oberflächennahen Fassungen wie Quellen sind gewisse Trübungen nach star-

ken Niederschlägen normal. Sie sind im Sinne der Erhebung nur dann als relevant zu betrachten, wenn sie für eine erhöhte Empfindlichkeit des Grundwasserleiters sprechen.

Auf eine Berücksichtigung von Verkeimungen und bakteriologischen Auffälligkeiten wird verzichtet. Da gemäß der für die Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation innerhalb des Expertensystems festgelegten Regeln (vgl. Kap. 2.4) nur genau eine Ausprägung pro Abwägungskriterium zutreffen darf, ein kumuliertes Zutreffen der Differenzierungen im vorliegenden Fall jedoch möglich ist, ist dies in der Formulierung der Ausprägungen zu berücksichtigen.

Als Ausprägungen gehen aus der Differenzierung des Abwägungskriteriums „Grundwasserbeschaffenheit, Qualitätsveränderungen“ (diskret verteilt, nominal skaliert) damit hervor:

- | | |
|----|---|
| 1: | stoffliche Sensibilisierungen oder Belastungen im Grundwasser vorhanden |
| 2: | relevante Trübungen und/oder Sedimentförderung im geförderten Grundwasser gegeben, welche nicht auf Fehler beim Ausbau der Gewinnungsanlage zurückzuführen sind |
| 3: | sowohl also auch |
| 4: | keine nennenswerten Auffälligkeiten |

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sind stoffliche Sensibilisierungen oder gar Belastungen im genutzten Grundwasser vorhanden, die nicht geogenen Ursprungs und damit nicht auf den natürlichen Background zurückzuführen sind, ist dies grundsätzlich als „gefährdungsbestätigender (+)“ Einfluss auf die Beurteilung der Gesamtsituation zu sehen. Sollte es durch den Bau und Betrieb der geplanten Abwasserkanalisation zu einer weiteren Beeinflussung oder gar Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit kommen, ist nicht auszuschließen, dass dies zu Problemen hinsichtlich der Nutzbarkeit des Grundwassers zu Trinkwas-

serzwecken führt. Ebenso sprechen Trübungen und/oder Sandförderung im geförderten Grundwasser, wenn diese nicht auf einen falsch abgestimmten Ausbau des Brunnens zurückzuführen sind, insbesondere in Brunnen für Empfindlichkeiten in Bezug auf Sedimentmobilisierung. Bei oberflächennahen Fassungen müssen Trübungen nach Niederschlägen nicht zwangsläufig relevant im Sinne der Betrachtung sein.

Durch die bei der Verlegung der Abwasserkanalisation erforderlichen Tiefbaumaßnahmen und die Bauweise (vgl. Kriterium 15) kann es bei einem Untergrund, der sich entsprechend sensibel gegenüber Erschütterungen u.ä. zeigt, zu Gefährdungen der Trinkwassergewinnung kommen, wenn es z.B. durch mobilisiertes Sediment nach einem Zusammenbrechen von Feinkornbrücken oder Lösen von Kluffbestegen zu einem Ausfall von Brunnen oder einer Wasseraufbereitung kommt. Daher werden gegebene Trübungen und Sedimentführung ebenso als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet. Sind sowohl stoffliche Sensibilisierungen oder Belastungen im Grundwasser als auch Sedimentmobilisierungen vorhanden, wird dies im Sinne eines Worst-Case zusammen als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ gesehen. Sind keine entsprechenden Veränderungen oder Beeinflussungen der Grundwasserbeschaffenheit anzunehmen, ist dies aus Sicht des Gefährdungsrisikos für das genutzte Grundwasser als „gefährdungsmindernd (-)“ anzusehen.

Kriterium 48

Oberflächenbürtige oder -nahe Stoffeinträge

Wirkungseinfluss

In Ergänzung zu den vorangegangenen Betrachtungen (vgl. Kriterium 47) soll für den Fall, dass nicht auf den geogenen Background zurückzuführende stoffliche Sensibilitäten oder Belastungen im genutzten Grundwasser gegeben sind, zusätzlich ermittelt werden, ob diese durch oberflächenbürtige Eintragsherde bedingt werden, welche innerhalb des Gewinnungsgebietes z.B. für eine mehr oder minder flächige Emission sorgen (wie u.a. Landwirtschaft oder

auch Altlasten) oder lokal begrenzt in der Nähe der geplanten Trassen (z.B. punktuell durch schadhafte Ringraumabdichtungen an Bohrungen) erfolgt. Hieraus resultieren Aufschlüsse zur Empfindlichkeit des Grundwassers. Dies schließt die zuvor erfolgten Erhebungen mit Bedeutungsrelevanz für die Bewertung der potenziellen Grundwassergefährdung ab.

Kriteriumsdifferenzierung

In der Betrachtung sollen oberflächenbürtige bzw. -nahe Stoffeinträge beachtet werden, um damit z.B. auch Deponien und bereits bestehende Entsorgungstrassen zu berücksichtigen. Wann ein Stoffeintrag als relevant anzusehen ist, ist fallspezifisch zu beurteilen. Dieser Bewertungsspielraum ist vom Anwender des Expertensystems verantwortungsbewusst zu nutzen.

Aus der Differenzierung des Kriteriums „Oberflächenbürtige bzw. -nahe Stoffeinträge“ (diskret verteilt, nominal skaliert) gehen damit als Ausprägungen hervor:

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser gegeben 2: relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser nicht gegeben |
|--|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Sind im genutzten Grundwasser entsprechende Stoffeinträge zu belegen, welche durch einen flächigen Eintrag oder einen zumindest im Trassenumfeld lokal gegebenen, unter Umständen punktuellen Zutritt z.B. an künstlichen Vertikaldrainagen oder auch geologischen Fenstern bedingt werden, spricht dies für eine allgemeine höhere Sensibilität des Grundwassers innerhalb des Wasserschutzgebietes gegenüber oberflächenbürtigen oder -nahen Zusickerungen, wie sie auch von der geplanten Abwasserkanalisation ausgehen können. Dies wird als „gefährdungsbestätigend (+)“ eingestuft.

Sind keine entsprechenden Stoffeinträge im Grundwasser nachzuweisen, kann dies zum einem darauf zurückzuführen sein, dass keine entsprechend relevanten Stoffeinträge von der Oberfläche bzw. aus Oberflächennähe in den Untergrund gegeben sind (vgl. Kriterium 47) oder aber dass etwaige Einträge durch die Grundwasserüberdeckung zurückgehalten werden. Eine Gefährdungsbestätigung muss nicht zwangsweise gegeben sein, weswegen eine „neutrale (o)“ Bewertung zugewiesen wird.

Kriterium 49

Angaben zum räumlichen Untergrundaufbau und zu Vertikaldrainagen

Wirkungseinfluss

Belastbare Kenntnisse zum räumlichen Aufbau des Untergrundes innerhalb des betrachteten Wassergewinnungsgebietes sind zwingende Voraussetzung dafür, dass ein Expertensystem zur Entscheidungshilfe angewendet werden kann und zu folgerichtigen Ergebnissen führt. Nur wenn dem Anwender des Systems umfassende und sichere Informationen zur geologischen Situation und zu räumlichen Besonderheiten vorliegen, sind die Voraussetzungen für eine zutreffende Einschätzung des fallspezifischen Grundwassergefährdungspotenzials gegeben.

Angaben zum Untergrundaufbau fließen in eine Vielzahl der berücksichtigten Abwägungskriterien direkt oder mittelbar ein und sind für eine Betrachtung u.a. des Aufbaus und der Eigenschaften des Grundwasserleiters und der grundwasserüberlagernden Deckschichten erforderlich. Ist der untergrundspezifische Kenntnisstand unzureichend, unsicher oder fragwürdig, sind die Voraussetzungen für eine fachlich fundierte Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials nicht gegeben, wodurch eine Optimierung der Kanalbauplanung, wie sie gewünscht wird, nicht möglich ist.

Gerade auch im Hinblick auf die Bedeutung von Brunnen und Bohrungen für etwaige Stoffzutritte aus Oberflächennähe sind entsprechende Kenntnisse unerlässlich. Brunnen stellen durch

ihre vertikale Erstreckung immer ein gewisses Gefährdungsrisiko für das Grundwasser und die Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit dar, da sie verschiedene geologische Schichten ähnlich einem Fahrstuhlschacht durchteufen.

Aus einer potenziellen wird dann gegebenenfalls eine reale Grundwassergefährdung, wenn durch eine unzureichende, fehlende oder nicht auf die hydrogeologischen Verhältnisse abgestimmte Ringraumabdichtung oder eine schadhafte Ausbauverrohrung (z.B. undichte Rohrstöße, Korrosionsschäden) Wegsamkeiten geschaffen werden, die stofflich etwaig belastetem Sickerwasser einen vertikalen Zugang in den tieferen Untergrund und damit den Grundwasserleiter ermöglichen, aus dem die Trinkwassergewinnung erfolgt. Durch den vertikalen Kurzschluss wird die „Natural Attenuation“ von Boden und Gestein außer Kraft gesetzt, so dass auch bei günstiger Ausbildung der Grundwasserüberdeckung ein relevanter Stoffeintrag in den Grundwasserleiter unter Umständen nicht verhindert werden kann, was sich auf die Beschaffenheit des Grundwassers und damit dessen Nutzbarkeit als Trinkwasser auswirken kann.

Ebenso können durch Undichtigkeiten an Verrohrung oder an im Ringraum eingebrachten hydraulischen Sperren Grundwässer verschiedener Grundwasserstockwerke vermischt werden, was Probleme bergen kann, wenn dadurch die Beschaffenheit des genutzten Grundwassers negativ beeinflusst wird. Vor allem älteren Brunnen und Bohrungen fehlt es oft an ausreichenden oder funktionsfähigen Abdichtungen zum anstehenden Gebirge hin, so dass dem lithologischen Aufbau des Untergrundes und dessen Bedeutung für die natürliche Grundwasserabschirmung nicht entsprochen wird. Entsprechend dessen sind neben Kenntnissen zum räumlichen Untergrundaufbau auch solche zu den Gewinnungsanlagen unverzichtbar für eine gesamtheitliche Bewertung der im Planungsraum gegebenen Gefährdungssituation.

Zur Einschätzung der Belastbarkeit der Angaben zum Aufbau des Untergrundes und den darauf aufbauenden Einschätzungen sowie zur Formulierung von Handlungsempfehlungen ist es dementsprechend wichtig zu berücksichtigen,

inwiefern die vom Nutzer des Expertensystems bei den diesbezüglich bedeutsamen Abwägungskriterien gemachten Angaben auf fundierten, hinsichtlich Umfang, Tiefgründigkeit und Belastbarkeit ausreichenden Kenntnissen gründen, welche aus geologischen bzw. hydrogeologischen oder anderweitig bedeutsamen direkten und indirekten Untersuchungen, also Gutachten, geophysikalischen Messungen (Oberflächen- und Bohrlochsondierungen) und Bohrchiven bzw. Brunnenausbauplänen u.a. hervorgehen.

Beruhend die vorliegenden Angaben zum Untergrunderbau bzw. zur in diesem Zusammenhang wichtigen baulichen Gestaltung von Wassergewinnungsanlagen und Bohrungen zu einem relevanten Teil nur auf nicht belegten Annahmen, schränkt dies die Belastbarkeit der letztendlichen Zielaussage unter Umständen entscheidend ein. Es stellt sich sogar die Frage nach der Anwendbarkeit des Expertensystems (vgl. Kap. 2.4). Trotz gewissenhafter Beantwortung der Erhebungsfragen steigt bei einer unsicheren Datenlage die Gefahr, dass Ungewissheiten verbleiben, die bei der Gefährdungsabschätzung nicht berücksichtigt werden und so zu einer nur teilrichtigen Bewertung der Gesamtsituation führen, welche real gegebene Wirkungsverknüpfungen nicht ausreichend berücksichtigt.

Kriteriumsdifferenzierung

Bei der Differenzierung werden, wie auch bei den übrigen verbleibenden Abwägungskriterien (vgl. Kriterien 50 bis 54), zwei Ausprägungen formuliert, welche Güte und Umfang des Informationsstandes betreffen. Dabei wird eine gute bzw. ausreichende Datenlage von einer Kenntnislage mit relevanten Informationslücken unterschieden. Die letztendlichen Angaben zu den sechs datenqualitätsspezifischen Abwägungskriterien lassen Rückschlüsse auf die Güte der gesamtheitlichen Aussage zu und decken kompensierende Informationsdefizite auf, welche als Handlungsempfehlungen mit in das abschließende automatisierte Kurzgutachten einfließen.

Es wird demnach der Fall, dass der geologische Untergrunderbau einschließlich wichtiger Angaben zur baulichen Gestaltung der Wasserge-

winnungsanlagen und Bohrungen³¹ durch Untersuchungen und Gutachten ausreichend bekannt sind (bzw. sich die Situation so gestaltet, dass Analogieschlüsse zu vergleichbaren Gebieten bzw. Anlagen möglich sind, für die bessere Informationen vorliegen), von dem Fall differenziert, dass nur vereinzelte, nicht ausreichende oder nicht gesicherte Kenntnisse vorliegen, die gegebenenfalls schwierig in Bezug zu setzen sind.

Aus der Differenzierung des Kriteriums „Angaben zum räumlichen Untergrunderbau und zu Vertikaldrainagen“ resultieren somit die Ausprägungen (diskret verteilt, nominal skaliert):

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: Informationen ausreichend gut und/oder belastbare Analogieschlüsse zu vergleichbaren Raumbereichen möglich 2: Informationen nur teilweise bzw. nicht ausreichend gut und keine ausreichend belastbaren Analogieschlüsse möglich |
|---|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Liegen ausreichend gute Kenntnisse zum Aufbau des Untergrundes und zur ergänzend wichtigen baulichen Gestaltung von Wassergewinnungsanlagen im Hinblick auf etwaige künstliche Vertikaldrainagen vor, wird davon ausgegangen, dass die Erhebungen der diesbezüglichen Ausprägungskriterien (u.a. Kriterien 33 bis 41) abgesichert sind, die Gegebenheiten innerhalb des Wassergewinnungsgebietes adäquat wiedergeben und diese in hinreichender Art und Weise in die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials mit einfließen. Gemachte Angaben beruhen auf belegbaren Kenntnissen und begründeten Annahmen, was die Wertigkeit der Gesamtaussage erhöht und aus Sicht der Grundwassergefährdung als „gefährdungsmindernd (-)“ einzustufen ist, da das Risiko, dass mangels umfassender Informationen unrichtige Annahmen getroffen werden, reduziert wird.

³¹ insbesondere zu Abdichtungen gegen das Gebirge im Hinblick auf die Vermeidung von Wasserwegsamkeiten

Sind Unsicherheiten im Datenbestand gegeben und diese nicht z.B. durch Analogieschlüsse zu kompensieren, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass bei der fallspezifischen Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation Annahmen getroffen werden, welche nicht durch gebietsspezifische Untersuchungen belegt sind und daher unter Umständen nur teilweise oder gar falsch sind. Diese Situation wird als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ bewertet, da unter Umständen wichtige Untergrundinformationen nicht oder nicht richtig in der Bewertung der Gesamtsituation berücksichtigt werden. Dies betont das anfänglich angeführte Erfordernis, dass eine belastbare und zielführende Ergebnisfindung mit Hilfe eines Entscheidungshilfesystems nur bei entsprechender Qualität der Ausgangsdaten zulässig ist. Liegen relevante Kenntnislücken im Datenbestand vor, wird es erforderlich, zusätzliche Untersuchungen anzustellen und die gemachten Angaben anhand der erweiterten Kenntnisse zu überprüfen (vgl. Kap. 5).

Kriterium 50

Angaben zu Pumpversuchsergebnissen

Wirkungseinfluss

Pumpversuche stellen zeitlich begrenzte Entnahmen von Grundwasser aus einem oder mehreren Brunnen zur Bestimmung verschiedener geohydraulischer Kenngrößen und entnahmebedingter Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit dar (DIN 4049-3 1994). Grundsätzlich zu unterscheiden sind hydrologische Pumpversuche (Aquifertests) zur Ermittlung von Aquiferkennwerten³² und Leistungspumpversuche (Brunnentests), welche der Ermittlung fassungsspezifischer Charakteristiken³³ eines Brunnens dienen (LANGGUTH 2004).

Pumpversuche stellen ein integrales Instrument zur hydrogeologischen Charakterisierung des Untergrundes dar. Die aus ihnen hervorgehenden Erkenntnisse zeigen sich wichtig für die gebietsspezifische Beurteilung der hydrogeolo-

gischen Eigenschaften des Untergrundes sowie der hydraulischen Leistungsgrenzen von erschlossenem Grundwasserleiter und Brunnen, welche allesamt von integraler Bedeutung für einen wirtschaftlichen und schonenden Betrieb einer Wassergewinnung und damit die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung sind.

Zur Inwertsetzung der Güte der im Expertensystem erhobenen hydrogeologisch relevanten Angaben (u.a. Kriterien 42 bis 49) im Hinblick auf die Gesamtaussage ist es wichtig zu wissen, ob diesen umfangreiche Betrachtungen zugrunde liegen, welche die lokalspezifische Situation im Untergrund belastbar wiedergeben.

Pumpversuchsergebnisse können z.B. Aufschlüsse über hydraulisch abdichtende tektonische Lineamente geben und damit über hydraulisch unterschiedlich in Erscheinung tretende Aquiferbereiche, was im Hinblick auf eine unterschiedliche Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das genutzte Grundwasser von besonderem Belang sein kann. Des Weiteren können Pumpversuche u.a. besondere hydrogeologische Gegebenheiten belegen, welche an anderer Stelle nicht vorliegen und daher unterschiedliche Sensibilitäten begründen können. So kann z.B. in einem biporösen Grundwasserleiter ein Brunnen unmittelbar an eine wasserführende Kluft angebunden sein, die zu einem raschen Zuführen auch oberflächennahen Grundwassers führt, während benachbarte Brunnen vergleichbarer Teufe Grundwasser fördern, das sich deutlich weniger oberflächenbeeinflusst zeigt.

Aussagen zu Aquifereigenschaften sind weitaus belastbarer, wenn auf gebietsspezifische Pumpversuchsergebnisse zurückgegriffen werden kann und sich nicht auf allgemeine Schätzungen beschränkt werden muss. Bleiben Angaben zur hydrogeologischen Ausgangssituation schwierig, da nicht auf entsprechende Felddaten zurückgegriffen werden kann oder erfolgte Pumpversuche als nicht repräsentativ zu bewerten sind, können verbleibende Unklarheiten die folgerichtige Beurteilung der Gesamtsituation und damit die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials beeinträchtigen.

³² u.a. Durchlässigkeit (vgl. Kriterium 38) bzw. Transmissivität, Speichervermögen, Leakage, wirksame Porosität

³³ u.a. Ergiebigkeit, Fassungsvermögen, Wasserandrang

Kriteriumsdifferenzierung

Definiert werden zwei Ausprägungen, welche einen hinlänglichen und einen nicht ausreichenden Informationsstand differenzieren. Wurden im Wassergewinnungsgebiet Pumpversuche durchgeführt, deren Ergebnisse belastbar und dokumentiert sind, d.h. reproduzierbar vorliegen, und Voraussetzung für eine folgerichtige Beurteilung der hydrogeologischen Untergrundsituation bilden, ist dies von dem Fall zu unterscheiden, dass keine Pumpversuche durchgeführt wurden bzw. Pumpversuche nicht hinlänglich dokumentiert und/oder Ergebnisse zweifelhaft, unzureichend oder nicht repräsentativ sind.

Aus der Differenzierung des Kriteriums „Angaben zu Pumpversuchsergebnissen“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) gehen damit als Ausprägungen hervor:

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: belastbare, ausreichend dokumentierte sowie reproduzierbare Pumpversuchsergebnisse liegen vor 2: Pumpversuchsergebnisse liegen nicht bzw. in nicht ausreichender, nicht belastbarer und/oder nicht repräsentativer Art vor |
|--|

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Kann auf hinlängliche Pumpversuchsdaten zurückgegriffen werden, erweist sich dies als positiv für die Belastbarkeit des gesamtheitlichen Abwägungsergebnisses. Die Wahrscheinlichkeit, dass irrtümlicher Weise nicht oder nur bedingt zutreffende hydrogeologische Annahmen bei der Einschätzung des vom geplanten Abwasserkanal ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials mit einfließen, verringert sich und ist signifikant geringer als wenn entsprechende Felddaten nicht oder in nicht ausreichender Art und Form vorliegenden. Dies wird im Hinblick auf die Gesamtaussage als „gefährdungsmindernd (–)“ eingeschätzt.

Wurden keine Pumpversuche durchgeführt oder sind erfolgte Versuche als unzulänglich oder

nicht belastbar anzusehen, so dass auf ihrer Grundlage die hydrogeologische Situation nicht oder nur schwer zu charakterisieren ist, kann dies dazu führen, dass wichtige untergrundspezifische Aspekte bei den Betrachtungen innerhalb des Expertensystems nicht oder nicht im ausreichenden Maß berücksichtigt werden. Dies muss als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ angesehen werden. Eine Erweiterung bzw. Überprüfung der diesbezüglichen Informationen erscheint erforderlich, um aussagekräftige Daten zu den Aquifereigenschaften zu erhalten.

Kriterium 51

Angaben zu Tracertests

Wirkungseinfluss

Bei Tracertests (Markierungsversuchen) werden künstliche oder natürlich vorkommende, schwer abbaubare Substanzen an einer bestimmten Stelle über Bohrungen in den Grundwasserleiter eingebracht. Über Beobachtungspunkte (z.B. Brunnen, Grundwassermessstellen oder Quellen) kann aus der zeitlichen Ausbreitung des Markierungsstoffes auf die Strömungs- und Transportverhältnisse im Untergrund bzw. den Austausch zwischen verschiedenen Wasserkörpern geschlossen werden. Als Tracerstoffe können neben Salzen wie z.B. Natriumchlorid u.a. radioaktive Substanzen, Sporen, Bakterien oder Algen (Diatomeen) zum Einsatz kommen (MÜLLER 1999; HÖLTING 2005).

Markierungsversuche sind nicht als obligatorisch anzusehen. Wurden Tracertest innerhalb des Wassergewinnungsgebietes zur Ermittlung der Grundwasserbewegung durchgeführt und sind deren Ergebnisse reproduzierbar und ausreichend dokumentiert, so erweisen sich diese als sehr effizient zur Beurteilung der Grundwasserströmungsverhältnisse. Eine Durchführung von Tracertests in der Nähe der geplanten Abwasserkanaltrasse ließe z.B. Rückschlüsse zu, welche Gewinnungsanlagen in welchem Maße von etwaigen Stoffzutritten aus dem Bereich des Abwasserkanals betroffen wären, was insbesondere dann zu einer wichtigen Erweiterung der gebietsspezifischen Kenntnisse führt, wenn

der Untergundaufbau im Wassergewinnungsgebiet besondere Heterogenitäten und Inhomogenitäten besitzt. Angaben zur Grundwasserströmung sind mit Hilfe von Markierungsversuchen weitaus sicherer anzuführen, als wenn diese nur näherungsweise z.B. aus der morphologischen Geländesituation abgeleitet werden. Tracertests kommt dahingehend auch eine wichtige Bedeutung bei der Eichung von Grundwassermodellen (vgl. Kriterium 52) zu, da anhand ihnen simulierte Verhältnisse mit realen abgeglichen werden können.

Kriteriumsdifferenzierung

Bei der Auswahl der Kriteriumsausprägungen werden wiederum zwei Fälle als Ereignis und Gegenereignis unterschieden. Die Situation, dass Markierungsversuche durchgeführt wurden, wird dem Fall gegenübergestellt, dass keine entsprechenden Versuche erfolgt sind. Ähnlich zum vorangegangenen Kriterium resultieren damit auch aus der Differenzierung des Kriteriums „Angaben zu Tracertests“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) die Ausprägungen:

- 1: Tracertests sind erfolgt, Ergebnisse liegen vor und sind nutzbar
- 2: Tracertests wurden nicht durchgeführt bzw. erfolgte Versuche sind für die vorliegenden Betrachtungen nicht nutzbar bzw. passgenau

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Wurden im Wassergewinnungsgebiet für die Fragestellung nutzbare Markierungsversuche durchgeführt, über die ausreichende Aufschlüsse vorliegen, zeigt sich dies von Vorteil für die Erhebung der lokalspezifischen hydrogeologischen Ausgangssituation, die dadurch abgesichert werden kann, was die Belastbarkeit der Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung erhöht. Da sich mit wachsendem Kenntnisstand zu abwägungsrelevanten Gegebenheiten im Betrachtungsraum etwaige Unsicherheiten im Hinblick auf die hydrogeologi-

schen Gegebenheiten reduzieren, ist dies als „gefährdungsmindernd (-)“ zu bewerten.

Sofern auf keine bzw. keine für die Fragestellung nutzbaren Tracertests zurückgegriffen werden kann, können grundwasserströmungsrelevante Betrachtungen, insbesondere auch im Hinblick auf Grundwassermodellierungen (vgl. Kriterium 52) nur indirekt z.B. über Abschätzungen anhand von Grundwasserständen oder anhand der Geländemorphologie und der Orientierung des Vorfluternetzes erfolgen.

Kleinräumlich relevante Besonderheiten und z.B. die Bedeutung bestimmter Trenngefüge für die Wasserbewegung und den Stofftransport im Untergrund sind allenfalls unter Bezugnahme auf übergeordnete gebietspezifische Kenntnisse näherungsweise abzuschätzen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich der Grundwasserstrom durch Inhomogenitäten und Heterogenitäten im Untergrund zumindest bereichsweise anders verhält als angenommen. Dies ist im Sinne einer konservativen Bewertung als „gefährdungsbestätigend (+)“ einzustufen.

Kriterium 52

Angaben zu Strömungsbetrachtungen

Wirkungseinfluss

Jede näherungsweise Nachbildung eines wirklichen Vorgangs im Untergrund mit Hilfe mathematischer oder physikalischer Verfahren kann als Modell bezeichnet werden. Grundwassermodelle stellen damit Werkzeuge zur Simulation von Strömung, Stoff- oder Wärmetransporten im Grundwasser dar. Anhand von ihnen können gegebene Zustände erklärt und zukünftige Entwicklungen und Trends abgeschätzt werden, wobei zeitabhängig veränderliche Randbedingungen berücksichtigt werden können. So lassen sich u.a. auch Auswirkungen geplanter anthropogener Eingriffe in Untergrund und Grundwasser simulieren und hinsichtlich Bedeutung und Maß bewerten.

Neben analytischen Lösungsansätzen, die meist von einfachen, ein- oder zweidimensionalen Mo-

dellvorstellungen mit einfachen geometrischen Randbedingungen und homogenen Verhältnissen im Betrachtungsraum ausgehen, existieren numerische Grundwassermodelle, welche nur approximativ lösbar sind, aber die Simulation heterogener und anisotroper, dreidimensionaler Systeme ermöglichen. Zugrunde liegen den Modellen dabei Betrachtungen finiter Differenzen, Volumen oder Elemente.

Grundwassermodelle berücksichtigen die geologischen und hydrogeologischen Kenntnisse über das betrachtete Gebiet, d.h. sowohl den geometrisch-strukturellen Aufbau wie auch die hydrogeologischen Untergrundbedingungen, die mit Hilfe des Modells unter entsprechend erforderlicher Abstraktion realitätsnah wiedergegeben und anhand von Felddaten verifiziert werden, wodurch das Modell kalibriert und damit an reale Beobachtungen angepasst wird. Je genauer die Randbedingungen und Einflussfaktoren im Modell erfasst sind und je feiner dessen Diskretisierung ist, desto genauer und differenzierter können natürliche Verhältnisse und Entwicklungen nachgebildet werden. Je nach Aufgabenstellung kommen unterschiedliche Modellarten (Prinzip-, Planungsmodell, Aquifersimulator) zum Einsatz, welche sich in ihrer Zielsetzung, Betrachtungstiefe, Wiedergabetreue und Aussagekraft unterscheiden (DVGW 2004).

Wurde für das betrachtete Wassergewinnungsgebiet ein abgesichertes Strömungsmodell erarbeitet, stellt dies die optimale Voraussetzung für eine folgerichtige Einschätzung und Bewertung untergrundspezifischer Gegebenheiten und Sensibilitäten dar, da verschiedenste Informationen mit Bedeutung für die Charakterisierung des Aufbaus und der Eigenschaften des Untergrundes zusammengeführt und aufeinander abgestimmt wurden. Die Voraussetzung für eine belastbare Aussage zur Gefährdungssituation des Grundwassers im Wasserschutzgebiet im Allgemeinen sowie im Besonderen in Bezug auf den geplante Abwasserkanal sind gegeben.

Kriteriumsdifferenzierung

Kann auf ein gesichertes Strömungsmodell für den Betrachtungsraum zurückgegriffen werden,

das fundierte Aussagen zum hydrogeologischen Wirkungsgefüge zulässt und damit die realen räumlichen Gegebenheiten in verlässlicher Art und Weise modellhaft wiedergibt, ist dies von dem Fall zu unterscheiden, dass auf kein bzw. auf kein gesichertes oder verlässliches Modell zurückgegriffen werden kann.

Es werden demnach bezüglich des Abwägungskriteriums „Angaben zu Strömungsbetrachtungen“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) ebenfalls zwei Ausprägungen differenziert:

- 1: gesichertes Strömungsmodell mit belastbaren Ergebnissen liegt vor
- 2: entsprechendes Strömungsmodell liegt nicht vor

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Kann auf ein gesichertes Strömungsmodell zurückgegriffen werden, ist davon auszugehen, dass ausreichende, wenn nicht gar gute bis sehr gute Kenntnisse zur geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation im Untergrund vorliegen, da ohne solche eine belastbare Simulation nicht möglich wäre. Die aus der Modellbetrachtung hervorgehenden Erkenntnisse, insbesondere etwaige Vorwärtsmodellierungen zur Prognose der Entwicklung der Wasserqualität, zeigen sich von großem Vorteil für die Ansprache und Beurteilung gebietsspezifischer räumlicher Sensibilitäten und dem vom geplanten Bau und Betrieb eines Abwasserkanals ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzial.

Da dadurch das Risiko etwaiger Fehlinterpretationen und nicht zutreffender Annahmen zu bewertungsrelevanten Konstellationen im Untergrund erheblich reduziert wird, wird das Vorliegen eines gesicherten Strömungsmodells als „gefährdungsmindernd (–)“ bewertet. Dennoch verbleiben, selbst bei optimaler Ausgangslage, aufgrund des Modellcharakters und der Komplexität der Zusammenhänge bzw. dem nicht immer bekannten Zusammenwirken verschiedener Einflussgrößen gewisse Abweichungen zwischen Modelldarstellung und realer Situ-

ation. Dies lässt sich aufgrund des Blackbox-Charakters des Untergrundes nicht vermeiden.

Kann kein gesichertes Strömungsmodell zur Verifizierung der Untergrundsituation zu Rate gezogen werden, fehlt eine wichtige Schnittstelle, welche geologische, hydrogeologische und wassergewinnungsspezifische Gegebenheiten (u.a. Kriterien 19 bis 25) zusammenträgt und im Hinblick auf deren Bedeutung für die Grundwasserhydraulik und explizit die Stoff- und Grundwasserbewegung im Untergrund miteinander in Bezug setzt. Angaben zum Untergrund als hydrogeologische Wirkungseinheit sind schwerer anzuführen. Es verbleiben Unschärfen und gegebenenfalls Unsicherheiten in der Ansprache und Inwertsetzung der gebietsspezifischen räumlichen Untergrundbedingungen. Gerade bei komplexen Untergrundverhältnissen fehlt eine wichtige Beurteilungsgrundlage für die Ausgangs- und Planungssituation. Dies wird als „deutlich gefährdungsbestätigend (++)“ bewertet. Entsprechende Modellbetrachtungen werden angeraten (vgl. Kap. 5).

Kriterium 53

Angaben zur Kontrolluntersuchung an Wassergewinnungsanlagen

Wirkungseinfluss

Kontrolluntersuchungen zur Überprüfung des Zustandes von Wassergewinnungsanlagen, insbesondere von Brunnen, aber auch von Quelfassungen und Grundwassermessstellen, sind unerlässlich für das frühzeitige Erkennen von Gefährdungspotenzialen, welche mit bauwerksspezifischen Alterungserscheinungen³⁴ einher gehen können, und sich nachteilig auf die Grundwasserbeschaffenheit und damit die Wassergewinnung auswirken können. Sie erlauben es, Entwicklungen und Handlungszwänge frühzeitig und damit zu einem Zeitpunkt abzusehen, zu dem für Bauwerk und Grundwasser noch keine bzw. noch keine größeren Schäden gegeben sind, was längerfristig zu einer Reduzierung

der Kosten für erforderliche Instandhaltungsarbeiten und die Wasseraufbereitung führt.

Durch Kontrolluntersuchungen können zudem bauwerksspezifische Unterlagen z.B. hinsichtlich Abdichtungen zum Gebirge hin oder zur Zustromtiefe des Grundwassers, welche Relevanz für die Einschätzung der Grundwasserempfindlichkeit besitzen, auf ihre Belastbarkeit überprüft werden. Durch einen Abgleich z.B. vorliegender Ausbaupläne mit den erhobenen Mess- und Bilddaten können Abweichungen zwischen ursprünglicher Planung und wirklicher Bauausführung erkannt und damit falsche Rückschlüsse aufgrund nicht zutreffender Ausgangsdaten vermieden werden. Je nach Art sind durch Kontrolluntersuchungen auch mittelbare bzw. unmittelbare Aussagen zu lithologischen und hydrogeologischen Charakteristiken der erschlossenen Gesteinsfolge (u.a. Gesteinsart, Schichtung, Trenngefüge, zustromrelevante Bereiche) möglich, die wichtige Erkenntnisse zur Untergrundsituation liefern können.

Zur Ermittlung des Untergrundaufbaus und seiner hydrogeologisch relevanten Eigenschaften sowie zur Kontrolle des Zustandes von Brunnenbauwerken bzw. z.T. auch von Quellsickersträngen im Hinblick auf deren Bauwerksalterung (vgl. Kriterium 47) können zwei Gruppen von Kontrolluntersuchungen unterschieden werden.

Zum einen sind dies optische Untersuchungen, welche die über die Aufnahme und Interpretation visuell erkennbarer Gegebenheiten im ausgebauten oder unausgebauten Brunnen oder z.T. auch in Quellsickersträngen mittels einer Unterwasserfernsehkamera Auskünfte über den Bauwerkszustand und z.B. die Lage bestimmter Voll- und Filterrohrstrecken geben. Zum anderen sind dies geophysikalische Messungen, die durch den Einsatz bestimmter Messsonden³⁵, deren Auswahl sich nach Fragestellung und bauwerksspezifischer Ausgangssituation (z.B. dem Ausbaumaterial) richtet, Hinweise über die geologische Schichtenfolge und die hydrogeolo-

³⁴ u.a. Undichtigkeiten im Ringraum, an Rohrstößen oder durch Korrosion (vgl. Kriterium 49)

³⁵ z.B. Messung des spezifischen elektrischen Widerstands, des elektrischen Eigenpotenzials und der Gammastrahlung, des Bohrlochquerschnittes, der Bohrlochachsenabweichung sowie von Temperatur-, Leitfähigkeits- und Durchflusskurven

gischen Charakteristiken des erschlossenen Untergrundes, d.h. die physikalischen Eigenschaften des Gesteines und dessen Wasserinhalte (z.B. Zustromhorizonte, Wasserbeschaffenheit, Schichtgrenzen) sowie über die Zustände im Ringraum der Fassung (z.B. Lage und Mächtigkeit von Dichtmassen) geben. Bei den jeweiligen Untersuchungstypen erfolgt eine kontinuierliche Aufzeichnung der Bild- und Messwertinformationen, woraus sich ein Abbild der Situation über den gesamten Bauwerksverlauf ableitet (BIESKE 1998; MATTHESS 2000; DVGW 2005).

Kriteriumsdifferenzierung

Wiederum sind zwei Situationen gegeneinander abzugrenzen, welche sich auf Umfang und Qualität der Datenkenntnisse beziehen und Grundlage für innerhalb des Expertensystems gemachte Erhebungen sind. Zunächst wird der Fall berücksichtigt, dass entsprechende optische und/oder geophysikalische Untersuchungen an den innerhalb des Betrachtungsraumes befindlichen Wassergewinnungsanlagen bzw. an Grundwassermessstellen oder anderen Bohrungen durchgeführt wurden, welche zu einer Erweiterung und Absicherung des gebietsspezifischen Kenntnisstandes beitragen können und durch Datenmaterial wie Felddarstellungen, Kurzberichte oder gutachterliche Ergebnisberichte belegt sind.

Dies bezieht sich im Besonderen auf Untersuchungen jüngerer Datums, d.h. der letzten rd. 5 bis 10 Jahre, welche die aktuelle Situation adäquat wiedergeben. Bei signifikant älteren Untersuchungen muss mitunter davon ausgegangen werden, dass sich seit deren Zustandserhebung bewertungsrelevante Veränderungen ergeben haben. Dies gilt nicht für Untersuchungen, welche zur Ermittlung des geologischen Aufbaus und der hydrogeologischen Charakteristiken zumeist in offenen Bohrlöchern erfolgt sind, wohl aber für solche, welche den Zustand von Ausbauperforierung und/oder Dichtmassen betreffen.

Sind entsprechende Untersuchungen belegt und nutzbar, kann davon ausgegangen werden, dass der der Gesamtbetrachtung zugrunde lie-

gende Datenpool hinsichtlich Untergrund und/oder Wassergewinnung um wichtige Kenntnisse ergänzt wird, so dass eine zusätzliche Absicherung der Bewertungsgrundlagen für die diesbezüglichen Erhebungen innerhalb des Entscheidungshilfesystems gegeben sein dürfte. Liegen dagegen keine entsprechenden Untersuchungen vor, fehlt es unter Umständen an wichtigen zusätzlichen Kenntnissen zu gebietsspezifischen Gegebenheiten, welche den Informationsstand des Systemnutzers absichern.

Somit gehen aus der Betrachtung des Kriteriums „Angaben zur Kontrolluntersuchung an Wassergewinnungsanlagen“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) als Ausprägungen hervor:

- 1: auf die Ergebnisse von Kontrolluntersuchungen optischer und/oder geophysikalischer Art, welche die aktuelle Situation an Gewinnungsanlagen bzw. im Untergrund wiedergeben bzw. abschätzen lassen, kann zurückgegriffen werden
- 2: auf entsprechende Ergebnisse kann nicht zurückgegriffen werden

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Kann auf Kontrolluntersuchungen zurückgegriffen werden, welche die derzeitige Situation im Betrachtungsraum wiedergeben können oder zumindest dazu geeignet sind, diese abzuschätzen, ist dies als wichtige Erweiterung des gebietsspezifischen Kenntnisstandes zu sehen, der die Erhebungen der Abwägungskriterien hinsichtlich ihrer Belastbarkeit festigt. Dies wirkt sich „gefährdungsmindernd (-)“ auf die Einschätzung des gegebenen Grundwassergefährdungspotenzial aus, da sich die Wahrscheinlichkeit irrtümlicher Fehleinschätzungen bei der Anwendung des Expertensystems verringert.

Fehlen sachdienliche Kontrolluntersuchungen an den Wassergewinnungsanlagen oder anderen Grundwasseraufschlüssen, sind gegebenenfalls Sensibilitäten des Untergrundes wie z.B. verstärkter Sedimenteintrag, der zu einer Ver-

ringerung der zugänglichen Brunntiefe führt und damit Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit eines Brunnen haben kann, unter Umständen nicht bekannt. Insbesondere im Hinblick auf etwaige Verrohrungsschäden durch Korrosion oder Dichtungsschäden durch Materialalterung oder -setzungen und einem damit gegebenenfalls möglichen Zutreten von belasteten Sickerwässern (vgl. Kriterium 47) können Kenntnislücken verbleiben, durch die bestehende Sensibilitäten nicht erkannt werden. Dies wird als „gefährdungsbestätigend (+)“ bewertet.

Kriterium 54

Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers

Wirkungseinfluss

Die Beschaffenheit eines Grundwassers ist Abbild der gegebenen geogenen und anthropogenen Einflüsse (vgl. Kriterium 47). Wasser liegt in der Natur niemals chemisch rein vor, da es ständig in Prozesse der Stofflösung, des Stofftransportes und der Stoffausscheidung eingebunden ist. Die Beschaffenheit von Niederschlags- und Oberflächenwässern in Verbindung mit der zu durchsickernden Bodenzone und vor allem der petrographisch-chemischen Zusammensetzung des durchflossenen Gesteins erweist sich für den Grundwasserchemismus als prägend. Anthropogen bedingte Veränderungen durch Stoffzutritte aus punktuellen und diffusen Verunreinigungsquellen wie u.a. undichten Abwasserkanälen, Industrieflächen und Altlasten sowie flächige Auswaschungen z.B. aus landwirtschaftlichen Nutzflächen beeinflussen die stoffliche Zusammensetzung und damit die Qualität des Grundwassers nachhaltig. Die Hydrochemie eines Grundwassers steht damit in direkter Interaktion zum Naturraum und zur Kulturlandschaft (HANNAPPEL in MATSCHULLAT 1997).

Anhand der Entwicklung chemischer Parameter können Aussagen zu bereits gegebenen oder abzusehenden stofflichen Trends gemacht werden, aus denen sich Sensibilisierungen und Belastungen ableiten lassen, welche die Empfindlichkeit des genutzten Grundwassers und

damit der Trinkwassergewinnung mitbestimmen. Dies erfordert jedoch eine Auswertung nach Möglichkeit weit in die Vergangenheit zurückreichender und durchgängig erhobener Datenreihen, welche aus verlässlichen hydrochemischen Analysen hervorgehen. Berücksichtigen diese ein aussagekräftiges Parameterspektrum, ist die Voraussetzung für ein Erkennen tendenzieller hydrochemischer Veränderungen gegeben.

Auf die wasserwirtschaftliche Relevanz verschiedener Sensibilisierungen und Belastungen des Grundwassers wurde bereits eingegangen (vgl. Kriterium 47). An dieser Stelle soll ergänzend dazu betrachtet werden, inwiefern aussagekräftige Datenreihen zur Charakterisierung der hydrochemischen Entwicklung des im Wasserschutzgebiet genutzten Grundwassers vorliegen und damit belastbare Abschätzungen über stoffliche Trendentwicklungen sowie insbesondere etwaige Sensibilisierungen im Hinblick auf die Nutzbarkeit des Grundwassers zu Trinkwasserzwecken möglich sind. Fehlen entsprechende analytische Messreihen, werden gegebene Empfindlichkeiten unter Umständen nicht deutlich und werden damit gegebenenfalls nicht bei der Erhebung der fallspezifischen räumlichen Ausgangssituation berücksichtigt.

Kriteriumsdifferenzierung

Es gilt zu differenzieren, ob im spezifischen Betrachtungsfall auf repräsentative, d.h. längere und nach Möglichkeit umfangreiche analytische Messreihen zurückgegriffen werden kann, welche eine belastbare Aussage zur bisherigen und zukünftigen Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit zulassen, oder ob entsprechende Daten fehlen bzw. unzureichend oder fragwürdig sind. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die in der Regel an Trinkwassergewinnungsanlagen in regelmäßigen Abständen durchgeführten Rohwasseranalysen, aber auch Ergebnisse von Grundwassermonitoringprogrammen z.B. im Umfeld von Deponien oder Schadensherden innerhalb des Gewinnungsgebietes. Es resultieren aus der Differenzierung des Kriteriums „Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers“ (diskret verteilt, ordinal skaliert) damit die Ausprägungen:

- 1: ausreichende und belastbare Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers liegen vor
- 2: entsprechende Angaben liegen nicht oder nicht ausreichend vor

Ausprägungsindividuelle Gefährdungsbewertung

Liegen hinlängliche hydrochemische Analysedaten zum gesicherten Erkennen von Trendentwicklungen und damit zur Ansprache etwaiger Sensibilisierungen und Belastungen des Grundwassers vor, resultieren hieraus zusätzliche Aufschlüsse über die Ausgangssituation im von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet. Vorbelastungen lassen sich belegen, der Einfluss stofflicher Immissionen in den Untergrund wird abschätzbar. Dies trägt u.a. dazu bei, die Schutzwürdigkeit und die Schutzfähigkeit des genutzten Grundwassers einzuordnen und Veränderungen der

Grundwasserbeschaffenheit folgerichtig zuzuordnen, was die Erhebung verschiedener Abwägungskriterien im Hinblick auf die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung absichert. Dies wird als „gefährdungsmindernd (–)“ bewertet, da andernfalls diesbezüglich bestehende Kenntnislücken gegeben sind.

Kann auf umfangreiche diagrammatische oder tabellarische Aufzeichnungen zur hydrochemischen Entwicklung des Grundwassers nicht zurückgegriffen werden, sind hydrochemische Trends oft nicht oder nicht eindeutig zu belegen. Es können Informationsdefizite verbleiben, welche die Gefahr bergen, dass seitens des Systemnutzers erhebungsrelevante Schlussfolgerungen unterbleiben und damit nicht mit in die Erhebung der fallspezifischen Ausgangssituation einfließen. Auch etwaige Fehleinschätzungen können nicht ausgeschlossen werden. Damit verbleiben Unsicherheiten, weswegen ein Fehlen ausreichender Informationen zur hydrochemischen Entwicklung des Grundwassers als „gefährdungsbestätigend (+)“ gesehen wird.

4.3 Resultierende Checklisten zur fallspezifischen Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation

Resultierende Checklisten

Aus den Betrachtungen des vorangegangenen Kapitels zur Auswahl und zum Wirkungseinfluss sowie zur Differenzierung der einfluss- und bewertungsrelevanten Abwägungskriterien und deren ausprägungsindividuellen Gefährdungseinstufungen (vgl. Kap. 4.2) resultieren entsprechend der definierten Kriteriengruppen (vgl. Kap. 4.1) sieben Checklisten (Checkliste A bis G), welche die Grundlage zur Erhebung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation betreffend der beabsichtigten Abwasserkanalbaumaßnahme und dem betroffenen Wasserschutzgebiet darstellen.

In ihnen werden die Abwägungskriterien und die aus der Kriteriendifferenzierung hervorgehenden

Kriteriumsausprägungen samt deren individuellen Gefährdungseinstufungen noch einmal tabellarisch zusammengefasst und einander gegenübergestellt. Die Signaturen in der letzten Tabellenspalte entsprechen dabei den Zuweisungen:

- (++) deutlich gefährdungsbestätigend
- (+) gefährdungsbestätigend
- (o) neutral
- (–) gefährdungsmindernd
- (– –) deutlich gefährdungsmindernd

Tab. 6: Checklisten zur fallspezifischen Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation

Checklisten zur fallspezifischen Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
A	Angaben zum Abwasserkanalbauwerk		
1	Maximale Rohrenweite	1. bis DN/ID 400 2. bis DN/ID 800 3. bis DN/ID 1200 4. über DN/ID 1200	(--) (-) (+) (++)
2	Art des Abwasserkanals	1. Freispiegelleitung, Freispiegelkanal 2. Stauraumkanal 3. Druckleitung, Druckkanal 4. Unterdruckleitung, Unterdruckkanal	(+) / (-) (+) (++) (--)
3	Maximale Gründungstiefe, Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle	1. bis 1,75 m 2. bis 4,0 m 3. über 4,0 m	(-) (+) (++)
4	Haltungslänge, Schachtabstand	1. bis 70 m 2. bis 100 m 3. über 100 m	(-) / (o) (o) (+) / (-)
5	Linienführung	1. gerade 2. gekrümmt	(-) (+)
6	Rohrtyp	1. Ein-Schicht-Rohre (z.B. Beton/Stahlbeton, Faserzement, Steinzeug, Gusseisen, Polymerbeton, Polyvinylchlorid, Polyethylen, Glasfaserverstärkter Kunststoff) 2. Zwei-Schicht-Rohre (z.B. Beton-/Stahlbeton mit integriertem Korrosionsschutz (Inliner/Auskleidung) aus Steinzeug, Polyvinylchlorid, Glasfaserverstärktem Kunststoff)	(+) (--)
7	Rohrverbindungstyp	1. Steckverbindung 2. Schweißverbindung	(+) (-)
8	Baulänge der Kanalrohre	1. bis 4,0 m 2. über 4,0 m	(+) (-)
9	Art des Entwässerungssystems	1. Mischsystem 2. Trennsystem Modifiziertes System (Sonderverfahren): 3. – Modifiziertes Mischsystem 4. – Klein- oder Pflanzenkläranlagen 5. – Anordnung von Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regen- oder Mischwasserkanälen	(o) (o) (+) (++) (--)

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
10	Abwassertechnische Bauwerke (ausgenommen Schächte)	1. im Wasserschutzgebiet vorgesehen, da erforderlich	(++)
		2. im Wasserschutzgebiet nicht vorgesehen	(-)
11	Art und Herkunft des Abwassers	1. häusliches Abwasser	(+)
		2. (auch) nicht häusliches Abwasser	(++)
12	Einbindungsart der Anschlussleitungen	1. direkter Anschluss an Hauptkanal	(+)
		2. indirekter Anschluss an Schächte	(-)
13	Bedeutung des Abwasserkanals für das Entwässerungssystem	1. Straßenkanal (Sammler) mit geringer bis normaler Bedeutung	(-)
		2. Hauptsammler (Ein-Kanal-System) mit übergeordneter Bedeutung	(++)
		3. Hauptsammler (Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanal-System) mit übergeordneter Bedeutung	(+)
14	Schachtkonstruktion	1. Ortbetonschacht	(-)
		2. einteiliger Fertigteilschacht	(-)
		3. mehrteiliger Fertigteilschacht	(+)
		4. Schacht-im-Schacht-System	(--)

B Angaben zum Bauablauf und zur Bauausführung			
15	Bauweise, Bauverfahrenstechnik	1. offene Bauweise (ohne Fräs- und Pflugverfahren)	(-)
		2. Fräs- und Pflugverfahren	(+)
		3. geschlossene Bauweise (mit oder ohne Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten)	(--)
16	Bettung, Leitungszone	1. körnige, ungebundene Baustoffe (z.B. Ein-Korn-Kies, Material abgestufter Körnung, Sand, Korngemische, gebrochene Baustoffe)	(+)
		2. hydraulisch gebundene Baustoffe (z.B. stabilisierter Boden, Leichtbeton, Magerbeton)	(--)
		3. keine zusätzliche künstliche Bettung	(-)
17	Bauzeit, Dauer der Baumaßnahme	1. wenige bis einige Wochen	(+)
		2. einige bis mehrere Monate	(++)
18	Baustelleneinrichtung	1. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ II und Umgang mit kritischen Stoffen außerhalb der Schutzzone	(+)
		2. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ II; Umgang mit kritischen Stoffen mit Sondergenehmigung in der Schutzzone	(++)
		3. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ III; Umgang mit kritischen Stoffen außerhalb der Schutzzone	(-)
		4. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ III; Umgang mit kritischen Stoffen mit Sondergenehmigung in der Schutzzone	(+)
		5. Baustelle und Lagerplätze weitgehend außerhalb des Wasserschutzgebietes	(--)

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
-----	--------------------	---	----------------------

C Angaben zum Wasserschutzgebiet und zur Wassergewinnung			
19	Lage im Wasserschutzgebiet, betroffene Wasserschutzzone	<ol style="list-style-type: none"> in Wasserschutzzone III in Wasserschutzzone II und III in Wasserschutzzone II (einschließlich eines allseitigen Sicherheitspuffers von 50 m um die Außengrenze der Zone II) unter anderem auch in Wasserschutzzone I 	<p>(+)</p> <p>(++)</p> <p>(++)</p> <p><i>nicht zulässig</i></p>
20	Verlauf des Abwasserkanals	<ol style="list-style-type: none"> die betroffene Wasserschutzzone ist von einer relativ kurzen Kanalstrecke betroffen die betroffene Wasserschutzzone ist von einer längeren Kanalstrecke betroffen 	<p>(+)</p> <p>(++)</p>
21	Art der Wassergewinnungsanlagen	<ol style="list-style-type: none"> Tiefbrunnen Quellfassungen (Quellschächte, Quellstollen, Quellstuben), Flachbrunnen oder Horizontalfilterbrunnen sowohl als auch 	<p>(+)</p> <p>(++)</p> <p>(++)</p>
22	Jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet	<ol style="list-style-type: none"> über 1 Million m³/a unter 1 Million m³/a, allerdings über 100.000 m³/a bis 100.000 m³/a 	<p>(++)</p> <p>(+)</p> <p>(-)</p>
23	Nutzung vorhandener Brunnen als Abwehrbrunnen	<ol style="list-style-type: none"> Nutzung vorhandener (betriebener oder stillgelegter) Brunnen als Abwehrbrunnen ist denkbar Nutzung vorhandener (betriebener oder stillgelegter) Brunnen als Abwehrbrunnen ist nicht möglich 	<p>(-)</p> <p>(o)</p>
24	Wertigkeit der Wassergewinnung, Besicherungsalternativen	<ol style="list-style-type: none"> Wassergewinnung mit hoher Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle möglich (Eigen- oder Fremdbesicherung) Wassergewinnung mit höchster Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle nicht ausreichend oder nicht möglich Wassergewinnung mit geringerer Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle möglich. Dauerhafte Stilllegung der gefährdeten Wassergewinnung denkbar 	<p>(+)</p> <p>(++)</p> <p>(-)</p>
25	Freie Grundwasserförderkapazitäten	<ol style="list-style-type: none"> vorhanden nicht bzw. nicht ausreichend vorhanden 	<p>(-)</p> <p>(+)</p>

D Angaben zur Geländesituation im Baubereich und Trassenumfeld			
26	Geländemorphologie, Hangneigung	<ol style="list-style-type: none"> Gelände kaum oder nur schwach reliefiert bzw. geneigt (<9 % bzw. <5°) Gelände reliefiert bzw. mittel geneigt (9 bis 18 % bzw. 5 bis 10°) Gelände stark reliefiert bzw. geneigt bis steil (>18 % bzw. >10°) 	<p>(-)</p> <p>(+)</p> <p>(++)</p>
27	Orientierung des Oberflächenabflusses	<ol style="list-style-type: none"> Oberflächenabfluss in relevantem Maß zur Baugrube hin nicht in relevantem Maß zur Baugrube hin (davon weg oder großteilig parallel dazu orientiert) 	<p>(+)</p> <p>(-)</p>

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
28	Flächenversiegelung	1. geringe Versiegelung (<30 %) (z.B. Offenland, Wald, Brache, aufgelockerte Siedlungen mit Einzel- und Reihenhausbau)	(++)
		2. mittlere Versiegelung (30 bis 70 %) (z.B. stärker verdichtete Siedlungen mit Einzel-, Reihen-, Hochhaus-, Blockrandbebauung, aufgelockerte Gewerbe- und Industrieparks)	(+)
		3. hohe Versiegelung (>70 %) (z.B. Blockbebauung, verdichtete Gewerbe- und Industrieflächen)	(-)
29	Zugänglichkeit, Platzsituation	1. problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse sind sichergestellt	(-)
		2. problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse sind nicht bzw. nicht überall sichergestellt	(+)
30	Oberflächengewässer mit hydraulischem Einfluss	1. zwischen Abwasserkanal und Wassergewinnung ist ein Oberflächengewässer vorhanden, welches in der Lage ist, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen	(--)
		2. ein entsprechendes Gewässer ist nicht vorhanden	(o)
31	Überschwemmungsgefahr	1. potenzielle Gefahr gegeben, dass der Baustellenbereich bzw. die Baugrube überflutet wird	(+)
		2. entsprechende Gefahr kann ausgeschlossen werden	(-)
32	Setzungsgefahr	1. Bodensenkungen und -bewegungen vorhanden oder zu befürchten (natürlich oder anthropogen bedingt) z.B. durch Bergbau, Untergrundeigenschaften (Auslaugung, Quellung und Schrumpfung u.a.)	(++)
		2. Bodensenkungen und -bewegungen sind nicht anzunehmen	(-)

E Angaben zum Aufbau des Untergrundes			
33	Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten	1. bis zu 2 m	(++)
		2. bis zu 10 m	(+)
		3. bis über 10 m	(-)
		4. keine bzw. vernachlässigbare Deckschichten aus Lockergestein vorhanden.	(++)
34	Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten	1. kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn (Lockergesteinsdeckschichten vorwiegend rollig)	(++)
		2. kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn (Lockergesteinsdeckschichten vorwiegend bindig)	(-)
		3. schluffige und/oder tonige Lockergesteinsdeckschichten (Lockergesteinsdeckschichten bindig)	(--)
35	Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten	1. bis 20 m	(++)
		2. bis über 20 m	(+)
		3. keine bzw. vernachlässigbare Deckschichten aus Festgestein vorhanden	(o)

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
36	Lithologie der Festgesteinsdeckschichten	1. Festgesteinsdeckschichten aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen	(+)
		2. Festgesteinsdeckschichten aus vorwiegend tonigen, mergeligen oder schluffigen Sedimentgesteinen	(--)
		3. Festgesteinsdeckschichten aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein	(++)
37	Horizontbeständige wasserstauende Schicht in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle	1. zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle mindestens eine weiträumig und wirksam ausgebildete, horizontbeständige wasserstauende Schicht	(-)
		2. zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert keine entsprechende Schicht	(+)
38	Klüftung	1. relevante Klüftung in den Deckschichten	(+)
		2. relevante Klüftung im Grundwasserleiter	(+)
		3. relevante Klüftung in den Deckschichten und im Grundwasserleiter	(++)
		4. relevante Klüftung weder in Deckschichten noch im Grundwasserleiter	(-)
39	Mächtigkeit des Grundwasserleiters	1. einige Meter bis wenige Zehner Meter	(+)
		2. mindestens mehrere Zehner Meter	(o)
40	Lithologie des Grundwasserleiters	1. Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn	(++)
		2. Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn	(-)
		3. Festgesteinsgrundwasserleiter aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen (z.B. Konglomerat, Sandstein)	(+)
		4. Festgesteinsgrundwasserleiter aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein	(++)
41	Schichteinfallen im Trassenbereich	1. in Richtung einer oder mehrerer Wassergewinnungsanlagen	(+)
		2. von Wassergewinnungsanlagen weg	(-)

F Angaben zur Grundwassersituation			
42	Grundwasserstockwerke	1. verschiedene Grundwasserstockwerke sind vorhanden	(-)
		2. verschiedene Grundwasserstockwerke sind nicht vorhanden	(+)
43	Förderung und Baumaßnahme im gleichen Grundwasserstockwerk	1. Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme im gleichen Grundwasserstockwerk	(++)
		2. Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme nicht im gleichen Grundwasserstockwerk	(--)
44	Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel	1. bis zu 5 m	(++)
		2. bis zu 20 m	(+)
		3. bis über 20 m	(-)

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
45	Grundwasserstand im Verhältnis zur Kanalsohle	1. Grundwasserspiegel oberhalb der Kanalsohle 2. Grundwasserspiegel unterhalb der Kanalsohle	(–) (+)
46	Hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter	1. gespannt 2. halbgespannt oder halbungespannt 3. ungespannt	(– –) (–) (+)
47	Grundwasserbeschaffenheit, Qualitätsveränderungen	1. stoffliche Sensibilisierungen oder Belastungen im Grundwasser vorhanden 2. relevante Trübungen und/oder Sedimentförderung im geförderten Grundwasser gegeben, welche nicht auf Fehler beim Ausbau der Gewinnungsanlage zurückzuführen sind 3. sowohl also auch 4. keine nennenswerten Auffälligkeiten	(+) (+) (++) (–)
48	Oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge	1. relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser gegeben 2. relevante oberflächenbürtige oder -nahe Stoffeinträge in das Grundwasser nicht gegeben	(+) (o)

G Angaben zum Informationsstand und zur Qualität der Datenkenntnisse			
49	Angaben zum räumlichen Untergraufbau und zu Vertikaldrainagen	1. Informationen ausreichend gut und/oder belastbare Analogieschlüsse zu vergleichbaren Raumbereichen möglich 2. Informationen nur teilweise bzw. nicht ausreichend gut und keine ausreichend belastbaren Analogieschlüsse möglich	(–) (++)
50	Angaben zu Pumpversuchsergebnissen	1. belastbare, ausreichend dokumentierte sowie reproduzierbare Ergebnisse liegen vor 2. Pumpversuchsergebnisse liegen nicht bzw. in nicht ausreichender, nicht belastbarer und/oder nicht repräsentativer Art vor	(–) (++)
51	Angaben zu Tracertests	1. Tracertests sind erfolgt, Ergebnisse liegen vor und sind nutzbar 2. Tracertests wurden nicht durchgeführt bzw. erfolgte Versuche sind für die vorliegenden Betrachtungen nicht nutzbar bzw. passgenau	(–) (+)
52	Angaben zu Strömungsbetrachtungen	1. gesichertes Strömungsmodell mit belastbaren Ergebnissen liegt vor 2. entsprechendes Strömungsmodell liegt nicht vor	(–) (++)
53	Angaben zu Kontrolluntersuchungen an Wassergewinnungsanlagen	1. auf die Ergebnisse von Kontrolluntersuchungen optischer und/oder geophysikalischer Art, welche die aktuelle Situation an Gewinnungsanlagen bzw. im Untergrund wiedergeben bzw. abschätzen lassen, kann zurückgegriffen werden 2. auf entsprechende Ergebnisse kann nicht zurückgegriffen werden	(–) (+)
54	Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers	1. ausreichende und belastbare Angaben liegen vor 2. entsprechende Angaben liegen nicht oder nicht ausreichend vor	(–) (+)

4.4 Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der angestrebten Kanalbauplanung

Bedeutung und Aufgabe

Neben einer Einschätzung des aus der geplanten baulichen Umsetzung und Ausführung der Abwasserkanalisation resultierenden Gefährdungspotenzials für das Grundwasser innerhalb des betroffenen Wasserschutzgebietes sollen auf Grundlage der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der angestrebten Kanalbauplanung formuliert werden, welche gegebenenfalls zu einer Verringerung des Gefährdungsrisikos für das genutzte Grundwasser führen können. Hierunter sind sowohl Empfehlungen zur Überprüfung von Bauausführung und Bauablauf, wie auch solche zu deren Veränderungen und zur Verbesserung bzw. Erweiterung des Kenntnisstandes im Hinblick auf bewertungsrelevante räumliche, insbesondere geologische und hydrogeologische Bedingungen innerhalb des Betrachtungsraumes.

Zusammen mit der Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials stellen die Handlungsempfehlungen innerhalb des Expertensystems die zu erreichenden „Zielpunkte“ dar, welche aus der Erhebung der einzelfallabhängigen Kriteriumsausprägungen als „Ausgangspunkte“ hervorgehen. Die relevanten fachinhaltlichen Interaktionen, welche durch den Analyse- und Bewertungsalgorithmus des Expertensystems definiert werden, sind als „Zielfindungswege“ zwischen Ausgangs- und Zielpunkten zu verstehen. Die Handlungsempfehlungen sind Hauptbestandteil des wertenden Kurzgutachtens, das nach Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation und deren Bewertung durch das Expertensystem als Ergebnisaussage hervorgeht und automatisiert anhand von Textbausteinen zusammengestellt wird (vgl. Kap. 7).

Die im Einzelfall zuzuweisenden und auszusprechenden Empfehlungen gehen aus einem im Expertensystem hinterlegten Katalog von Handlungsempfehlungen hervor, dessen einzelne, z.T. hinsichtlich ihrer Dringlichkeit abgestuften Empfehlungen über eine Rückwärtsverket-

tung („Backward Chaining“) (vgl. Kap. 2.1) aus den für den einzelnen Betrachtungsfall zutreffenden Kriteriumsausprägungen bzw. deren Kombinationen resultieren (vgl. Kap. 4.1 und 5.1). Somit ist es als Arbeitsgrundlage und Zielorientierung für die nachfolgenden Betrachtungen und die Analyse der einfluss- und bewertungsrelevanten Kriterien und Kriteriumsausprägungen bezüglich bestehender und abzubildender Interaktionen erforderlich, dass zunächst die zu berücksichtigenden Handlungsempfehlungen vor Betrachtung der Kriterien- und der Ausprägungsverknüpfungen bestimmt werden.

Als Empfehlungen werden Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Kanalbauwerks und dessen baulicher Errichtung bei gleichzeitiger Vermeidung einer zwangsläufigen Empfehlung der baulich-technischen Maximallösung (vgl. Kap. 1.2) zu Gunsten einer Anpassung an das fallspezifische Grundwassergefährdungspotenzial gewählt. Die Empfehlungen dienen der Vorsorge im Hinblick auf etwaig mögliche bauliche Veränderungen am Kanalbauwerk und Anpassungen der Maßnahmenumsetzung bzw. der Trassenführung sowie Erweiterung des Umfangs und der Güte untergrundspezifischer Kenntnisse als Ausgangspunkt für die Bewertung räumlicher, besonders grundwasserbetreffender Sensibilitäten.

Die Auswahl der Handlungsempfehlungen muss zum einen konkret, zum anderen gleichzeitig jedoch auch so flexibel gestaltet werden, dass eine Passgenauigkeit für die unterschiedlichen denkbaren Ausgangssituationen und damit Konstellationen zwischen Abwasserkanal, Umfeld und Untergrund gewahrt bleibt. Ein zu hoher Detaillierungsgrad der Empfehlungen kann daher nicht Ziel sein, da er eine sehr viel größere Anzahl unterschiedlicher Empfehlungen bedingen und die grundsätzliche Frage aufwerfen würde, inwiefern ein Expertensystem, welches als Entscheidungshilfe konstruiert ist, durch die erforderlich werdende Abstraktion bei der Erhebung und fachinhaltlichen Verknüpfung bewertungsrelevanter räumlicher und den Abwasser-

kanal betreffender Daten einer entsprechenden detaillierten Aussage bei einem so komplexen Wirkungsgefüges wie dem betrachteten überhaupt gerecht werden kann.

Katalog der Handlungsempfehlungen

Nachfolgend aufgelistete Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der angestrebten Kanalbauplanung werden innerhalb des Expertensystems berücksichtigt. Inwiefern eine mögliche Dringlichkeitsabstufung bei der Zuweisung einer Empfehlung sinnvoll ist, wird nach Betrachtung der Interaktionen des Wirkungsgefüges (vgl. Kap. 5 und 6) ersichtlich.

- Verkürzen oder Verlängern des Schachtabstandes,
- Verändern der geplanten Art des Abwasserkanals,
- Verändern der vorgesehenen Tiefenlage des Abwasserkanals,
- Verändern der Bauweise bzw. der Bauverfahrenstechnik ,
- Verändern der Schachtkonstruktion,
- Verändern der Linienführung des Abwasserkanals,
- Verwendung eines Zwei-Schicht-Rohrsystems und/oder einer mineralischen Kapselung des Abwasserkanals,
- Verändern des Rohrverbindungstyps,
- Verkürzen oder Verlängern der Baulänge der Abwasserkanalrohre,
- Vorsehen einer kompletten Mischwasserspeicherung,
- besonderes Beachten der Vermeidung von Fehlanschlüssen,
- Verändern der Einbindungsart der Anschlussleitungen,
- Vorsehen besonderer Schutzmaßnahmen bei der Errichtung zwingender Weise erforderlicher abwassertechnischer Bauwerke,
- Durchführen einer hydrochemischen Beweissicherung mit Ermittlung der Beschaffenheit des Abwassers,
- Prüfen der Möglichkeiten einer Realisierung des geplanten Hauptsammlers als Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanalsystem,
- Vorsehen besonderer Untergrundsicherungsmaßnahmen im Baustellenbereich,
- Vorsehen vorsorglicher Sicherungsmaßnahmen an Wassergewinnungsanlagen, z.B. Einbau von Trübemeldern,
- Berücksichtigen eines erforderlichen wasserdichten Verbaus³⁶ bzw. des Einsatzes von Stützflüssigkeiten³⁷ bei der Errichtung des Abwasserkanals,
- Vorsehen hydraulischer Sperren entlang der Leitungszone bzw. Verwenden hydraulisch gebundener Baustoffe in der Leitungszone,
- besonderes Berücksichtigen etwaiger Einflussnahmen wechselnder Witterungseinflüsse,
- Verlagern besonders risikobehafteter Teile der Baustelle in weniger sensible Bereiche,
- Verändern der vorgesehenen Führung der Abwasserkanaltrasse,
- Abwägen einer dauerhaften Aufgabe der Wassergewinnung und Verlagerung auf andere Standorte,
- besonderes Überwachen von Quelfassungen bzw. Wassergewinnungen, welche Grundwasser oberflächennah entnehmen,
- besondere Vorsicht bei der Durchführung von (Tief-)Baumaßnahmen,
- Prüfen der Möglichkeiten einer Nutzung vorhandener Brunnen als Abwehrbrunnen im Bedarfsfall,

³⁶ bei offener Bauweise (vgl. Kriterium 15)

³⁷ bei geschlossener Bauweise (vgl. Kriterium 15)

- Vorsorgeplanung zur Umstellung bzw. Verlagerung der Wasserversorgung,
- Überprüfen der Betriebsweise der Wassergewinnungsanlagen auf Möglichkeiten der Umstellung und Verlagerung der Wassergewinnung,
- Abhalten anfallenden Oberflächenwassers vom Zutreten in die Baugrube und Vorsehen einer geordneten Ableitung,
- Sicherstellen eines ausreichend großen Baustellenbereiches und einer problemlosen Zuwegung für Maschinen, Fahrzeuge und Gerätschaften,
- Berücksichtigen von Maßnahmen zum vorsorglichen Hochwasserschutz im Baubereich,
- Überprüfen des notwendigen Maßes und der Möglichkeit bodenverbessernder Maßnahmen im Baustellenumfeld,
- Durchführen von Untersuchungen zur Grundwasserbeschaffenheit im Gewinnungsgebiet mit Betrachtungen von Entwicklungen, Trends und Ursachen für etwaige Veränderungen,
- Durchführen einer hydrochemischen Beweissicherung mit Ermittlung der Beschaffenheit des Grundwassers vor Beginn der Kanalbaumaßnahme,
- Prüfen, ob es zu einem flächigen Zusi ckern oberflächenbürtiger Stoffe in den Untergrund kommt oder ob entsprechende Stoffen über lokale, gegebenenfalls punktuelle Sickerpfade dem Grundwasserleiter zutreten,
- besonderes Berücksichtigen vorliegender Detailkenntnisse zur geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation im Wassergewinnungsgebiet,
- Erweitern des Kenntnisstandes hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation im Gewinnungsgebiet und Trassenumfeld,
- Erweitern des Kenntnisstandes hinsichtlich der Grundwasserhydraulik und den Aquifereigenschaften,
- Erweitern des Kenntnisstandes hinsichtlich der Grundwasserströmung durch entsprechende Grundwassermodellierungen und gegebenenfalls die Durchführung von Markierungsversuchen,
- Abwägen konstruktiver Präventivmaßnahmen zur Minderung von Gefährdungspotenzialen, z.B. Vorgaben zur dezentralen Vorbehandlung nicht häuslichen Abwassers.

Die einzelnen Handlungsempfehlungen werden durch die vom Expertensystem automatisiert zugewiesenen Textbausteine (vgl. Kap. 7.3) inhaltlich konkretisiert.

5 **Entscheidungsbedeutsames Wirkungsgefüge zwischen den einfluss- und bewertungsrelevanten Abwägungskriterien und deren Ausprägungen**

5.1 **Abzubildende Wirkungsverknüpfungen zwischen den ausgewählten Abwägungskriterien mit Bedeutung für die Zielaussage**

Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen

Als entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen sind Interaktionen zwischen Abwägungskriterien, also Zusammenhänge, Beeinflussungen und Abhängigkeiten zu verstehen, welche das zu betrachtende Wirkungsgefüge zwischen Abwasserkanal, Untergrund und Grundwasser definieren und zur Bewertung der Ausgangs- und Planungssituation beitragen. Ein Vernetzen von Abwägungskriterien erfolgt dort, wo komplexe Wirkungsstrukturen gegeben sind, die gesamtheitlich zu betrachten sind. Hierzu ist es erforderlich, beteiligte Kriterien in ihrem Zusammenwirken zu charakterisieren.

Es wird sich im Expertensystem auf Kriterienverknüpfungen beschränkt, aus denen unmittelbar bewertungsrelevante Angaben zur zu bewertenden Einzelfallsituation hervorgehen. Die berücksichtigten Kriterienverknüpfungen werden nachfolgend zusammengestellt, wobei der Übersichtlichkeit wegen ein Tabellenformat gewählt wird. Es wird erläutert, welche Wirkungsbeziehungen als bedeutsam für eine Berücksichtigung im Expertensystem zu erachten sind und warum diese für die angestrebte Einschätzung des von einer geplanten Abwasserkanalisation ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials sowie zur Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Planungsabsicherung und etwaigen -modifikation von Bedeutung sind.

Dabei können bedeutungsrelevant interagierende Kriterien fachinhaltlich und/oder plausibilitätsbezogen in Verbindung stehen. Plausibilitätsbezogene Verknüpfungen stellen Interaktionen dar, die zu beachten sind, damit es bei der Erhebung der Ausgangs- und Planungssituation zu keinen unstimmgigen und unsinnigen Angaben kommt. Abwägungskriterien, deren Ausprä-

gungen sich gegenseitig ausschließen, sind plausibilitätsbezogen miteinander verknüpft. Fachinhaltlich interagieren Kriterien, wenn sie inhaltlich in Abhängigkeit zueinander stehen und sich aus ihrem Zusammenwirken für die Beurteilung der Situation im Wasserschutzgebiet und die Formulierung von Handlungsempfehlungen wichtige Zusammenhänge ergeben. Je nach Abwägungskriterium und Formulierung der Kriteriumsausprägungen können Kriterienverknüpfungen gleichzeitig fachinhaltliche wie auch plausibilitätsbezogene Bedeutung haben.

Kriterienverknüpfungstabelle

Die Kriterienverknüpfungstabelle auf den Folgeseiten besitzt vier Spalten. Die erste Spalte enthält die durchlaufende Nummer der Kriterien, die aus den Betrachtungen zum Wirkungseinfluss und zur Differenzierung der Ausprägungskriterien (vgl. Kap. 4.2) hervorgehen und derjenigen der Checklisten entspricht (vgl. Kap. 4.3). In der zweiten Spalte werden die verknüpften Kriterien mit einem Pluszeichen und ihrer entsprechenden Nummerierung aufgelistet. Die Kürzel „F“ oder „P“ in der dritten Spalte beziehen sich darauf, ob die berücksichtigte Interaktion fachinhaltlichen oder plausibilitätsbezogenen Charakter besitzt. Die letzte Spalte erläutert, warum die jeweilige Verknüpfung für das Expertensystem von Bedeutung ist. Diesbezüglich wird weitergehend auch auf die Ausführungen des Kap. 4.2 verwiesen. Ein Pfeil in der vierten Spalte verweist darauf, dass Erläuterungen innerhalb der Tabelle an anderer Stelle erfolgen.

Tab. 7: Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen zwischen Abwägungskriterien (Kriterienverknüpfungstabelle)

Wirkungsverknüpfungen zwischen Abwägungskriterien (Kriterienverknüpfungstabelle)

Verknüpfte Kriterien	Art	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	
1	+ 2	P	Maximale Rohrennenweite und Art des Abwasserkanals stehen mitunter in kausalem Bezug zueinander. Ein Stauraumkanal erfordert z.B. große Nennweiten. Es kann damit zu nicht plausiblen Ausprägungskombinationen kommen.
	+ 3	P	Die Gründungs- bzw. Grabentiefe zeigt sich von der Rohrennenweite abhängig. Eine gewisse Mindestüberdeckung des Abwasserkanals ist in jedem Fall einzuhalten. Die Erhebung beider Kriterien muss untereinander schlüssig sein.
	+ 4	F	Die Risikobewertung des vorgesehenen Schachtabstandes im Hinblick auf die potenzielle Grundwassergefährdung gestaltet sich u.a. davon abhängig, ob der geplante Abwasserkanal begehbar oder nichtbegehbar sein wird.
	+ 9	P	Die Kriteriumsausprägung „Anordnung von Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regen- oder Mischwasserkanäle“ des Abwägungskriteriums „Art des Entwässerungssystems“ steht in Bezug zur Begehbarkeit des Abwasserkanals und damit zu dessen Nennweite. Sich ausschließende Ausprägungen sind daher möglich.
	+ 11 + 13	F	Maximale Kanalnenweite, Art und Herkunft des abzuleitenden Abwassers und Bedeutung des Kanals für das Entwässerungssystem lassen in ihrem Zusammenwirken Rückschlüsse über die Gefährlichkeit der Abwasserdurchleitung zu.
	+ 15	P	Fräs- und Pflugverfahren sind nur bei der Errichtung von Abwasserkanälen bzw. -leitungen kleinerer Rohrennenweiten einsetzbar. Die Erhebung der beiden Abwägungskriterien darf untereinander zu keinen offenkundigen Widersprüchen führen.
2	+ 1	P	→ Kriterium 1
	+ 3	F	Mit größer werden der Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle und damit der Eingriffstiefe in den Untergrund verändert sich das in Abhängigkeit zur Art des Abwasserkanals stehende potenzielle Gefährdungsrisiko für das Grundwasser.
	+ 15	P	Nicht bei jeder Abwasserkanalart ist jede Bauweise bzw. Bauverfahrenstechnik anwendbar bzw. üblich. Der Einsatz z.B. von Fräs- und Pflugverfahren, aber auch der geschlossenen Bauweise beschränkt sich (zumeist) auf bestimmte Kanaltypen. Es kann daher zu nicht logischen Ausprägungskombinationen kommen.
	+ 45	F	Kanalart und Lage des Grundwasserspiegels im Verhältnis zur Kanalsohle erlauben eine Aussage darüber, ob es bei Rohrleckagen zu einer Infiltration von Grundwasser in den beschädigten Kanal oder zur Exfiltration von Abwasser in den Untergrund kommt.
3	+ 1	P	→ Kriterium 1
	+ 2	F	→ Kriterium 2
	+ 15	F	Der Umfang erforderlicher baulicher Eingriffe in den Untergrund (u.a. Verbauarbeiten) und damit das grundwassergefährdungsrelevante Risiko wächst mit zunehmender Gründungstiefe, zeigt sich jedoch gleichzeitig von der zum Einsatz kommenden Bauverfahrenstechnik abhängig.
	+ 33 + 35 + 45	F / P	Aus der Gründungstiefe und der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung sind Rückschlüsse möglich, ob der geplante Abwasserkanal oberhalb oder unterhalb des Grundwasserspiegels liegt. Dies muss mit der eigens erhobenen Angabe zur Grundwasserspiegellage im Verhältnis zur Kanalsohle übereinstimmen.
4	+ 1	P	→ Kriterium 1
	+ 14	F	Aus der Kombination der Angaben zum Schachtabstand und damit zur Häufigkeit von Schächten und der vorgesehenen Schachtkonstruktion, welche vorkommende Fugenverbindungen als potenzielle Leckagenstellen bedingt, ist eine Aussage zum Gefährdungsrisiko durch eventuell undichte Schächte möglich.
5	-	-	Von den etwaigen Wirkungsverknüpfungen zwischen der Linienführung des Abwasserkanals und anderen Abwägungskriterien wird keine als unmittelbar bedeutungsrelevant für die Ergebnisfindung betrachtet. Dies schließt Interaktionen mit anderen Kriterien jedoch nicht grundsätzlich aus.
6	+ 11	F	Gibt vor dem Hintergrund der zu erwartenden Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers Hinweise darauf, ob durch den in der Planung vorgesehen Rohrtyp vorsorglich bereits von einer relevanten Verringerung des Grundwassergefährdungspotenzials auszugehen ist.
7	+ 32	F	Das vom Rohrverbindungstyp ausgehende Gefährdungsrisiko ist in Abhängigkeit von etwaigen Setzungsgefahren im Trassenverlauf zu sehen. Steckverbindungen gestalten sich flexibler als Schweißverbindungen, was in setzungsgefährdeten Bereichen das Gefährdungspotenzial relevant verringern kann.
8	+ 32	F	Mit einer Abnahme der Rohrlängen steigt die Zahl der Rohrverbindungen und damit die Gefahr von Undichtigkeiten an Rohrstoßen. In Setzungsgebieten können sich kürzere Rohrlängen jedoch als sinnvoll erweisen, da diese flexibler auf Lageveränderungen reagieren und damit zu einer Risikoverminderung führen können.
9	+ 1	P	→ Kriterium 1
	+ 11	F / P	Aus der Art des Entwässerungssystems und der Herkunft des Abwassers lässt sich der Beitrag systemimmanenter Stärken und Schwächen von Misch-, Trenn- bzw. modifizierten Systemen zur potenziellen Grundwassergefährdung abschätzen. Nicht jedes System ist zudem auch für nicht häusliches Abwasser zulässig.
	+ 12	F	Bei einer Realisierung des Abwasserkanals als Trennsystem oder als modifiziertes Mischsystem besteht ein relevantes zusätzliches Gefährdungspotenzial durch etwaige unentdeckte Fehlanschlüsse. Dies beeinflusst das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser unmittelbar.
	+ 15	P	Schmutzwasserkanäle in begehbaren Regen- oder Mischwasserkanälen lassen sich nicht in jeder Bauweise herstellen. Dies kann gegebenenfalls zu Unstimmigkeiten mit den Angaben zur geplanten Bauweise führen. Nicht logische Ausprägungsverknüpfungen sind möglich.
	+ 19	F	Die kombinierte Betrachtung von Entwässerungssystem und von der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzzone bzw. Wasserschutzzone erlaubt eine Abwägung ableitungssystemimmanenter Gefährdungspotenziale vor dem Hintergrund grundsätzlicher Schutzanforderungen im Wasserschutzgebiet.

Verknüpfte Kriterien	Art	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem
10	+ 19	F Lässt eine Einschätzung darüber zu, wie hoch das grundsätzliche Gefährdungspotenzial ausgehend von innerhalb des Wasserschutzgebietes zwingend erforderlichen abwassertechnischen Bauwerken zu bewerten ist (ausgenommen der Betrachtung von Schächten, die eigenständig erfolgt).
11	+ 1 + 13	F → Kriterium 1
	+ 6	F → Kriterium 6
	+ 9	F / P → Kriterium 9
	+ 48	F Gibt Aufschlüsse darüber, wie hoch die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers vor dem Hintergrund etwaiger Sickerpfade einzuschätzen ist, die ein Vordringen von stofflichen Einträgen aus Oberflächennähe (z.B. aus Kanalleckagen oder Baustellenbereich) ins genutzte Grundwasser ermöglichen bzw. begünstigen.
12	+ 9	F → Kriterium 9
13	+ 1 + 11	F → Kriterium 1
14	+ 4	F → Kriterium 4
15	+ 1	P → Kriterium 1
	+ 2	P → Kriterium 2
	+ 3	F → Kriterium 3
	+ 9	P → Kriterium 9
	+ 16	F / P Bauweise bzw. -verfahrenstechnik und vorgesehene Bettung stehen in Bezug zueinander. Hieraus können unlogische Ausprägungskombinationen resultieren. Es ergeben sich aus der Verknüpfung zudem Hinweise zum Auftreten und damit zur Gefährdungsbedeutung etwaiger Längsdrainagen im Bereich der Leitungszone.
	+ 19	F Gibt Hinweise darauf, in welchem Maß in welcher Schutzzone mit einem Abtrag grundwasserüberlagernder Deckschichten zu rechnen ist und wie die daraus resultierende grundsätzliche Gefährdung durch offene Baugruben einzuschätzen ist.
	+ 27	F Soll ein Abwasserkanal in offener Bauweise errichtet werden, ist bei einer Orientierung des Oberflächenabflusses in relevantem Maße zur Baugrube hin von einem erhöhten Risiko durch zutretende, gegebenenfalls stofflich belastete Oberflächenwasser auszugehen. Bei geschlossener Bauweise ist diese Gefahr geringer.
	+ 45	F Bewertet, ob beim Bau des Kanals durch eine Lage der Bauwerkssohle innerhalb des Grundwassers besondere verfahrenstechnische Maßnahmen erforderlich werden, die eine zusätzliche Gefährdung darstellen können (z.B. wasserdichter Verbau, Einsatz von Stützflüssigkeiten).
16	+ 15	F → Kriterium 15
	+ 26	F Eine durchlässige Bettung wirkt als Drainage. Hierdurch wird die Retardierungswirkung des Untergrundes überbrückt. Größere Hangneigungen und damit oft auch Kanalgefälle bedingen eine schnellere Drainage. Stoffzutritte z.B. aus dem Baubereich können sich rascher ausbreiten.
	+ 34 + 38 + 45	F Lässt bei einer Lage des Grundwasserspiegels unterhalb der Kanalsohle Rückschlüsse zu, ob bei auftretenden Leckagen austretendes Abwasser eher vertikal versickern oder im Bettungsbereich lateral abgeführt werden wird (Betrachtung von Lockergesteinsdeckschichten).
	+ 36 + 38 + 45	F Lässt bei einer Lage des Grundwasserspiegels unterhalb der Kanalsohle Rückschlüsse zu, ob bei auftretenden Leckagen austretendes Abwasser eher vertikal versickern oder im Bettungsbereich lateral abgeführt werden wird (Betrachtung von Festgesteinsdeckschichten).
	+ 45	F Gibt Hinweise darauf, ob durch die Gestaltung der Bettung bzw. Leitungszone in Abhängigkeit zur Lage des Grundwasserspiegels in Bezug zur Kanalsohle von einer erhöhten Wahrscheinlichkeit des Entstehens von Längsdrainagen im Kanalbereich auszugehen ist.
17	–	– Von etwaig bestehenden Wirkungsverknüpfungen zwischen der Dauer der Kanalbaumaßnahme und anderen Abwägungskriterien wird keine als abzubildend und damit als unmittelbar bedeutungsrelevant für die Ergebnisfindung betrachtet. Dies schließt Interaktionen mit anderen Kriterien jedoch nicht grundsätzlich aus.
18	–	– Die Baustelleneinrichtung als Abwägungskriterium ist alleine aussagebedeutsam für die Planungsbewertung. Von denkbaren Wirkungsverknüpfungen zu anderen Kriterien wird keine als bedeutungsrelevant für die Betrachtungen innerhalb des Expertensystems eingeschätzt.
19	+ 9	F → Kriterium 9
	+ 10	F → Kriterium 10
	+ 15	F → Kriterium 15

Verknüpfte Kriterien	Art	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem
19	+ 20	F Macht eine Aussage dazu, wie risikoreich eine Abwasserdurchleitung vor dem Hintergrund der rechtlichen Schutzanforderungen in der betroffenen Wasserschutzzone einzuschätzen ist, und ob u.U. von einer eher formalen Schutzzoneverletzung ausgegangen werden kann, die jedoch ebenfalls relevant sein kann.
	+ 24	F Eine Kanalführung durch eine Wasserschutzzone I ist nur dann statthaft, wenn die betroffene Trinkwassergewinnung aufgegeben wird. Dies erscheint allenfalls dann möglich, wenn diese eine geringe Versorgungsbedeutung besitzt und eine dauerhafte Besicherung von anderer Stelle her möglich ist.
20	+ 19	F → Kriterium 19
21	+ 22 + 39 + 40	F Art und Höhe der Wassergewinnung in Kombination mit Mächtigkeit und Typ des Grundwasserleiters lassen eine qualitative Aussage zur Ausdehnung des Entnahmetrichters zu, in dem Grundwasser und damit auch eine etwaige Verschmutzung mit einer erhöhten Fließgeschwindigkeit der Gewinnung zuströmt.
22	+ 21 + 39 + 40	F / P → Kriterium 21
23	-	- Von der etwaigen Nutzbarkeit vorhandener Brunnen im Gewinnungsgebiet als Abwehrbrunnen geht keine als entscheidungsbedeutsam eingestufte Wirkungsverknüpfung zu anderen Abwägungskriterien hervor. Das Vorhandensein entsprechender Brunnen wird alleine als aussagerelevant bewertet.
24	+ 19	F → Kriterium 19
	+ 25	F Die Angaben zur Wertigkeit der Wassergewinnung und zu Besicherungsalternativen können durch die Aussage zu freien Förderkapazitäten im betrachteten Gebiet betont oder abgeschwächt werden. Dies gibt Hinweise zu Möglichkeiten der Förderumstellung und -verlagerung.
	+ 47	F Bewertet vor dem Hintergrund der Wertigkeit des Wasserschutzgebietes, ob das genutzte Grundwasser im Hinblick auf Beschaffenheitsveränderungen vorbelastet ist und sich dadurch besondere Sensibilitäten ergeben, welche für eine besondere Anfälligkeit bzw. ein besonderes Schutzerfordernis sprechen.
25	+ 24	F → Kriterium 24
26	+ 16	F → Kriterium 16
	+ 27 + 28	F Führt zu einer qualitativen Einstufung, in welchem Umfang mit zur Baugrube hin abfließendem Oberflächenwasser zu rechnen ist und wie schwierig es sein wird, dieses vor einem Zutreten in den sensibilisierten, da in seiner Deckschichtenmächtigkeit reduzierten Untergrund abzuhalten und geordnet abzuführen.
27	+ 15	F → Kriterium 15
	+ 26 + 28	F → Kriterium 26
	+ 28	F Betrachtet, ob der Baugrube zufließendes Oberflächenwasser aus weitgehend versiegelten oder eher unversiegelten Bereichen stammt, was u.a. Rückschlüsse auf das Maß dort aufgenommener Stoffe zulässt, die unter Umständen in den Untergrund eingetragen werden.
28	+ 26 + 27	F → Kriterium 26
	+ 27	F → Kriterium 27
29	-	- Von etwaig bestehenden Wirkungsverknüpfungen zwischen der Zugänglichkeit des Baustellenbereiches und der dortigen Platzsituation und anderen Abwägungskriterien wird keine als abzubildend und damit ergebnisrelevant betrachtet. Dies schließt eine Interaktion mit anderen Kriterien jedoch nicht grundsätzlich aus.
30	-	- Die Erhebung der Existenz eines Oberflächengewässers zwischen Abwasserkanal und Wassergewinnung, welches hydraulisch in der Lage ist, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen wird als alleine aussagebedeutsam für die Planungsbewertung angesehen.
31	-	- Ist der Baustellenbereich überschwemmungsgefährdet, resultiert hieraus unmittelbar eine maßgebliche Beeinflussung des Grundwassergefährdungspotenzials. Eine Relativierung dieses Faktums nach kombinierter Betrachtung mit anderen Abwägungskriterien ist nicht gegeben.
32	+ 7	F → Kriterium 7
	+ 8	F → Kriterium 8
33	3 + 35 + 45	F / P → Kriterium 3
33	+ 34	F / P Aus der kombinierten Betrachtung der Mächtigkeit und Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten lässt sich deren Beitrag zur Abschirmung und damit zur Empfindlichkeit des Grundwassers ableiten. Eine Erhebung der Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten kann entfallen, wenn solche nicht ausgebildet sind.
	+ 35	P Locker- oder Festgesteinsdeckschichten müssen in relevanter Mächtigkeit ausgebildet sein. Der Fall, dass gleichzeitig beide Deckschichtentypen nur in vernachlässigbar geringem Maß ausgebildet sind, ist u.a. durch die erforderliche Mindestüberdeckungshöhe des Abwasserkanals nicht anzunehmen.
34	+ 16 + 38 + 45	F → Kriterium 16

Verknüpfte Kriterien	Art	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem
34	+ 33	F / P → Kriterium 33
35	+ 3 + 33 + 45	F / P → Kriterium 3
	+ 33	P → Kriterium 33
	+ 36 + 38	F / P Angaben zur Mächtigkeit, Beschaffenheit und relevanten Klüftung der Festgesteinsdeckschichten definieren deren Retardierungswirkung als Beitrag zur Charakterisierung der Grundwasservulnerabilität. Die Betrachtung der Lithologie der Festgesteinsdeckschichten kann entfallen, wenn solche nicht ausgebildet sind.
36	+16 + 38 + 45	F → Kriterium 16
	+ 35 + 38	F / P → Kriterium 35
37	+ 41	F Aus dem Schichteinfallen im Trassenbereich und der etwaigen Existenz einer oder mehrerer horizontbeständiger wasserstauer Schichten unterhalb der Kanalsohle gehen Hinweise hervor, ob es zu einem Abfließen belasteten Wassers oberhalb einer Stauschicht in Richtung der Wassergewinnung kommen kann.
	+ 42 + 43	P Liegt ein Stockwerksbau vor und findet die Grundwasserentnahme nicht im selben Stockwerk statt wie die Baumaßnahme, muss zwischen Kanal und Grundwasserleiter eine horizontbeständige, stockwerkstrennende Stauschicht ausgebildet sein. Widersprüchliche Ausprägungsverknüpfungen sind möglich.
	+ 48	F Macht eine Abschätzung darüber möglich, inwiefern das genutzte Grundwasser vor oberflächennahen Stoffzutritten geschützt ist und inwiefern eine etwaig ausgebildete horizontbeständige Stauschicht über vertikale Wegsamkeiten verfügt, die stoffliche Zusickerungen ermöglichen.
38	+16+34 +45	F → Kriterium 16
	+ 16 + 36 + 45	F → Kriterium 16
	+ 35 + 36	F → Kriterium 35
	+ 39 + 40	F / P Über Lithologie, Klüftung und Mächtigkeit des Grundwasserleiters ist eine Berücksichtigung der hydrogeologischen Eigenschaften des Grundwasserleiters möglich, die zudem eine Abschätzung zur Grundwasserbewegung und zur Retardierung im Grundwasserleiter zulässt. Nicht alle Verknüpfungen sind plausibel.
39	+ 21 + 22 + 40	F → Kriterium 21
	+ 38 + 40	F / P → Kriterium 38
40	+ 21 + 22 + 39	F → Kriterium 21
	+ 38 + 39	F / P → Kriterium 38
	+ 47	F Lässt Rückschlüsse darüber zu, ob während der Kanalbaumaßnahmen im verstärkten Maß mit einem Eintrag von Trübstoffen oder Sediment z.B. aus gelösten Kluffestungen oder einem sandig beschaffenen Grundwasserleiter zu rechnen ist, aus denen eine Gefährdung des Förderbetriebes hervorgehen kann.
41	+ 37	F → Kriterium 37
42	+ 37 + 43	P → Kriterium 37
	+ 43	F / P Sind verschiedene Grundwasserstockwerke vorhanden und erfolgt die Kanalbaumaßnahme nicht im zur Wassergewinnung herangezogenen Grundwasserleiter, kann dies zu einer bedeutenden Entschärfung der Gefährdungssituation für das genutzte Grundwasser führen.
43	+ 37 + 42	P → Kriterium 37
	+ 42	F / P → Kriterium 42
44	+ 45	F Ermöglicht eine Einordnung zur Mächtigkeit der unterhalb der Kanalsohle ausgebildeten Grundwasserdeckschichten, welche eine qualitative Abschätzung deren Bedeutung für einen etwaigen Rückhalt kanalbürtiger Stoffeinträge zulässt.
45	+ 2	F → Kriterium 2
	+ 3 + 33 + 35	F / P → Kriterium 3

Verknüpfte Kriterien	Art	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem
45	+ 15	F → Kriterium 15
	+ 16	F → Kriterium 16
	+ 16 + 34 + 38	F → Kriterium 16
	+ 16 + 36 + 38	F → Kriterium 16
	+ 44	F → Kriterium 44
46	+ 48	F Klärt, wie die Grundwasserspannungsverhältnisse als Indikator für die Deckschichtdurchlässigkeit vor dem Hintergrund festgestellter oberflächenbürtiger Beeinflussungen des Grundwassers zu bewerten sind.
47	+ 24	F → Kriterium 24
	+ 40	F / P → Kriterium 40
	+ 48	P Beide Fragen zielen auf die Erhebung von Grundwasserbeschaffenheitsveränderungen ab. Widersprüchliche Antwortkombinationen sind möglich.
48	+ 11	F → Kriterium 11
	+ 37	F → Kriterium 37
	+ 46	F → Kriterium 46
	+ 47	P → Kriterium 47
49	-	- Die Angaben zum Kenntnisstand hinsichtlich des räumlichen Untergrundaufbaus und gegebener Vertikal-drainagen sind als eigenständig bedeutsam im Hinblick auf eine etwaige Zuweisung von Handlungsempfehlungen zu sehen. Ergebnisrelevante Interaktionen zu anderen Kriterien sind nicht gegeben.
50	-	- Liegen belastbare Pumpversuchsergebnisse vor, resultiert hieraus unmittelbar, dass weitergehende Detailangaben zur hydrogeologischen Charakterisierung und Einschätzung des Untergrundes vorliegen. Eine Betrachtung dieses Faktums mit anderen Abwägungskriterien erscheint nicht erforderlich.
51	-	- Von den Angaben zu vorliegenden Tracerversuchen im Betrachtungsraum gehen keine als entscheidungsbedeutsam eingestufte Wirkungsverknüpfung zu anderen Abwägungskriterien hervor. Das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein entsprechender Ergebnisse wird alleine als aussagerelevant bewertet.
52	-	- Kann auf belastbare Strömungsbetrachtungen zurückgegriffen werden, sichert dies die gemachten Angaben hinsichtlich der Eigenschaften und der Empfindlichkeiten des Grundwassers ab. Eine Berücksichtigung etwaiger Interaktionen mit anderen Kriterien wird als nicht erforderlich erachtet.
53	-	- Die Erhebung zu Kontrolluntersuchungen an Wassergewinnungsanlagen im Hinblick auf wichtige, den Aufbau und die Eigenschaften des Grundwasserleiters beschreibende Informationen wird als alleine aussagebedeutsam für die Planungsbewertung angesehen.
54	-	- Von den etwaigen Wirkungsverknüpfungen zwischen den Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers und anderen Abwägungskriterien wird keine als bedeutungsrelevant für die Ergebnisfindung betrachtet. Dies schließt Interaktionen mit anderen Kriterien jedoch nicht grundsätzlich aus.

5.2 Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen zwischen Kriteriumsausprägungen als Ausgangspunkt einer fallindividuellen Planungsbewertung

Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen

Im Anschluss an die Analyse der Kriterienverknüpfungen und der Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Abwägungsgrößen sind auf Grundlage der Kriterienverknüpfungstabelle Ausprägungen bzw. Ausprägungskombinationen zu identifizieren, welche für die Ergebnisfindung von Belang sind, und diesen Handlungsempfehlungen und/oder eine Bedeutung als risikoverstärkende oder -entschärfende Schlüsselausprägungen bei der Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials zuzuordnen.

Hierzu wird in einer Ausprägungsverknüpfungstabelle jede Ausprägung eines Kriteriums jeder Ausprägung der verknüpften Kriterien gegenübergestellt. Dabei sind in einer Plausibilitätsprüfung die Logik der einzelnen Ausprägungsverknüpfungen zu analysieren und alle Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen einer Relevanzprüfung zu unterziehen, bei der für die Zuweisung von Handlungsempfehlungen oder die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials bedeutsame Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen zu erkennen und von solchen Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen zu unterscheiden sind, aus denen keine Empfehlungen resultieren oder denen kein besonderes Gewicht bei der Einstufung der potenziellen Grundwassergefährdung zugesprochen wird.

Durch die Verknüpfung der Abwägungskriterien werden die im ersten Arbeitsbaustein zugewiesenen ausprägungsindividuellen Grundwassergefährdungsbewertungen bestätigt, verstärkt, relativiert oder sogar umgekehrt (vgl. Kap. 4.2).

Ausprägungsverknüpfungstabelle

In der Ausprägungsverknüpfungstabelle werden alle betrachteten Ausprägungsverknüpfungen interagierender Abwägungskriterien samt der Ergebnisse der Plausibilitäts- und Relevanzprüfung zusammengestellt. Dabei werden die Aus-

prägungen jedes Abwägungskriteriums auch einzeln ohne Verknüpfung zu Ausprägungen anderer Abwägungskriterien als Nullverknüpfungen berücksichtigt.

Die ersten beiden Spalten der Tabelle enthalten analog zur Kriteriumsverknüpfungstabelle (vgl. Tab. 7) die Nummer der miteinander in Bezug stehenden Kriterien gemäß der Nummerierung der Checklisten zur Situations- und Planungserhebung (vgl. Kap. 4.3). Die dritte Spalte enthält die Zahl der pro Kriterienverknüpfung zu beachtenden Ausprägungsverknüpfungen, die aus der Anzahl der Ausprägungen interagierender Kriterien und deren Permutation hervorgeht.

Die darauffolgende vierte Spalte führt alle möglichen Ausprägungsverknüpfungen einer Kriterienverknüpfung als Kürzel an. Die Kodierung der Ausprägungen bzw. Ausprägungskombinationen erfolgt dabei dergestalt, dass die Nummer eines Abwägungskriteriums die Basis und die jeweilige Kriteriumsausprägung den Exponenten darstellen. Die Verknüpfung verschiedener Kriteriumsausprägungen wird durch Pluszeichen dargestellt.

In der fünften Spalte erfolgt eine kurze Erläuterung zur Wirkungsverknüpfung, die anführt, warum diese für das Expertensystem von Bedeutung ist und welche Aussagerelevanz diese besitzt, die gegebenenfalls eine bestimmte Handlungsempfehlung und/oder eine Einstufung als Schlüsselausprägung rechtfertigt. Bei nicht plausiblen Ausprägungsverknüpfungen wird begründet, warum eine entsprechende Kombination nicht logisch ist.

Um redundante Dopplungen zu vermeiden, werden in der Ausprägungsverknüpfungstabelle die aus einer Interaktion mehrerer Kriterien hervorgehenden Ausprägungsverknüpfungen nur bei dem Abwägungskriterium mit der niedrigsten Ordnungszahl angeführt. Bei den verknüpften Kriterien mit höherer Ordnungszahl weist ein Pfeil darauf hin, dass Erläuterungen innerhalb der Tabelle an anderer Stelle erfolgen.

Die Ergebnisse der erfolgten Plausibilitätsprüfung der Ausprägungsverknüpfungen werden als Kürzel in der sechsten Tabellenspalte dargestellt. Das Kürzel „P+“ steht dabei für plausible, „P-“ für nicht plausible Ausprägungsverknüpfungen. Nullverknüpfungen sind in sich immer plausibel, wodurch für sie eine entsprechende Überprüfung entfällt.

Die Ergebnisse der Relevanzprüfung sind in vergleichbarer Art und Weise in der Nachbarnspalte angegeben. Das Kürzel „F+“ kennzeichnet fachinhaltlich für eine Zuweisung von Handlungsempfehlungen und/oder die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials als unmittelbar relevant erachtete Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen, „F-“ entsprechend weniger oder nicht bedeutsame, zumindest jedoch nicht als unmittelbar relevant eingestufte Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen.

In der achten Tabellenspalte wird dargestellt, ob es sich bei einer Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung um eine Schlüsselausprägung handelt, welche von besonderem Gewicht für die Einschätzung des gesamtheitlichen Gefährdungsrisikos für das Grundwasser ist.

Inwiefern eine Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung als Schlüsselausprägung in Erscheinung tritt, wird von ihrem individuellen Wirkungseinfluss, insbesondere aber von ihrer Interaktion mit der Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung der verknüpften Abwägungskriterien bestimmt. Schlüsselausprägungen, die mit einem Pluszeichen versehen sind (+), stehen für eine Verschärfung, solche mit einem Minuszeichen (-) für eine Entschärfung der Gefährdungssituation. Entsprechend dessen stellen Schlüsselausprägungen mit doppeltem Pluszeichen (++) für eine deutliche Risikoverschärfung, solche mit zwei Minuszeichen (--) für eine deutliche Risikoentschärfung. Manche Schlüsselausprägungen können im Einzelfall sowohl zu einer Verschärfung als auch zu einer Erhöhung wie auch zu einer Verringerung der potenziellen Grundwassergefährdung führen. Solche Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen werden durch ein Plus- und ein Minuszeichen (+ -) gekennzeichnet.

Die letzte Tabellenspalte führt bei Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen, aus denen sich Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der Kanalbauplanung ableiten lassen, die zuzuweisende Handlungsempfehlung an. Die Nummerierung der Handlungsempfehlungen bezieht sich auf die in den Textbausteinen (vgl. Kap. 7.3) berücksichtigte durchlaufende Nummerierung.

Inwiefern eine graduelle Abstufung der Dringlichkeit der Umsetzung der zugeordneten Handlungsempfehlungen auszusprechen ist, geht aus den Betrachtungen im nachfolgenden Arbeitsbaustein nach Aufstellen des systemspezifischen Analyse- und Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und zur Zuweisung von Handlungsempfehlungen hervor (vgl. Kap. 6)

Tab. 8: Entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen zwischen Kriteriumsausprägungen (Ausprägungsverknüpfungstabelle)

Nachfolgend dargestellt ist lediglich ein Auszug der Verknüpfungstabelle, die vollständig im Anlagenband der Arbeit angeführt wird.

Wirkungsverknüpfungen zwischen Kriteriumsausprägungen (Ausprägungsverknüpfungstabelle)

Verknüpfte Kriterien	Zahl AV	Ausprägungsverknüpfung	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	P	R	SA	HE	
1	-	4	1 ¹	-	-	F-	-	-
		1 ²	-	-	F-	-	-	
		1 ³	-	-	F-	-	-	
		1 ⁴	-	-	F-	-	-	
	+ 2	16	1 ¹ + 2 ¹	-	P+	F-	-	-
			1 ¹ + 2 ²	Ausprägungsverknüpfung nicht plausibel, da Stauraumkanäle eine höhere Nennweite aufweisen bzw. erfordern.	P-	-	-	-
			1 ¹ + 2 ³	-	P+	F-	-	-
			1 ¹ + 2 ⁴	-	P+	F-	-	-
			1 ² + 2 ¹	-	P+	F-	-	-
			1 ² + 2 ²	Ausprägungsverknüpfung nicht plausibel, da Stauraumkanäle eine höhere Nennweite aufweisen bzw. erfordern.	P-	-	-	-
			1 ² + 2 ³	-	P+	F-	-	-
			1 ² + 2 ⁴	-	P+	F-	-	-
			1 ³ + 2 ¹	-	P+	F-	-	-
			1 ³ + 2 ²	Ausprägungsverknüpfung nicht plausibel, da Stauraumkanäle eine höhere Nennweite aufweisen bzw. erfordern.	P-	-	-	-
			1 ³ + 2 ³	-	P+	F-	-	-
			1 ³ + 2 ⁴	-	P+	F-	-	-
			1 ⁴ + 2 ¹	-	P+	F-	-	-
			1 ⁴ + 2 ²	-	P+	F-	-	-
	1 ⁴ + 2 ³	-	P+	F-	-	-		
1 ⁴ + 2 ⁴	-	P+	F-	-	-			
+ 3	12	1 ¹ + 3 ¹	-	P+	F-	-	-	
		1 ¹ + 3 ²	-	P+	F-	-	-	
		1 ¹ + 3 ³	-	P+	F-	-	-	
		1 ² + 3 ¹	-	P+	F-	-	-	
		1 ² + 3 ²	-	P+	F-	-	-	

Verknüpfte Kriterien	Zahl AV	Ausprägungs- verknüpfung	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	P	R	SA	HE
		$1^2 + 3^3$	–	P+	F–	–	–
		$1^3 + 3^1$	Nicht plausibel, da die Gründungstiefe der Graben- bzw. Bohrlochsohle für die Kanalinnenweite zu gering ist. Eine ausreichende Mindestüberdeckung ist zu gewährleisten.	P–	–	–	–
		$1^3 + 3^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^3 + 3^3$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 3^1$	Nicht plausibel, da die Gründungstiefe der Graben- bzw. Bohrlochsohle für die Kanalinnenweite zu gering ist. Eine ausreichende Mindestüberdeckung ist zu gewährleisten.	P–	–	–	–
		$1^4 + 3^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 3^3$	–	P+	F–	–	–
+ 4	12	$1^1 + 4^1$	Kürzere Haltungen erhöhen das Risiko undichter oder falscher Anschlüsse, erleichtern jedoch bei nichtbegehbaren Nennweiten eine Inspektion und Instandhaltung des Kanals.	P+	F+	(+ -)	–
		$1^1 + 4^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^1 + 4^3$	Große Schachtabstände erschweren bei Kanälen mit nicht-begehbaren Nennweiten die Inspektion und Instandhaltung. Dies erhöht die potenzielle Grundwassergefährdung.	P+	F+	(+)	1
		$1^2 + 4^1$	Kürzere Haltungen erhöhen das Risiko undichter oder falscher Anschlüsse, erleichtern jedoch bei nichtbegehbaren Nennweiten eine Inspektion und Instandhaltung des Kanals.	P+	F+	(+ -)	–
		$1^2 + 4^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^2 + 4^3$	Große Schachtabstände erschweren bei Kanälen mit nicht-begehbaren Nennweiten die Inspektion und Instandhaltung. Dies erhöht die potenzielle Grundwassergefährdung.	P+	F+	(+)	1
		$1^3 + 4^1$	Das Risiko von Fehlanschlüssen oder undichten Anschlüssen steigt mit abnehmender Haltungslänge. Dies erhöht das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser.	P+	F+	(+)	2
		$1^3 + 4^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^3 + 4^3$	Bei größeren Schachtabständen geht das Risiko von Fehlanschlüssen zurück. Dies verringert das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser.	P+	F+	(-)	–
		$1^4 + 4^1$	Das Risiko von Fehlanschlüssen oder undichten Anschlüssen steigt mit abnehmender Haltungslänge. Dies erhöht das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser.	P+	F+	(+)	2
		$1^4 + 4^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 4^3$	Bei größeren Schachtabständen geht das Risiko von Fehlanschlüssen zurück. Dies verringert das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser.	P+	F+	(-)	–
+ 9	20	$1^1 + 9^1$	–	P+	F–	–	–
		$1^1 + 9^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^1 + 9^3$	–	P+	F–	–	–
		$1^1 + 9^4$	–	P+	F–	–	–
		$1^1 + 9^5$	Ausprägungsverknüpfung ist nicht logisch, da sich die Ausprägung 9 ⁵ auf begehbare Kanäle bezieht, bei Ausprägung 1 ¹ jedoch keine Begehrbarkeit gegeben ist.	P–	–	–	–
		$1^2 + 9^1$	–	P+	F–	–	–
		$1^2 + 9^2$	–	P+	F–	–	–

Verknüpfte Kriterien	Zahl AV	Ausprägungs- verknüpfung	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	P	R	SA	HE
		$1^2 + 9^3$	–	P+	F–	–	–
		$1^2 + 9^4$	–	P+	F–	–	–
		$1^2 + 9^5$	Ausprägungsverknüpfung ist nicht logisch, da sich die Ausprägung 9^5 auf begehbbare Kanäle bezieht, bei Ausprägung 1^1 jedoch keine Begehbarkeit gegeben ist.	P–	–	–	–
		$1^3 + 9^1$	–	P+	F–	–	–
		$1^3 + 9^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^3 + 9^3$	–	P+	F–	–	–
		$1^3 + 9^4$	Eine Ableitung von Abwasser in Klein- und Pflanzenkläranlagen beschränkt sich auf vergleichsweise geringe Abwassermengen und daher auf kleinere Rohrenweiten.	P–	–	–	–
		$1^3 + 9^5$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 9^1$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 9^2$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 9^3$	–	P+	F–	–	–
		$1^4 + 9^4$	Eine Ableitung von Abwasser in Klein- und Pflanzenkläranlagen beschränkt sich auf vergleichsweise geringe Abwassermengen und daher auf kleinere Rohrenweiten.	P–	–	–	–
		$1^4 + 9^5$	–	P+	F–	–	–
+ 11 + 13	24	$1^1 + 11^1 + 13^1$	Bei nichtbegehbbaren Sammlern mit geringer bis normaler Bedeutung zur Ableitung von häuslichem Abwasser ist von einer geringeren Gefährdung auszugehen.	P+	F+	(–)	–
		$1^1 + 11^2 + 13^1$	Auch bei geringen Mengen an abzuleitendem nicht häuslichen Abwasser ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial für das Grundwasser auszugehen.	P+	F+	(+)	43
		$1^2 + 11^1 + 13^1$	Bei nichtbegehbbaren Sammlern mit geringer bis normaler Bedeutung zur Ableitung von häuslichem Abwasser ist von einer geringeren Gefährdung auszugehen.	P+	F+	(–)	–
		$1^2 + 11^2 + 13^1$	Auch bei geringen bis mittleren Mengen an abzuleitendem nicht häuslichen Abwasser ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial für das Grundwasser auszugehen.	P+	F+	(+)	43
		$1^3 + 11^1 + 13^1$	Beim Abführen größerer Mengen häuslichen Abwassers in einem Sammler mit geringer bis normaler Bedeutung ist ein erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko gegeben.	P+	F+	(+)	43
		$1^3 + 11^2 + 13^1$	Beim Ableiten größerer Mengen nicht häuslichen Abwassers besteht ein stark erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(+ +)	43
		$1^4 + 11^1 + 13^1$	Beim Abführen größerer Mengen häuslichen Abwassers in einem Sammler mit geringer bis normaler Bedeutung ist ein erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko gegeben.	P+	F+	(+)	43
		$1^4 + 11^2 + 13^1$	Beim Ableiten größerer Mengen nicht häuslichen Abwassers besteht ein stark erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(+ +)	43
		$1^1 + 11^1 + 13^2$	Bei einem nichtbegehbbaren Kanal ist bei einem Hauptsammler mit übergeordneter Bedeutung von einer geringeren Gefährdung auszugehen.	P+	F+	(–)	–
		$1^1 + 11^2 + 13^2$	Auch bei geringen Mengen an abzuleitendem nicht häuslichen Abwasser ist von einem erhöhten Gefährdungspotenzial für das Grundwasser auszugehen.	P+	F+	(+)	43
		$1^2 + 11^1 + 13^2$	Bei einem nichtbegehbbaren Kanal ist bei einem Hauptsammler mit übergeordneter Bedeutung von einer geringeren Gefährdung auszugehen.	P+	F+	(–)	–
		$1^2 + 11^2 + 13^2$	Bei abzuleitendem nicht häuslichen Abwasser ist zumindest von einem erhöhten Gefährdungspotenzial für das Grundwasser auszugehen.	P+	F+	(+)	43
		$1^3 + 11^1 + 13^2$	Beim Abführen größerer Mengen häuslichen Abwassers in einem Hauptsammler mit übergeordneter Bedeutung ist ein erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko gegeben.	P+	F+	(+)	43

Verknüpfte Kriterien	Zahl AV	Ausprägungs- verknüpfung	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	P	R	SA	HE	
		$1^3 + 11^2 + 13^2$	Bei der Ableitung größerer Mengen nicht häuslichen Abwassers besteht ein stark erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(+ +)	43	
		$1^4 + 11^1 + 13^2$	Beim Abführen größerer Mengen häuslichen Abwassers in einem Hauptsammler mit übergeordneter Bedeutung ist ein erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko gegeben.	P+	F+	(+)	43	
		$1^4 + 11^2 + 13^2$	Bei der Ableitung größerer Mengen nicht häuslichen Abwassers besteht ein stark erhöhtes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(+ +)	43	
		$1^1 + 11^1 + 13^3$	Bei der Ableitung geringerer Mengen häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein deutlich verringertes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(- -)	-	
		$1^1 + 11^2 + 13^3$	Beim Abführen nicht häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein erhöhtes Grundwassergefährdungspotenzial.	P+	F+	(+)	43	
		$1^2 + 11^1 + 13^3$	Bei der Ableitung geringerer Mengen häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein deutlich verringertes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(- -)	-	
		$1^2 + 11^2 + 13^3$	Beim Abführen nicht häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein erhöhtes Grundwassergefährdungspotenzial.	P+	F+	(+)	43	
		$1^3 + 11^1 + 13^3$	Bei einer Ableitung größerer Mengen häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein verringertes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(-)	-	
		$1^3 + 11^2 + 13^3$	Beim Abführen nicht häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein erhöhtes Grundwassergefährdungspotenzial.	P+	F+	(+)	43	
		$1^4 + 11^1 + 13^3$	Bei einer Ableitung größerer Mengen häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein verringertes Grundwassergefährdungsrisiko.	P+	F+	(-)	-	
		$1^4 + 11^2 + 13^3$	Beim Abführen nicht häuslichen Abwassers in Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillings-Systemen besteht ein erhöhtes Grundwassergefährdungspotenzial.	P+	F+	(+)	43	
	+ 15	12	$1^1 + 15^1$	-	P+	F-	-	-
			$1^1 + 15^2$	-	P+	F-	-	-
			$1^1 + 15^3$	-	P+	F-	-	-
			$1^2 + 15^1$	-	P+	F-	-	-
			$1^2 + 15^2$	-	P+	F-	-	-
			$1^2 + 15^3$	-	P+	F-	-	-
			$1^3 + 15^1$	-	P+	F-	-	-
			$1^3 + 15^2$	Fräs- und Pflugverfahren als Sonderverfahren der Bauverfahrenstechnik sind nur bei kleinen Rohrmennweiten einsetzbar.	P-	-	-	-
			$1^3 + 15^3$	-	P+	F-	-	-
			$1^4 + 15^1$	-	P+	F-	-	-
			$1^4 + 15^2$	Fräs- und Pflugverfahren als Sonderverfahren der Bauverfahrenstechnik sind nur bei kleinen Rohrmennweiten einsetzbar.	P-	-	-	-
			$1^4 + 15^3$	-	P+	F-	-	-
2	-	4	2^1	-	-	F-	-	-
			2^2	-	-	F-	-	-
			2^3	Infolge des Betriebsdruckes wird die aus einer Druckleitung exfiltrierende Abwassermenge erheblich größer sein, als bei einer Freispiegelleitung.	-	F+	(+ +)	3

Verknüpfte Kriterien	Zahl AV	Ausprägungs- verknüpfung	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	P	R	SA	HE
		2 ⁴	Undichtigkeiten sind bei Unterdruckleitungen bzw. -kanälen durch eine vermehrte Förderung angesaugten Fremdwassers vergleichsweise schnell und einfach zu erkennen.	-	F+	(- -)	-
+ 1	→ Kriterium 1
+ 3	12	2 ¹ + 3 ¹	-	P+	F-	-	-
		2 ¹ + 3 ²	-	P+	F-	-	-
		2 ¹ + 3 ³	-	P+	F-	-	-
		2 ² + 3 ¹	-	P+	F-	-	-
		2 ² + 3 ²	-	P+	F-	-	-
		2 ² + 3 ³	-	P+	F-	-	-
		2 ³ + 3 ¹	-	P+	F-	-	-
		2 ³ + 3 ²	Druckleitungen sind im Verlauf weniger an die Geländetopographie gebunden. Eine Verlegung sollte so flach wie möglich erfolgen, um Eingriffe in den Untergrund zu reduzieren.	P+	F+	-	4
		2 ³ + 3 ³	Druckleitungen sind im Verlauf weniger an die Geländetopographie gebunden. Eine Verlegung sollte so flach wie möglich erfolgen, um Eingriffe in den Untergrund zu reduzieren.	P+	F+	-	4
		2 ⁴ + 3 ¹	-	P+	F-	-	-
+ 15	12	2 ⁴ + 3 ²	Unterdruckleitungen sind weniger an die Topographie des Geländes gebunden als Freispiegelleitungen. Eine Verlegung sollte so flach wie möglich erfolgen.	P+	F+	-	4
		2 ⁴ + 3 ³	Unterdruckleitungen sind weniger an die Topographie des Geländes gebunden als Freispiegelleitungen. Eine Verlegung sollte so flach wie möglich erfolgen.	P+	F+	-	4
		2 ¹ + 15 ¹	-	P+	F-	-	-
		2 ¹ + 15 ²	-	P+	F-	-	-
		2 ¹ + 15 ³	-	P+	F-	-	-
		2 ² + 15 ¹	-	P+	F-	-	-
		2 ² + 15 ²	Die Errichtung eines Stauraumkanals mittels Fräs- und Pflugverfahren ist nicht möglich. Die Ausprägungsverknüpfung ist daher nicht plausibel.	P-	-	-	-
		2 ² + 15 ³	-	P+	F-	-	-
		2 ³ + 15 ¹	-	P+	F-	-	-
		2 ³ + 15 ²	-	P+	F-	-	-
2 ³ + 15 ³	-	P+	F-	-	-		
2 ⁴ + 15 ¹	-	P+	F-	-	-		
2 ⁴ + 15 ²	-	P+	F-	-	-		
2 ⁴ + 15 ³	-	P+	F-	-	-		

Verknüpfte Kriterien	Zahl AV	Ausprägungs- verknüpfung	Erläuterungen zur Wirkungsverknüpfung und deren Bedeutungsrelevanz für das Expertensystem	P	R	SA	HE	
+ 45	8	2 ¹ + 45 ¹	Bei einer Beschädigung oder Undichtigkeiten des Abwasserkanals kommt es zu einer Infiltration von Grundwasser in den Abwasserkanal.	P+	F+	(-)	-	
		2 ¹ + 45 ²	Bei Kanalschäden an Freispiegelleitungen mit Verlauf oberhalb des Wasserspiegels kommt es zu einer Exfiltration von Abwasser.	P+	F+	(+)	-	
		2 ² + 45 ¹	Bei einer Beschädigung oder Undichtigkeiten des Abwasserkanals kommt es zu einer Infiltration von Grundwasser in den Abwasserkanal.	P+	F+	(-)	-	
		2 ² + 45 ²	Bei Kanalschäden an Freispiegelleitungen mit Verlauf oberhalb des Wasserspiegels kommt es zu einer Exfiltration von Abwasser.	P+	F+	(+)	-	
		2 ³ + 45 ¹	Im Fall von Beschädigungen an Druckleitungen kommt es zu einer Exfiltration von Abwasser.	P+	F+	(+)	-	
		2 ³ + 45 ²	Im Fall von Beschädigungen an Druckleitungen kommt es zu einer starken Exfiltration von Abwasser.	P+	F+	(+ +)	-	
		2 ⁴ + 45 ¹	Bei Beschädigungen an Unterdruckleitungen kommt es zu einer Infiltration von Grundwasser in den Abwasserkanal.	P+	F+	(-)	-	
		2 ⁴ + 45 ²	Bei Beschädigungen an Unterdruckleitungen kommt es zu keiner Exfiltration von Abwasser und keiner Infiltration von Grundwasser in den Abwasserkanal.	P+	F+	(--)	-	
3	-	3 ¹	Je tiefer ein Kanal verlegt wird, desto umfangreicher sind die durchzuführenden Eingriffe in den Untergrund. Eine oberflächennahe Verlegung kann das Gefährdungsrisiko verringern.	-	F+	(-)	-	
		3 ²	-	-	F-	-	-	
		3 ³	-	-	F-	-	-	
	+ 1	→ Kriterium 1
	+ 2	→ Kriterium 2
	+ 15	9	3 ¹ + 15 ¹	-	P+	F-	-	-
			3 ¹ + 15 ²	-	P+	F-	-	-
			3 ¹ + 15 ³	-	P+	F-	-	-
			3 ² + 15 ¹	Bei größeren Graben- und Bohrlochtiefen sind bei geplanter offener Bauweise aufwändige Arbeiten erforderlich (Verbau u.ä.), die ein zusätzliches Gefährdungspotenzial darstellen.	P+	F+	(+)	4 / 5
			3 ² + 15 ²	-	P+	F-	-	-
3 ² + 15 ³			Bei geschlossener Bauweise sind auch bei größeren Gründungstiefen weniger Erdarbeiten erforderlich als bei offener Bauweise. Dies reduziert das Gefährdungsrisiko deutlich.	P+	F+	(--)	-	
3 ³ + 15 ¹			Bei größeren Graben- und Bohrlochtiefen sind bei geplanter offener Bauweise aufwändige Arbeiten erforderlich (Verbau u.ä.), die ein zusätzliches Gefährdungspotenzial darstellen.	P+	F+	(+ +)	4 / 5	
3 ³ + 15 ²			-	P+	F-	-	-	
+ 33 + 35 + 45	72	3 ¹ + 33 ¹ + 35 ¹ + 45 ¹	Der Abwasserkanal liegt innerhalb der Deckschichten, d.h. Grundwasserniveau muss unterhalb des Kanals liegen. Die Ausprägungsverknüpfung ist nicht plausibel.	P-	-	-	-	
		3 ¹ + 33 ² + 35 ¹ + 45 ¹	Der Abwasserkanal liegt innerhalb der Deckschichten, d.h. Grundwasserniveau muss unterhalb des Kanals liegen. Die Ausprägungsverknüpfung ist nicht plausibel.	P-	-	-	-	
		3 ¹ + 33 ³ + 35 ¹ + 45 ¹	Der Abwasserkanal liegt innerhalb der Deckschichten, d.h. Grundwasserniveau muss unterhalb des Kanals liegen. Die Ausprägungsverknüpfung ist nicht plausibel.	P-	-	-	-	

Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

6 Analyse- und Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und Zuweisung von Handlungsempfehlungen

6.1 Zuordnen resultierender Handlungsempfehlungen zu bedingenden Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen

Resultierende Handlungsempfehlungen

Das Zuordnen resultierender Handlungsempfehlungen zu bedingenden Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen erfolgt über eine zweispaltige Zuordnungstabelle nach dem angeführten Ereignis-Konsequenz-Modell (vgl. Kap. 3.4).

In der linken Tabellenspalte werden die nach der Analyse entscheidungsbedeutsamer Wirkungsverknüpfungen zwischen Kriteriumsausprägungen als zuweisungsrelevant eingestufte Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen (vgl. Tab. 8) angeführt, welchen in der rechten Spalte die aus ihrem fallspezifischen Zutreffen resultierenden Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der angestrebten Kanalbauplanung gegenübergestellt werden.

Handlungsempfehlungen, welche bereits beim Zutreffen einer einzelnen Kriteriumsausprägung zuzuweisen sind, stellen direkte, solche, die ein Zutreffen von Ausprägungsverknüpfungen erfordern, indirekte Handlungsempfehlungen dar. Die Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung in der linken Tabellenspalte repräsentiert somit die Wenn-Bedingung, die gewichtete oder ungewichtete Handlungsempfehlung in der rechten Spalte die zugewiesene Dann-Konsequenz.

Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen werden in der Zuordnungstabelle durch die bereits in der Ausprägungsverknüpfungstabelle (vgl. Tab. 8) verwendeten Zahlenkürzel dargestellt, wobei die Nummerierung der Abwägungskriterien die Basiszahl, die zutreffende Ausprägung den zugehörigen Exponenten bildet. Die Benennung der mit dem Präfix „HE“ gekennzeichneten 43 festgelegten, im Expertensystem berücksichtigten Handlungsempfehlungen (vgl. Kap. 4.4) entspricht der Nummerierung in der

letzten Spalte der Ausprägungsverknüpfungstabelle (vgl. Tab. 8) und bezieht sich auf die zugehörigen Textbausteine (vgl. Kap. 7.3), welche die Handlungsempfehlungen inhaltlich konkretisieren und beschreiben. Durch die Voranstellung des Präfixes „HE“ sollen Verwechslungen mit der Nummerierung der Abwägungskriterien vermieden werden.

Bedingen verschiedene Ausprägungen bzw. Ausprägungsverknüpfungen ein und dieselbe Empfehlung und lässt sich eine unterschiedliche Gewichtung der Dringlichkeit deren Zuweisung ableiten (vgl. Kap. 3.4), wird das erfolgte Rating als Indexzahl an das Kürzel der betreffenden Handlungsempfehlung angehängt. Die Indexzahl „1“ steht dabei für „dringend empfohlen“, die Indexzahl „2“ für „empfohlen“ und die Indexzahl „3“ für „nach Möglichkeit empfohlen“ (vgl. Tab. 3). Handlungsempfehlungen, bei denen keine Gewichtung der Dringlichkeit erfolgt, sind in jedem Fall als empfohlen bzw. dringend empfohlen anzusehen.

Tab. 9: Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen zugeordnete Handlungsempfehlungen (Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen)

Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen zugeordnete Handlungsempfehlungen

Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung	Handlungsempfehlung zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Planung
$1^1 + 4^3$	HE 1
$1^2 + 4^3$	HE 1
$1^3 + 4^1$	HE 2
$1^4 + 4^1$	HE 2
2^3	HE 3
$2^3 + 3^2$	HE 4 ₁
$2^3 + 3^3$	HE 4 ₁
$2^4 + 3^2$	HE 4 ₂
$2^4 + 3^3$	HE 4 ₂
$3^2 + 15^1$	HE 4 ₁
$3^3 + 15^1$	HE 4 ₁
$3^3 + 15^3$	HE 4 ₂
$3^2 + 15^1$	HE 5 ₃
$3^3 + 15^1$	HE 5 ₂
45^1	HE 5 ₂
$4^1 + 14^1$	HE 6 ₂
$4^1 + 14^3$	HE 6 ₁
$4^2 + 14^1$	HE 6 ₂
$4^2 + 14^3$	HE 6 ₂
$4^3 + 14^1$	HE 6 ₃
$4^3 + 14^3$	HE 6 ₂
5^2	HE 7
$6^1 + 11^2$	HE 8
$7^1 + 32^2$	HE 9
$7^2 + 32^1$	HE 9
$8^1 + 32^2$	HE 10
$8^2 + 32^1$	HE 11
9^1	HE 12
9^2	HE 13
9^3	HE 14 ₃
12^1	HE 14 ₂
10^1	HE 15
11^2	HE 16
13^2	HE 17
18^2	HE 18 ₁
18^4	HE 18 ₂

Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung	Handlungsempfehlung zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Planung
15^1	HE 19 ₂
15^3	HE 19 ₃
21^2	HE 19 ₁
21^3	HE 19 ₁
$40^1 + 47^2$	HE 19 ₂
$40^2 + 47^2$	HE 19 ₂
$40^3 + 47^2$	HE 19 ₂
$40^1 + 47^3$	HE 19 ₂
$40^2 + 47^3$	HE 19 ₂
$40^3 + 47^3$	HE 19 ₂
$15^1 + 45^1$	HE 20
$15^3 + 45^1$	HE 20
16^1	HE 21
17^2	HE 22
18^1	HE 23 ₁
18^2	HE 23 ₁
18^3	HE 23 ₂
18^4	HE 23 ₂
19^4	HE 24
$19^1 + 20^1$	HE 25 ₂
$19^2 + 20^1$	HE 25 ₁
$19^3 + 20^1$	HE 25 ₁
$19^4 + 24^3$	HE 26
21^2	HE 27
21^3	HE 27
22^1	HE 28
24^2	HE 28
23^1	HE 29
24^1	HE 30
25^1	HE 31
27^1	HE 32
29^2	HE 33
31^1	HE 34
32^1	HE 35
47^1	HE 36 ₂
47^2	HE 36 ₁
47^3	HE 36 ₁
47^1	HE 37

Ausprägung bzw. Ausprägungsverknüpfung	Handlungsempfehlung zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Planung
47^2	HE 37
47^3	HE 37
47^4	HE 37
48^1	HE 38
49^1	HE 39
50^1	HE 39
51^1	HE 39
52^1	HE 39
53^1	HE 39
54^1	HE 39
49^2	HE 40
53^2	HE 40
50^2	HE 41
51^2	HE 42
52^2	HE 42
$1^1 + 11^2 + 13^1$	HE 43
$1^2 + 11^2 + 13^1$	HE 43
$1^3 + 11^1 + 13^1$	HE 43
$1^3 + 11^2 + 13^1$	HE 43
$1^4 + 11^1 + 13^1$	HE 43
$1^4 + 11^2 + 13^1$	HE 43
$1^1 + 11^2 + 13^2$	HE 43
$1^2 + 11^2 + 13^2$	HE 43
$1^3 + 11^1 + 13^2$	HE 43
$1^3 + 11^2 + 13^2$	HE 43
$1^4 + 11^1 + 13^2$	HE 43
$1^4 + 11^2 + 13^2$	HE 43
$1^1 + 11^2 + 13^3$	HE 43
$1^2 + 11^2 + 13^3$	HE 43
$1^3 + 11^2 + 13^3$	HE 43
$1^4 + 11^2 + 13^3$	HE 43

6.2 Kombination von Schlüsselausprägungen zur Abwägung von Risiken und Sensibilitäten und Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials

Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen

Die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung erfolgt anhand einer mehrteiligen Zuordnungstabelle zur Gefährdungseinschätzung, in denen ausgewählte, aus der fallindividuellen Ausgangs- und Planungssituation resultierende Risiken und Sensibilitäten betrachtet werden. Den Ausgangspunkt stellen die gefährdungsverschärfenden und -entschärfenden Schlüsselausprägungen der Ausprägungsverknüpfungstabelle dar (vgl. Tab. 8). Aus ihrem Zusammenwirken soll die Höhe des gesamtheitlichen, von der Errichtung und dem Betrieb der Abwasserkanalisation ausgehenden Grundwassergefährdungspotenzials abgeleitet werden.

Hierzu werden die Ausprägungen bzw. Ausprägungen mit Schlüsselcharakter für die Einschätzung der durch die geplante Abwasserkanalisation gegebenen potenziellen Grundwassergefährdung insgesamt 13 Kombinationsgruppen zugeordnet, welche jeweils einen für die Gesamtbewertung des Wirkungsgefüges zwischen Kanalbauwerk, Untergrund und Grundwasser bedeutsamen raum- und planungsspezifischen Bewertungsaspekt betrachten.

Für jede der Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen erfolgt eine eigene Risiko- bzw. Sensibilitätseinschätzung betreffend dem durch sie definierten gesamtbewertungsrelevanten Aspekt. Hierzu werden die möglichen Permutationen zwischen den einer Gruppe zugeordneten Schlüsselausprägungen betrachtet und jeweils bewertet, ob diese für eine Bestätigung, eine Minderung oder aber eine Erhöhung von Risiken und Sensibilitäten sprechen.

Als die Kombinationsgruppen definierende Wirkungsteilkomplexe werden dabei berücksichtigt:

- die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers,
- das vom Entwässerungssystem und von abwassertechnischen Bauwerken ausgehende Gefährdungsrisiko,

- das Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal,
- das Risiko des Nichterkennens von Kanalschäden bzw. durch eine erschwerte Kanalinspektion und -sanierung,
- das Risiko einer Stoffdrainage entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund,
- das von den Eingriffen in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals ausgehende Gefährdungsrisiko,
- das Risiko durch die Positionierung und Einrichtung der Baustelle,
- das Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser,
- die Sensibilität der Wassergewinnung und Schutzstatus des zu durchleitenden Raumes,
- die Sensibilität des Grundwassers im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen,
- die Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung,
- die Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe,
- die Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal.

Die Schlüsselausprägungen werden in der Zuordnungstabelle analog zur Ausprägungsverknüpfungstabelle kodiert. Die Darstellung ihrer Kombination erfolgt über ein Pluszeichen (+) für den Operator UND bzw. einen Schrägstrich (/) für den Operator ODER, wobei die ODER-Verknüpfung Vorrang hat. Zur besseren Visuali-

sierung und Unterscheidung werden die Schlüssel unterschiedlich farblich dargestellt.

Die abgeleitete Risiko- bzw. Sensibilitätsbewertung wird durch eine farbliche Unterlegung der zur Schlüsselausprägungskombination gehörenden Tabellenzeile symbolisiert, wobei Grün für das Bewertungsurteil „weniger hoch“, Gelb für das Bewertungsurteil „hoch“ und Rot für das Bewertungsurteil „besonders hoch“ steht.

In Bezug auf die Textbausteine (vgl. Kap. 7) für die zusammenfassende gutachtliche Darstellung der einzelfallindividuellen Ausgangs- und Planungssituation sowie der Risiko- und Sensibilitätsbewertungen und der daraus hervorgehenden Einschätzung des von der geplanten Abwasserkanalisation im Wasserschutzgebiet ausgehenden gesamtheitlichen Gefährdungspotenzials für das Grundwasser, erfolgt zudem eine Kodierung der gruppenindividuellen Bewertungen durch das Kürzel „GE“, die Nummerierung der Kombinationsgruppe 1 bis 13 sowie einem Indexbuchstaben „A“, „B“ oder „C“ ab, die analog zu den Hintergrundfarben für die Einstufungen „weniger hoch“, „hoch“ und „besonders hoch“ stehen. Indexbuchstaben werden verwendet, um Verwechslungen mit den Indexzahlen bei der Gewichtung von Handlungsempfehlungen vorzubeugen (vgl. Kap. 6.1).

Ableitung des Grundwassergefährdungspotenzials

Die Einschätzung des gesamtheitlichen Grundwassergefährdungspotenzials erfolgt durch Zusammenführen der kombinationsgruppenspezifischen Risiko- und Sensibilitätsbewertungen und die Häufigkeitsverteilung der dort zugewiesenen Bewertungsurteile.

Das von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme ausgehende gesamtheitliche **Grundwassergefährdungspotenzial** wird als „weniger hoch“ eingestuft, wenn von den 13 aus der Betrachtung der Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen hervorgehenden Risiko- und Sensibilitätsbewertungen entweder

mehr als 50 %, also mindestens sieben Risiko- und Sensibilitätsbewertungen

zum Urteil „weniger hoch“ kommen und gleichzeitig keine Risiko- und Sensibilitätsbewertung „besonders hoch“ lautet,

oder

mehr als 60 %, also mindestens acht Risiko- und Sensibilitätsbewertungen zum Urteil „weniger hoch“ kommen und gleichzeitig weniger als 10 %, also maximal eine Risiko- und Sensibilitätsbewertung „besonders hoch“ lautet,

oder

mehr als 70 %, also mindestens neun Risiko- und Sensibilitätsbewertungen zum Urteil „weniger hoch“ kommen und gleichzeitig maximal 15 %, also maximal zwei Risiko- und Sensibilitätsbewertungen „besonders hoch“ lauten.

Das von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme ausgehende gesamtheitliche **Grundwassergefährdungspotenzial** wird als „**besonders hoch**“ eingestuft, wenn von den 13 aus der Betrachtung der Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen hervorgehenden Risiko- und Sensibilitätsbewertungen entweder

mehr als 50 %, also mindestens sieben Risiko- und Sensibilitätsbewertungen zum Urteil „besonders hoch“ kommen

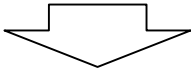
oder

mehr als 30 %, also mindestens vier Risiko- und Sensibilitätsbewertungen zum Urteil „besonders hoch“ kommen und gleichzeitig maximal 30 %, also maximal vier Risiko- und Sensibilitätsbewertung „weniger hoch“ lauten.

In allen übrigen Fällen wird das von der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme ausgehende gesamtheitliche **Grundwassergefährdungspotenzial** als „hoch“ eingestuft.

Tab. 10 führt die hieraus resultierende Zuordnungsmatrix zur gesamtheitlichen Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials an, welche die zuvor verbal formulierten Regeln zu dessen Ableitung noch einmal zusammenfassend darstellt.

Tab. 10: Zuordnungsmatrix zur gesamtheitlichen Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials

Grundwassergefährdungspotenzial der geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme			
Risiko- und Sensibilitätsbewertung der 13 Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen			Grundwassergefährdungspotenzial 
weniger hoch (GE ... A)	hoch (GE ... B)	besonders hoch (GE ... c)	
≥ 7 x	≤ 6 x	0 x	weniger hoch (GE A)
≥ 8 x	≤ 4 x	1 x	
≥ 9 x	≤ 2 x	2 x	
alle übrigen Fälle			hoch (GE B)
≤ 4 x	≥ 3 x	≥ 7 x	besonders hoch (GE C)
≤ 4 x	≥ 4 x	6 x	
≤ 4 x	≥ 5 x	5 x	
		4 x	

Nachfolgend wird in Tab. 11 ein Teil der Kombinationen von Schlüsselausprägungen zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials dargestellt. Die mit ihre 13 Teilen im gesamt-

ten über 75 Seiten große „Zuordnungstabelle Gefährdungseinschätzung“ ist im Anlagenband in Anlage 2 vollständig angeführt, auf die an dieser Stelle weiterführend verwiesen wird.

Tab. 11: Kombination von Schlüsselausprägungen zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials (Zuordnungstabelle Gefährdungseinschätzung)

Die vollständige Zuordnungstabelle wird in Anlage 2 des Anlagenbandes angeführt.

Kombination von Schlüsselausprägungen zur Einschätzung des Grundwasserfährdungspotenzials

GE 1: Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers

Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
1 + 11 + 13	$1^1 + 11^1 + 13^3$	$1^1 + 11^1 + 13^1$	$1^1 + 11^2 + 13^1$	$1^3 + 11^2 + 13^1$
	$1^2 + 11^1 + 13^3$	$1^2 + 11^1 + 13^1$	$1^2 + 11^2 + 13^1$	$1^4 + 11^2 + 13^1$
		$1^1 + 11^1 + 13^2$	$1^3 + 11^1 + 13^1$	$1^3 + 11^2 + 13^2$
		$1^2 + 11^1 + 13^2$	$1^4 + 11^1 + 13^1$	$1^4 + 11^2 + 13^2$
		$1^3 + 11^1 + 13^3$	$1^1 + 11^2 + 13^2$	
		$1^4 + 11^1 + 13^3$	$1^2 + 11^2 + 13^2$	
			$1^3 + 11^1 + 13^2$	
			$1^4 + 11^1 + 13^2$	
			$1^1 + 11^2 + 13^3$	
			$1^2 + 11^2 + 13^3$	
			$1^3 + 11^2 + 13^3$	
			$1^4 + 11^2 + 13^3$	
2	2^4			2^3
6 + 11	$6^2 + 11^2$	$6^2 + 11^1$	$6^1 + 11^2$	
9 + 19			$9^3 + 19^2$	$9^4 + 19^2$
			$9^3 + 19^3$	$9^4 + 19^3$
			$9^4 + 19^1$	

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Risiko weniger hoch (GE 1a)	Risiko hoch (GE 1a)	Risiko besonders hoch (GE 1c)
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^4 + (6^2 + 11^1) + (9^3 + 19^2) / (9^3 + 19^3) / (9^4 + 19^1)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^4 + (6^2 + 11^1) + (9^4 + 19^2) / (9^4 + 19^3)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^4 + (6^2 + 11^1) + (-)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^4 + (-) + (9^3 + 19^2) / (9^3 + 19^3) / (9^4 + 19^1)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^4 + (-) + (9^4 + 19^2) / (9^4 + 19^3)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^4 + (-) + (-)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^3 + (6^2 + 11^1) + (9^3 + 19^2) / (9^3 + 19^3) / (9^4 + 19^1)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^3 + (6^2 + 11^1) + (9^4 + 19^2) / (9^4 + 19^3)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^3 + (6^2 + 11^1) + (-)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^3 + (-) + (9^3 + 19^2) / (9^3 + 19^3) / (9^4 + 19^1)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^3 + (-) + (9^4 + 19^2) / (9^4 + 19^3)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + 2^3 + (-) + (-)$		
$(1^1 + 11^1 + 13^3) / (1^2 + 11^1 + 13^3) + (-) + (6^2 + 11^1) + (9^3 + 19^2) / (9^3 + 19^3) / (9^4 + 19^1)$		
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband		

GE 2: Gefährdungsrisiko durch Entwässerungssystem und abwassertechnische Bauwerke

Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
9		9^5	9^2	
10		10^2		
10 + 19			$10^1 + 19^1$	$10^1 + 19^2$ $10^1 + 19^3$

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Risiko weniger hoch (GE 2a)	Risiko hoch (GE 2b)	Risiko besonders hoch (GE 2c)
-----------------------------	---------------------	-------------------------------

$9^5 + (-) + (-)$
$9^5 + 10^2 + (-)$
$9^5 + (-) + (10^1 + 19^1)$
$9^5 + (-) + (10^1 + 19^2) / (10^1 + 19^3)$
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 3: Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal

Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
1 + 4		$1^3 + 4^3$ $1^4 + 4^3$	$1^1 + 4^1$ $1^1 + 4^3$ $1^2 + 4^1$ $1^2 + 4^3$ $1^3 + 4^1$ $1^4 + 4^1$	
2 + 45	$2^4 + 45^2$	$2^1 + 45^1$ $2^2 + 45^1$ $2^4 + 45^1$	$2^1 + 45^2$ $2^2 + 45^2$ $2^3 + 45^1$	$2^3 + 45^2$
4 + 14	$4^1 + 14^4$ $4^2 + 14^4$ $4^3 + 14^4$	$4^1 + 14^2$ $4^2 + 14^2$ $4^3 + 14^1$ $4^3 + 14^2$	$4^1 + 14^1$ $4^2 + 14^1$ $4^2 + 14^3$ $4^3 + 14^3$	$4^1 + 14^3$
7 + 32		$7^1 + 32^1$ $7^2 + 32^2$	$7^1 + 32^2$ $7^2 + 32^1$	
8 + 32		$8^1 + 32^1$ $8^2 + 32^2$	$8^1 + 32^2$ $8^2 + 32^1$	
9 + 11			$9^2 + 11^1$	$9^2 + 11^2$
12		12^2		

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:		
Risiko weniger hoch (GE 3 _A)	Risiko hoch (GE 3 _B)	Risiko besonders hoch (GE 3 _C)
$(1^3 + 4^3) / (1^4 + 4^3) + (2^4 + 45^2) + (4^3 + 14^4) + (7^1 + 32^1) / (7^2 + 32^2) + (8^1 + 32^1) / (8^2 + 32^2) + (9^2 + 11^1) + 12^2$		
$(1^3 + 4^3) / (1^4 + 4^3) + (2^4 + 45^2) + (4^3 + 14^4) + (7^1 + 32^1) / (7^2 + 32^2) + (8^1 + 32^1) / (8^2 + 32^2) + (9^2 + 11^1) + (-)$		
$(1^3 + 4^3) / (1^4 + 4^3) + (2^4 + 45^2) + (4^3 + 14^4) + (7^1 + 32^1) / (7^2 + 32^2) + (8^1 + 32^1) / (8^2 + 32^2) + (9^2 + 11^2) + 12^2$		
$(1^3 + 4^3) / (1^4 + 4^3) + (2^4 + 45^2) + (4^3 + 14^4) + (7^1 + 32^1) / (7^2 + 32^2) + (8^1 + 32^1) / (8^2 + 32^2) + (9^2 + 11^2) + (-)$		
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband		

GE 4: Risiko des Nichterkennens von Kanalschäden bzw. durch eine erschwerte Kanalinspektion und -sanierung

Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
1 + 4		$1^1 + 4^1$	$1^1 + 4^3$	
		$1^2 + 4^1$	$1^2 + 4^3$	
2	2^4			2^3
9	9^5			
9 + 12		$9^2 + 12^2$	$9^2 + 12^1$	
		$9^3 + 12^2$	$9^3 + 12^1$	

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:		
Risiko weniger hoch (GE 4 _A)	Risiko hoch (GE 4 _B)	Risiko besonders hoch (GE 4 _C)
$(1^1 + 4^1) / (1^2 + 4^1) + 2^4 + 9^5 + (-)$		
$(1^1 + 4^1) / (1^2 + 4^1) + 2^4 + (-) + (9^2 + 12^3) / (9^3 + 12^2)$		
$(1^1 + 4^1) / (1^2 + 4^1) + 2^4 + (-) + (9^2 + 12^3) / (9^3 + 12^2)$		
$(1^1 + 4^1) / (1^2 + 4^1) + 2^4 + (-) + (-)$		
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband		

GE 5: Risiko einer Stoffdrainage entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund

Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
15 + 16	$15^3 + 16^3$	$15^2 + 16^3$		
16	16^2			
16 + 26			$16^1 + 26^2$	$16^1 + 26^3$
16 + 34 + 38 + 45			$16^1 + 34^1 + 38^1 + 45^2$	
			$16^1 + 34^2 + 38^1 + 45^2$	
			$16^1 + 34^3 + 38^1 + 45^2$	
			$16^1 + 34^1 + 38^2 + 45^2$	

			$16^1 + 34^2 + 38^2 + 45^2$ $16^1 + 34^1 + 38^3 + 45^2$ $16^1 + 34^2 + 38^3 + 45^2$ $16^1 + 34^3 + 38^3 + 45^2$ $16^1 + 34^1 + 38^4 + 45^2$ $16^1 + 34^2 + 38^4 + 45^2$	
16 + 36 + 38 + 45			$16^1 + 36^1 + 38^1 + 45^2$ $16^1 + 36^2 + 38^1 + 45^2$ $16^1 + 36^3 + 38^1 + 45^2$ $16^1 + 36^1 + 38^2 + 45^2$ $16^1 + 36^2 + 38^2 + 45^2$ $16^1 + 36^3 + 38^2 + 45^2$ $16^1 + 36^1 + 38^3 + 45^2$ $16^1 + 36^2 + 38^3 + 45^2$ $16^1 + 36^3 + 38^3 + 45^2$ $16^1 + 36^1 + 38^4 + 45^2$ $16^1 + 36^2 + 38^4 + 45^2$ $16^1 + 36^3 + 38^4 + 45^2$	
16 + 45			$16^1 + 45^1$ $16^1 + 45^2$	
37 + 41		$37^1 + 41^2$	$37^1 + 41^1$	
37 + 48		$37^1 + 48^2$	$37^1 + 48^1$	

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Risiko weniger hoch (GE 5a)	Risiko hoch (GE 5b)	Risiko besonders hoch (GE 5c)
-----------------------------	---------------------	-------------------------------

$(15^3 + 16^3) + (-) + (-) + (-) + (-) + (-) + (37^1 + 41^2) + (37^1 + 48^2)$

$(15^3 + 16^3) + (-) + (-) + (-) + (-) + (-) + (37^1 + 41^2) + (37^1 + 48^1)$

$(15^3 + 16^3) + (-) + (-) + (-) + (-) + (-) + (37^1 + 41^2) + (-)$

$(15^3 + 16^3) + (-) + (-) + (-) + (-) + (-) + (37^1 + 41^1) + (37^1 + 48^2)$

Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 6: Gefährdung durch bauliche Eingriffe in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals

Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
3		3^1		
3 + 15	$3^2 + 15^3$	$3^3 + 15^3$	$3^2 + 15^1$	$3^3 + 15^1$
15	15^2			
15 + 19	$15^3 + 19^1$	$15^3 + 19^2$	$15^1 + 19^1$	$15^1 + 19^2$

		$15^3 + 19^3$		$15^1 + 19^3$
15 + 45	$15^3 + 45^2$	$15^3 + 45^1$	$15^1 + 45^2$	$15^1 + 45^1$
17			17^2	

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Risiko weniger hoch (GE 6 _A)	Risiko hoch (GE 6 _B)	Risiko besonders hoch (GE 6 _C)
--	----------------------------------	--

$3^1 + (-) + 15^2 + (-) + (-) + 17^2$
$3^1 + (-) + 15^2 + (-) + (-) + (-)$
$3^1 + (-) + (-) + (15^3 + 19^1) + (15^3 + 45^2) + 17^2$
$3^1 + (-) + (-) + (15^3 + 19^1) + (15^3 + 45^2) + (-)$
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 7: Risiko durch Positionierung und Einrichtung der Baustelle

Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
18	18^5	18^3	18^1 18^4	18^2
29				29^2
32				32^1

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Risiko weniger hoch (GE 7 _A)	Risiko hoch (GE 7 _B)	Risiko besonders hoch (GE 7 _C)
--	----------------------------------	--

$18^5 + 29^2 + 32^1$
$18^5 + 29^2 + (-)$
$18^5 + (-) + 32^1$
$18^5 + (-) + (-)$
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 8: Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser

Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
15 + 27		$15^2 + 27^1$	$15^3 + 27^1$	$15^1 + 27^1$
26 + 27 + 28	$26^1 + 27^1 + 28^1$ $26^1 + 27^1 + 28^2$ $26^1 + 27^1 + 28^3$ $26^2 + 27^1 + 28^3$	$26^2 + 27^1 + 28^2$ $26^3 + 27^1 + 28^3$	$26^2 + 27^1 + 28^1$ $26^3 + 27^1 + 28^2$	$26^3 + 27^1 + 28^1$

27	27^2			
27 + 28		$27^1 + 28^1$	$27^1 + 28^2$	
31				31^1

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Risiko weniger hoch (GE 8 _A)	Risiko hoch (GE 8 _B)	Risiko besonders hoch (GE 8 _C)
--	----------------------------------	--

$(15^2 + 27^1) + (26^1 + 27^1 + 28^1) / (26^1 + 27^1 + 28^2) / (26^1 + 27^1 + 28^3) / (26^2 + 27^1 + 28^3) + (-) + (27^1 + 28^1) + 31^1$
$(15^2 + 27^1) + (26^1 + 27^1 + 28^1) / (26^1 + 27^1 + 28^2) / (26^1 + 27^1 + 28^3) / (26^2 + 27^1 + 28^3) + (-) + (27^1 + 28^1) + (-)$
$(15^2 + 27^1) + (26^1 + 27^1 + 28^1) / (26^1 + 27^1 + 28^2) / (26^1 + 27^1 + 28^3) / (26^2 + 27^1 + 28^3) + (-) + (27^1 + 28^2) + 31^1$
$(15^2 + 27^1) + (26^1 + 27^1 + 28^1) / (26^1 + 27^1 + 28^2) / (26^1 + 27^1 + 28^3) / (26^2 + 27^1 + 28^3) + (-) + (27^1 + 28^2) + (-)$
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 9: Sensibilität der Wassergewinnung und Schutzstatus des zu durchleitenden Raumes

Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
19 + 20		$19^1 + 20^1$	$19^1 + 20^2$ $19^2 + 20^1$ $19^3 + 20^1$	$19^2 + 20^2$ $19^3 + 20^2$
24	24^1			
24 + 25			$24^2 + 25^2$	$24^2 + 25^1$

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Sensibilität weniger hoch (GE 9 _A)	Sensibilität hoch (GE 9 _B)	Sensibilität besonders hoch (GE 9 _C)
--	--	--

$(19^1 + 20^1) + 24^1 + (-)$
$(19^1 + 20^1) + (-) + (24^2 + 25^2)$
$(19^1 + 20^1) + (-) + (24^2 + 25^1)$
$(19^1 + 20^1) + (-) + (-)$
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 10: Sensibilität des Grundwassers im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen

Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
24 + 47			$24^1 + 47^1$ $24^1 + 47^2$ $24^2 + 47^2$ $24^1 + 47^3$	$24^2 + 47^1$ $24^2 + 47^3$

30	30^1			
42 + 43	$42^1 + 43^2$			$42^1 + 43^1$ $42^2 + 43^1$
45			45^1	
47	47^4			

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Sensibilität weniger hoch (GE 10 _A)	Sensibilität hoch (GE 10 _B)	Sensibilität besonders hoch (GE 10 _C)
---	---	---

$(24^1 + 47^1) / (24^1 + 47^2) / (24^2 + 47^2) / (24^1 + 47^3) + 30^1 + (42^1 + 43^2) + 45^1 + (-)$
$(24^1 + 47^1) / (24^1 + 47^2) / (24^2 + 47^2) / (24^1 + 47^3) + 30^1 + (42^1 + 43^2) + (-) + (-)$
$(24^1 + 47^1) / (24^1 + 47^2) / (24^2 + 47^2) / (24^1 + 47^3) + 30^1 + (42^1 + 43^2) / (42^2 + 43^1) + 45^1 + (-)$
$(24^1 + 47^1) / (24^1 + 47^2) / (24^2 + 47^2) / (24^1 + 47^3) + 30^1 + (42^1 + 43^2) / (42^2 + 43^1) + (-) + (-)$
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband

GE 11: Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung

Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
21 + 22 + 39 + 40		$21^1 + 22^3 + 39^1 + 40^1$	$21^1 + 22^1 + 39^1 + 40^1$	$21^1 + 22^1 + 39^1 + 40^2$
		$21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^1$	$21^3 + 22^1 + 39^1 + 40^1$	$21^3 + 22^1 + 39^1 + 40^2$
		$21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^1$	$21^1 + 22^3 + 39^1 + 40^2$	$21^1 + 22^1 + 39^1 + 40^3$
		$21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^1$	$21^3 + 22^3 + 39^1 + 40^2$	$21^3 + 22^1 + 39^1 + 40^3$
		$21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^1$	$21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^2$	$21^1 + 22^1 + 39^1 + 40^4$
		$21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^2$	$21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^2$	$21^3 + 22^1 + 39^1 + 40^4$
		$21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^2$	$21^1 + 22^3 + 39^1 + 40^3$	$21^1 + 22^3 + 39^1 + 40^4$
		$21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^3$	$21^3 + 22^3 + 39^1 + 40^3$	$21^3 + 22^3 + 39^1 + 40^4$
		$21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^3$	$21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^3$	$21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^4$
			$21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^3$	$21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^4$
			$21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^4$	
			$21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^4$	
38 + 39 + 40		$38^1 + 39^2 + 40^2$	$38^1 + 39^1 + 40^2$	$38^1 + 39^1 + 40^1$
		$38^4 + 39^2 + 40^2$	$38^4 + 39^1 + 40^2$	$38^4 + 39^1 + 40^1$
		$38^1 + 39^2 + 40^3$	$38^1 + 39^1 + 40^3$	$38^1 + 39^2 + 40^1$
		$38^4 + 39^2 + 40^3$	$38^4 + 39^1 + 40^3$	$38^4 + 39^2 + 40^1$
			$38^2 + 39^2 + 40^3$	$38^2 + 39^1 + 40^3$
			$38^3 + 39^2 + 40^3$	$38^3 + 39^1 + 40^3$
				$38^2 + 39^1 + 40^4$
				$38^3 + 39^1 + 40^4$
			$38^2 + 39^2 + 40^4$	
			$38^3 + 39^2 + 40^4$	

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:		
Sensibilität weniger hoch (GE 11 _A)	Sensibilität hoch (GE 11 _B)	Sensibilität besonders hoch (GE 11 _C)
$(21^1 + 22^3 + 39^1 + 40^1) / (21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^1) / (21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^1) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^1) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^1) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^2) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^2) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^3) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^3) + (38^1 + 39^2 + 40^2) / (38^4 + 39^2 + 40^2) / (38^1 + 39^2 + 40^3) / (38^4 + 39^2 + 40^3)$		
$(21^1 + 22^2 + 39^1 + 40^1) / (21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^1) / (21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^1) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^1) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^1) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^2) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^2) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^3) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^3) + (38^1 + 39^1 + 40^2) / (38^4 + 39^1 + 40^2) / (38^1 + 39^1 + 40^3) / (38^4 + 39^1 + 40^3) / (38^2 + 39^2 + 40^3) / (38^3 + 39^2 + 40^3)$		
$(21^1 + 22^2 + 39^1 + 40^1) / (21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^1) / (21^3 + 22^1 + 39^2 + 40^1) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^1) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^1) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^2) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^2) / (21^1 + 22^3 + 39^2 + 40^3) / (21^3 + 22^3 + 39^2 + 40^3) + (38^1 + 39^1 + 40^1) / (38^4 + 39^1 + 40^1) / (38^1 + 39^2 + 40^1) / (38^4 + 39^2 + 40^1) / (38^2 + 39^1 + 40^3) / (38^3 + 39^1 + 40^3) / (38^2 + 39^1 + 40^4) / (38^3 + 39^1 + 40^4) / (38^2 + 39^2 + 40^4) / (38^3 + 39^2 + 40^4)$		
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband		

GE 12: Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe

Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
11 + 48			11 ¹ + 48 ¹	11 ² + 48 ¹
33				33 ⁴
33 + 34	33 ³ + 34 ²	33 ³ + 34 ¹	33 ¹ + 34 ¹	
	33 ² + 34 ³	33 ² + 34 ²	33 ² + 34 ¹	
	33 ³ + 34 ³	33 ¹ + 34 ³	33 ¹ + 34 ²	
35 + 36 + 38		35 ² + 36 ² + 38 ¹	35 ¹ + 36 ² + 38 ¹	35 ¹ + 36 ¹ + 38 ¹
		35 ¹ + 36 ² + 38 ²	35 ² + 36 ¹ + 38 ²	35 ² + 36 ¹ + 38 ¹
		35 ² + 36 ² + 38 ²	35 ¹ + 36 ² + 38 ³	35 ¹ + 36 ³ + 38 ¹
		35 ¹ + 36 ³ + 38 ²	35 ² + 36 ¹ + 38 ⁴	35 ² + 36 ³ + 38 ¹
		35 ² + 36 ³ + 38 ²		35 ¹ + 36 ¹ + 38 ²
		35 ² + 36 ² + 38 ³		35 ¹ + 36 ¹ + 38 ³
		35 ¹ + 36 ² + 38 ⁴		35 ² + 36 ¹ + 38 ³
		35 ² + 36 ² + 38 ⁴		35 ¹ + 36 ³ + 38 ³
		35 ¹ + 36 ³ + 38 ⁴		35 ² + 36 ³ + 38 ³
	35 ² + 36 ³ + 38 ⁴		35 ¹ + 36 ¹ + 38 ⁴	
37 + 48		37 ¹ + 48 ²	37 ¹ + 48 ¹	
46 + 48		46 ¹ + 48 ²	46 ² + 48 ²	46 ¹ + 48 ¹
				46 ² + 48 ¹

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:		
Sensibilität weniger hoch (GE 12 _A)	Sensibilität hoch (GE 12 _B)	Sensibilität besonders hoch (GE 12 _C)
$(11^1 + 48^1) + 33^4 + (-) + (35^2 + 36^2 + 38^1) / (35^1 + 36^2 + 38^2) / (35^2 + 36^2 + 38^3) / (35^1 + 36^3 + 38^2) / (35^2 + 36^3 + 38^2) / (35^2 + 36^2 + 38^3) / (35^1 + 48^1) + 33^4 + (-) + (35^2 + 36^2 + 38^1) / (35^1 + 36^2 + 38^2) / (35^2 + 36^2 + 38^3) / (35^1 + 36^3 + 38^2) / (35^2 + 36^3 + 38^2) / (35^1 + 36^2 + 38^4) / (35^2 + 36^2 + 38^4) / (35^1 + 36^3 + 38^4) / (35^2 + 36^3 + 38^4) + (37^1 + 48^1) + (46^1 + 48^1) / (46^2 + 48^1)$		
$(11^1 + 48^1) + 33^4 + (-) + (35^2 + 36^2 + 38^1) / (35^1 + 36^2 + 38^2) / (35^2 + 36^2 + 38^3) / (35^1 + 36^3 + 38^2) / (35^2 + 36^3 + 38^2) / (35^1 + 36^2 + 38^4) / (35^2 + 36^2 + 38^4) / (35^1 + 36^3 + 38^4) / (35^2 + 36^3 + 38^4) + (37^1 + 48^1) + (-)$		
$(11^1 + 48^1) + 33^4 + (-) + (35^2 + 36^2 + 38^1) / (35^1 + 36^2 + 38^2) / (35^2 + 36^2 + 38^3) / (35^1 + 36^3 + 38^2) / (35^2 + 36^3 + 38^2) / (35^1 + 36^2 + 38^4) / (35^2 + 36^2 + 38^4) / (35^1 + 36^3 + 38^4) / (35^2 + 36^3 + 38^4) + (37^1 + 48^1) + (-)$		
$(11^1 + 48^1) + 33^4 + (-) + (35^2 + 36^2 + 38^1) / (35^1 + 36^2 + 38^2) / (35^2 + 36^2 + 38^3) / (35^1 + 36^3 + 38^2) / (35^2 + 36^3 + 38^2) / (35^1 + 36^2 + 38^4) / (35^2 + 36^2 + 38^4) / (35^1 + 36^3 + 38^4) / (35^2 + 36^3 + 38^4) + (37^1 + 48^1) + (-)$		
Fortsetzung der Tabelle im Anlagenband		

GE 13: Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal

Schlüsselausprägungen:					
	(--)	(-)	(+)	(++)	
16	16^2				
(3 + 33 + 35 + 45) + (33 + 34)	$(3^1 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^1 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^1 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^2 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^2)$ $(3^2 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^2 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^1 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^1 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^1 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^2 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^2 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^2 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^1 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^1 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^1 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^2 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^2 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^2 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^3 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$ $(3^3 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^3 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^3 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$	$(3^1 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^3)$ $(3^1 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^2)$ $(3^1 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^2 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^2)$ $(3^2 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^1 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^3)$ $(3^1 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^1 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^2 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^2)$ $(3^2 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^1 + 33^1 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^3)$ $(3^1 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^2 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^2 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^3 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^3)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^3 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^2)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^3 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^2)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^2)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^3)$	$(3^1 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^1)$ $(3^1 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^2)$ $(3^1 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^2 + 33^2 + 35^1 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^1 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^1)$ $(3^1 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^2 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^1 + 33^1 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^1 + 34^1)$ $(3^1 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^3 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^3 + 33^2 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^3 + 33^3 + 35^3 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$ $(3^3 + 33^2 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^2 + 34^1)$ $(3^3 + 33^3 + 35^2 + 45^2)$ $+ (33^3 + 34^1)$		
(3 + 33 + 35 + 45) + (35 + 36 + 38)		$(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^2)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^2)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^4)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^2)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^2)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^4)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$	$(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$	$(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^1)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^1 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^1 + 33^3 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^1 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$	

		$(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^2)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^2)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^2)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^4)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^1)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^2)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^3)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^1)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^4)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^2)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^2)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^4)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^1)$ $(3^2 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^2)$ $(3^2 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^2)$ $(3^2 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^3)$ $(3^2 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^4)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^2)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^2)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^2 + 38^4)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^3 + 38^4)$	$(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^2 + 38^3)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^2)$ $(3^1 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^1)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^2)$ $(3^2 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^4)$ $(3^2 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^2)$ $(3^2 + 33^4 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^1 + 35^2 + 45^2)$ $+ (35^2 + 36^1 + 38^2)$	$(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^2 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^1)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^1)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^2 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^3 + 33^1 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^1)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^1)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^2)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^3)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^1 + 38^4)$ $(3^3 + 33^4 + 35^1 + 45^2)$ $+ (35^1 + 36^3 + 38^4)$
44 + 45	$44^3 + 45^2$	$44^2 + 45^2$	$44^1 + 45^2$...
45				45^1

Kombination der Schlüsselausprägungen und Bewertung ihres Zusammenwirkens:

Sensibilität weniger hoch (GE 13_A)

Sensibilität hoch (GE 13_B)

Sensibilität besonders hoch (GE 13_C)

7 Textbausteine als deskriptive Elemente zur Darstellung der Ergebnisaussagen und der diesen zugrunde liegenden Ausgangs- und Planungssituation

7.1 Textbausteine zur Beschreibung der zu bewertenden fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation

Darstellung der Ausgangssituation

Die Textbausteine zur Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation gehen aus den differenzierten Abwägungskriterien und damit unmittelbar aus den Checklisten hervor, welche aus den Betrachtungen zur Auswahl und zum Wirkungseinfluss der einfluss- und bewertungsrelevanten Abwägungskriterien resultieren (vgl. Kap. 4.3) und im Expertensystem als wählbare Antwortalternativen bei der Erhebung der fallindividuellen räumlichen und planungsspezifischen Situation im Wasserschutzgebiet dienen.

Die Kriteriumsausprägungen werden in kurze Sätze gefasst, welche je nach ihrem fallspezifischen Zutreffen zu einem Kurztext zusammengestellt werden, der die individuelle Ausgangs- und Planungssituation als zu bewertende Betrachtungsgrundlage zusammenfasst und den ersten Teil des abschließenden Kurzgutachtens darstellt, welches vom Expertensystem als Ergebnis ausgegeben wird. Die Textbausteine besitzen einen deskriptiven Charakter und dienen

zudem der nochmaligen Überprüfung der Angaben durch den Nutzer.

Die sieben im Expertensystem als Erhebungsbögen berücksichtigten Checklisten enthalten 54 Abwägungskriterien als Fragen mit insgesamt 145 Ausprägungen als Antwortmöglichkeiten. Hieraus resultieren entsprechend viele Textbausteine zur Beschreibung der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation.

Textbausteine Situationsbeschreibung

Die Kodierung der Textbausteine entspricht derjenigen der Ausprägungen der Checklisten zuzüglich des Präfixes „TSB“ für „Textbaustein Situationsbeschreibung“, so dass die Zusammengehörigkeit zwischen Antwort und Textbausteine direkt zu erkennen ist. Beim Zutreffen der Ausprägung Nr. 3 des Abwägungskriteriums Nr. 1, also der Ausprägung „1³“, wird folglich der Textbaustein „TSB 1³“ zugewiesen und Teil des Kurzgutachtens.

Tab. 12: Textbausteine zur Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation (Textbausteine Situationsbeschreibung)

Textbausteine zur Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation	
Kodierung	Textbaustein
TSB 1 ¹	Die maximale Rohrenweite des Abwasserkanals wird nicht mehr als DN/ID 400 betragen.
TSB 1 ²	Die maximale Rohrenweite des Abwasserkanals wird nicht mehr als DN/ID 800 betragen.
TSB 1 ³	Die maximale Rohrenweite des Abwasserkanals wird nicht mehr als DN/ID 1200 betragen.
TSB 1 ⁴	Die maximale Rohrenweite des Abwasserkanals wird über DN/ID 1200 betragen.

Kodierung	Textbaustein
TSB 2¹	Bei dem geplanten Abwasserkanal handelt es sich um eine Freispiegelleitung bzw. einen Freispiegelkanal.
TSB 2²	Bei dem geplanten Abwasserkanal handelt es sich um einen Stauraumkanal.
TSB 2³	Bei dem geplanten Abwasserkanal handelt es sich um eine Druckleitung bzw. einen Druckkanal.
TSB 2⁴	Bei dem geplanten Abwasserkanal handelt es sich um eine Unterdruckleitung bzw. einen Unterdruckkanal.
TSB 3¹	Die maximale Gründungstiefe bzw. die Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle liegt unter 1,75 m.
TSB 3²	Die maximale Gründungstiefe bzw. die Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle liegt unter 4,0 m.
TSB 3³	Die maximale Gründungstiefe bzw. die Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle liegt über 4,0 m.
TSB 4¹	Haltungslänge bzw. Schachtabstand betragen nicht mehr als 70 m.
TSB 4²	Haltungslänge bzw. Schachtabstand betragen bis zu 100 m.
TSB 4³	Haltungslänge bzw. Schachtabstand betragen bis über 100 m.
TSB 5¹	Der Abwasserkanal soll in gerader Linienführung verlegt werden.
TSB 5²	Der Abwasserkanal soll in gekrümmter Linienführung verlegt werden.
TSB 6¹	Es sind Ein-Schicht-Rohre, z.B. aus Beton/Stahlbeton, Faserzement, Steinzeug, Gusseisen, Polymerbeton, Polyvinylchlorid, Polyethylen oder Glasfaserverstärktem Kunststoff, vorgesehen.
TSB 6²	Es sind Zwei-Schicht-Rohre, z.B. Beton-/Stahlbetonrohre mit integriertem Korrosionsschutz (Inliner/Auskleidung) aus Steinzeug, Polyvinylchlorid, Glasfaserverstärktem Kunststoff, vorgesehen.
TSB 7¹	Als Rohrverbindungstyp sollen Steckverbindungen zum Einsatz kommen.
TSB 7²	Als Rohrverbindungstyp sollen Schweißverbindungen zum Einsatz kommen.
TSB 8¹	Die Baulänge der Kanalrohre liegt bei maximal 4,0 m.
TSB 8²	Die Baulänge der Kanalrohre liegt bei über 4,0 m.
TSB 9¹	Bei dem geplanten Entwässerungssystem handelt es sich um ein Mischsystem mit gemeinsamer Ableitung von Schmutz- und Regenwasser.
TSB 9²	Bei dem geplanten Entwässerungssystem handelt es sich um ein Trennsystem mit einer entkoppelten Ableitung von Schmutz- und Regenwasser.
TSB 9³	Bei dem geplanten Entwässerungssystem handelt es sich um ein modifiziertes Mischsystem, bei dem ein Teil des Regenwassers mit dem Schmutzwasser und der restliche Regenwasseranteil separat abgeleitet wird.
TSB 9⁴	Die geplante Entwässerung steht in Verbindung mit einer Klein- oder Pflanzenkläranlage.
TSB 9⁵	Die Abwasserableitung erfolgt durch Schmutzwasserkanäle in begehbaren Regen- oder Mischwasserkanälen.

Kodierung	Textbaustein
TSB 10 ¹	Innerhalb des Wasserschutzgebietes sind außer Schächten weitere, zwingend erforderliche abwassertechnische Bauwerke vorgesehen.
TSB 10 ²	Innerhalb des Wasserschutzgebietes sind keine abwassertechnische Bauwerke, ausgenommen Schächte, geplant.
TSB 11 ¹	Bei dem abzuleitenden Abwasser wird es sich ausschließlich um häusliches Abwasser handeln.
TSB 11 ²	Bei dem abzuleitenden Abwasser wird es sich nicht bzw. nicht nur um häusliches Abwasser handeln.
TSB 12 ¹	Anschlussleitungen sollen direkt an den Hauptkanal angeschlossen werden.
TSB 12 ²	Anschlussleitungen sollen indirekt über Schächte an den Kanal angeschlossen werden.
TSB 13 ¹	Der Abwasserkanal wird einen Sammler mit geringer bis normaler Bedeutung für das Entwässerungssystem darstellen.
TSB 13 ²	Der Abwasserkanal wird als Hauptsammler eine übergeordnete Bedeutung für das Entwässerungssystem besitzen. Er soll als Ein-Kanal-System realisiert werden.
TSB 13 ³	Der Abwasserkanal wird als Hauptsammler eine übergeordnete Bedeutung für das Entwässerungssystem besitzen. Er soll als Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingkanal-System realisiert werden.
TSB 14 ¹	Schächte werden als Ortbetonschächte ausgeführt.
TSB 14 ²	Schächte werden als einteilige Fertigteilschächte ausgeführt.
TSB 14 ³	Schächte werden als mehrteilige Fertigteilschächte ausgeführt.
TSB 14 ⁴	Schächte werden als Schacht-im-Schacht-Systeme ausgeführt.
TSB 15 ¹	Der Abwasserkanal soll in offener Bauweise errichtet werden.
TSB 15 ²	Der Abwasserkanal soll mittels Fräs- und Pflugverfahren errichtet werden.
TSB 15 ³	Der Abwasserkanal soll in offener Bauweise mit oder ohne Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten errichtet werden.
TSB 16 ¹	Als Kanal- bzw. Leitungsbettung sollen körnige, ungebundene Baustoffe wie z.B. Ein-Korn-Kies, Material gestufter Körnung, Sand oder gebrochene Baustoffe verwendet werden.
TSB 16 ²	Als Kanal- bzw. Leitungsbettung sollen hydraulisch gebundene Baustoffe wie z.B. stabilisierter Boden, Leicht- oder Magerbeton verwendet werden.
TSB 16 ³	Es ist keine zusätzliche künstliche Kanal- bzw. Leitungsbettung vorgesehen.
TSB 17 ¹	Die Baumaßnahme wird im Wasserschutzgebiet voraussichtlich wenige bis einige Wochen dauern.
TSB 17 ²	Die Baumaßnahme wird im Wasserschutzgebiet voraussichtlich einige bis mehrere Monate dauern.

Kodierung	Textbaustein
TSB 18¹	Baustelle und Lagerplätze werden weitgehend innerhalb der Wasserschutzzone II liegen. Der Umgang mit kritischen Stoffen erfolgt außerhalb der Schutzzone.
TSB 18²	Baustelle und Lagerplätze werden weitgehend innerhalb der Wasserschutzzone II liegen. Der Umgang mit kritischen Stoffen soll mit Sondergenehmigung innerhalb der Schutzzone erfolgen.
TSB 18³	Baustelle und Lagerplätze werden weitgehend innerhalb der Wasserschutzzone III liegen. Der Umgang mit kritischen Stoffen erfolgt außerhalb der Schutzzone.
TSB 18⁴	Baustelle und Lagerplätze werden weitgehend innerhalb der Wasserschutzzone III liegen. Der Umgang mit kritischen Stoffen soll mit Sondergenehmigung innerhalb der Schutzzone erfolgen.
TSB 18⁵	Baustelle und Lagerplätze werden weitgehend außerhalb des Wasserschutzgebietes liegen.
TSB 19¹	Die geplante Abwasserdurchleitung wird nur die Wasserschutzzone III betreffen.
TSB 19²	Die geplante Abwasserdurchleitung wird die Wasserschutzzone III wie auch die Wasserschutzzone II betreffen.
TSB 19³	Die geplante Abwasserdurchleitung wird nur die Wasserschutzzone II betreffen, wobei ein allseitiger Sicherheitspuffer von 50 m um die Außengrenze der Wasserschutzzone II mit eingeschlossen wird.
TSB 19⁴	Die geplante Abwasserdurchleitung wird auch eine Wasserschutzzone I betreffen.
TSB 20¹	Die Wasserschutzzone/n wird/werden von einer relativ kurzen Kanalstrecke durchzogen werden.
TSB 20²	Die Wasserschutzzone/n wird/werden von einer längeren Kanalstrecke durchzogen werden.
TSB 21¹	Im Wasserschutzgebiet erfolgt die Grundwassergewinnung aus Tiefbrunnen.
TSB 21²	Im Wasserschutzgebiet erfolgt die Grundwassergewinnung aus vergleichsweise oberflächennahen Wasserfassungen wie Quellschächten, -stollen, -stuben, Flachbrunnen oder Horizontalfilterbrunnen.
TSB 21³	Im Wasserschutzgebiet erfolgt die Grundwassergewinnung sowohl aus Tiefbrunnen wie auch aus vergleichsweise oberflächennahen Wasserfassungen wie Quellschächten, -stollen, -stuben, Flachbrunnen oder Horizontalfilterbrunnen.
TSB 22¹	Die jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet liegt bei über 1 Million m ³ .
TSB 22²	Die jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet liegt unter 1 Million m ³ , allerdings über 100.000 m ³ .
TSB 22³	Die jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet beträgt bis zu 100.000 m ³ .
TSB 23¹	Eine Nutzung vorhandener, d.h. betriebener oder stillgelegter Brunnen als Abwehrbrunnen ist denkbar.
TSB 23²	Eine Nutzung vorhandener, d.h. betriebener oder stillgelegter Brunnen als Abwehrbrunnen ist nicht möglich.
TSB 24¹	Die Wassergewinnung besitzt eine hohe Bedeutung. Eine Besicherung von anderer Stelle ist möglich (Eigen- oder Fremdbesicherung).
TSB 24²	Die Wassergewinnung besitzt höchste Bedeutung. Eine Besicherung von anderer Stelle ist nicht oder nicht ausreichend möglich.
TSB 24³	Die Wassergewinnung besitzt eine geringere Bedeutung. Eine Besicherung von anderer Stelle ist möglich. Die dauerhafte Stilllegung der gefährdeten Wassergewinnung wäre denkbar.

Kodierung	Textbaustein
TSB 25 ¹	Freie Grundwasserförderkapazitäten sind vorhanden, welche eine Verlagerung der Wassergewinnung erlauben bzw. eine veränderte Betriebsweise von Gewinnungsanlagen ermöglichen.
TSB 25 ²	Freie Grundwasserförderkapazitäten, welche eine Verlagerung der Wassergewinnung erlauben bzw. eine veränderte Betriebsweise von Gewinnungsanlagen ermöglichen könnten, sind nicht bzw. nicht ausreichend vorhanden.
TSB 26 ¹	Das Gelände im Bereich der geplanten Trassenführung ist kaum oder nur schwach reliefiert bzw. geneigt.
TSB 26 ²	Das Gelände im Bereich der geplanten Trassenführung ist reliefiert bzw. mittel geneigt.
TSB 26 ³	Das Gelände im Bereich der geplanten Trassenführung ist stark reliefiert bzw. geneigt bis steil.
TSB 27 ¹	Der Oberflächenabfluss orientiert sich in relevantem Maß zur Baugrube hin.
TSB 27 ²	Der Oberflächenabfluss orientiert sich nicht in relevantem Maß zur Baugrube hin, d.h. davon weg oder großteilig parallel dazu.
TSB 28 ¹	Im Trassenumfeld ist die Flächenversiegelung vergleichsweise gering wie z.B. bei Offenland, Wald, Brache, aufgelockerten Siedlungen mit Einzel- und Reihenhausbebauung.
TSB 28 ²	Im Trassenumfeld ist die Flächenversiegelung mitunter deutlich wie z.B. bei stärker verdichteten Siedlungsbereichen mit Einzel-, Reihen-, Hochhaus-, Blockrandbebauung.
TSB 28 ³	Im Trassenumfeld ist die Flächenversiegelung stark wie z.B. bei Blockbebauung, verdichteten Gewerbe- und Industrieflächen.
TSB 29 ¹	Problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse im Baubereich sind sichergestellt.
TSB 29 ²	Problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse im Baubereich sind nicht bzw. nicht überall sichergestellt.
TSB 30 ¹	Zwischen dem geplanten Abwasserkanal und der Wassergewinnung ist ein Oberflächengewässer vorhanden, welches in der Lage ist, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen.
TSB 30 ²	Zwischen dem geplanten Abwasserkanal und der Wassergewinnung ist kein Oberflächengewässer vorhanden, welches in der Lage wäre, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen.
TSB 31 ¹	Es besteht die potenzielle Gefahr, dass der Baubereich bzw. die Baugrube während der Maßnahmenumsetzung überflutet wird.
TSB 31 ²	Überschwemmungen des Baubereiches können ausgeschlossen werden.
TSB 32 ¹	Bodensenkungen und -bewegungen sind vorhanden oder zu befürchten.
TSB 32 ²	Bodensenkungen und -bewegungen können ausgeschlossen werden.
TSB 33 ¹	Die Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten erreicht bis zu 2 m.
TSB 33 ²	Die Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten erreicht bis zu 10 m.
TSB 33 ³	Die Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten erreicht bis zu mehr als 10 m.
TSB 33 ⁴	Es sind keine bzw. nur vernachlässigbare Lockergesteinsdeckschichten ausgebildet.

Kodierung	Textbaustein
TSB 34 ¹	Die Lockergesteinsdeckschichten zeigen sich kiesig und/oder sandig und ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn.
TSB 34 ²	Die Lockergesteinsdeckschichten zeigen sich kiesig und/oder sandig mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn.
TSB 34 ³	Die Lockergesteinsdeckschichten zeigen sich schluffig und/oder tonig.
TSB 35 ¹	Die Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten beträgt bis zu 20 m.
TSB 35 ²	Die Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten beträgt bis zu über 20 m.
TSB 35 ³	Es sind keine bzw. nur vernachlässigbare Festgesteinsdeckschichten ausgebildet.
TSB 36 ¹	Die Festgesteinsdeckschichten bauen sich aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen auf.
TSB 36 ²	Die Festgesteinsdeckschichten bauen sich aus vorwiegend tonigen, mergeligen oder schluffigen Sedimentgesteinen auf.
TSB 36 ³	Die Festgesteinsdeckschichten bauen sich aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein auf.
TSB 37 ¹	Zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle mindestens eine weiträumig und wirksam ausgebildete, horizontbeständige wasserstauende Schicht.
TSB 37 ²	Zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle keine weiträumig und wirksam ausgebildete, horizontbeständige wasserstauende Schicht.
TSB 38 ¹	Eine relevante Klüftung der Deckschichten ist vorhanden.
TSB 38 ²	Eine relevante Klüftung des Grundwasserleiters ist vorhanden.
TSB 38 ³	Eine relevante Klüftung der Deckschichten und des Grundwasserleiters ist vorhanden.
TSB 38 ⁴	Eine relevante Klüftung ist weder in den Deckschichten noch im Grundwasserleiter vorhanden.
TSB 39 ¹	Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt einige Meter bis wenige Zehner Meter.
TSB 39 ²	Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt mindestens mehrere Zehner Meter.
TSB 40 ¹	Es handelt sich um einen Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn.
TSB 40 ²	Es handelt sich um einen Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn.
TSB 40 ³	Es handelt sich um einen Festgesteinsgrundwasserleiter aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen (z.B. Konglomerat, Sandstein).
TSB 40 ⁴	Es handelt sich um einen Festgesteinsgrundwasserleiter aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein.
TSB 41 ¹	Das Schichteinfallen im Trassenbereich erfolgt in Richtung einer oder mehrerer Wassergewinnungsanlagen.
TSB 41 ²	Das Schichteinfallen im Trassenbereich erfolgt von den Wassergewinnungsanlagen weg.

Kodierung	Textbaustein
TSB 42 ¹	Es lassen sich verschiedene Grundwasserstockwerke voneinander abgrenzen.
TSB 42 ²	Es lassen sich keine verschiedenen Grundwasserstockwerke voneinander abgrenzen.
TSB 43 ¹	Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme werden im gleichen Grundwasserstockwerk stattfinden.
TSB 43 ²	Die Kanalbaumaßnahme wird nicht im zur Grundwasserentnahme herangezogenen Grundwasserstockwerk stattfinden.
TSB 44 ¹	Der Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel beträgt bis zu 5 m.
TSB 44 ²	Der Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel beträgt bis zu 20 m.
TSB 44 ³	Der Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel beträgt bis über 20 m.
TSB 45 ¹	Der Grundwasserspiegel befindet sich oberhalb der Kanalsohle.
TSB 45 ²	Der Grundwasserspiegel befindet sich unterhalb der Kanalsohle.
TSB 46 ¹	Die hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter ist gespannt.
TSB 46 ²	Die hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter ist halbgespannt oder halbungespannt.
TSB 46 ³	Die hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter ist ungespannt.
TSB 47 ¹	Stoffliche Sensibilisierungen oder Belastungen im Grundwasser sind vorhanden.
TSB 47 ²	Relevante Trübungen und/oder Sedimentförderung im gefördertem Grundwasser sind gegeben, welche nicht auf Fehler beim Ausbau der Gewinnungsanlage zurückzuführen sind.
TSB 47 ³	Stoffliche Sensibilisierungen oder Belastungen im Grundwasser sind vorhanden. Relevante Trübungen und/oder Sedimentförderung im gefördertem Grundwasser sind gegeben, welche nicht auf Fehler beim Ausbau der Gewinnungsanlage zurückzuführen sind.
TSB 47 ⁴	Im genutzten Grundwasser können bislang keine nennenswerten Auffälligkeiten bezüglich der Grundwasserbeschaffenheit und etwaigen Qualitätsveränderungen festgestellt werden.
TSB 48 ¹	Relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser sind gegeben.
TSB 48 ²	Relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser sind nicht gegeben.
TSB 49 ¹	Informationen zum räumlichen Untergrunderbau und zu Vertikaldrainagen sind ausreichend gut und/oder belastbare Analogieschlüsse zu vergleichbaren Raumbereichen möglich.
TSB 49 ²	Informationen zum räumlichen Untergrunderbau und zu Vertikaldrainagen sind nur teilweise bzw. nicht ausreichend gut und keine ausreichend belastbaren Analogieschlüsse möglich.
TSB 50 ¹	Belastbare, ausreichend dokumentierte sowie reproduzierbare Ergebnisse zu durchgeführten Pumpversuchen im Wassergewinnungsgebiet liegen vor.
TSB 50 ²	Pumpversuchsergebnisse liegen nicht bzw. in nicht ausreichender, nicht belastbarer und/oder nicht repräsentativer Art vor.

Kodierung	Textbaustein
TSB 51 ¹	Tracertests sind erfolgt, Ergebnisse liegen vor und sind nutzbar.
TSB 51 ²	Tracertests wurden nicht durchgeführt bzw. erfolgte Versuche sind für die vorliegenden Betrachtungen nicht nutzbar bzw. passgenau.
TSB 52 ¹	Ein gesichertes Strömungsmodell mit belastbaren Ergebnissen liegt vor.
TSB 52 ²	Ein gesichertes Strömungsmodell mit belastbaren Ergebnissen liegt nicht vor.
TSB 53 ¹	Auf die Ergebnisse von Kontrolluntersuchungen optischer und/oder geophysikalischer Art, welche die aktuelle Situation an Gewinnungsanlagen bzw. im Untergrund wiedergeben bzw. abschätzen lassen, kann zurückgegriffen werden.
TSB 53 ²	Auf die Ergebnisse von Kontrolluntersuchungen optischer und/oder geophysikalischer Art, welche die aktuelle Situation an Gewinnungsanlagen bzw. im Untergrund wiedergeben bzw. abschätzen lassen, kann nicht zurückgegriffen werden.
TSB 54 ¹	Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers liegen in ausreichendem und belastbarem Umfang vor.
TSB 54 ²	Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers liegen nicht in ausreichendem und belastbarem Umfang vor.

7.2 Textbausteine zur Erläuterung des Grundwassergefährdungspotenzials und diesbezüglicher Risiken und Sensibilitäten

Darstellung der Risiken, Sensibilitäten und der gesamtheitlichen Gefährdungseinschätzung

Für die Textbausteine zur Erläuterung der Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und der dieses bedingenden Risiken und Sensibilitäten werden die möglichen Bewertungsergebnisse, welche aus der Analyse der definierten Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen hervorgehen können (vgl. Kap. 6.2), in kurze Sätze gefasst. Es resultieren hieraus 39 Textbausteine welche dokumentieren, wie die für die Gefährdungseinschätzung für das Grundwasser relevanten Wirkungsteilkomplexe zu bewerten sind. Hinzu kommen drei Textbausteine, die das daraus resultierende gesamtheitliche Grundwassergefährdungspotenzial anführen und auf das zu empfehlende Ableitungssystem hinweisen.

Textbausteine Situationsbeschreibung

Die Benennung der Textbausteine bezieht sich auf die „Zuordnungstabelle Gefährdungsein-

schätzung“ (vgl. Tab. 11) und erfolgt über das Präfix „TGE“ für „Textbaustein Gefährdungseinschätzungen“, die Nummerierung 1 bis 13 der betreffenden Kombinationsgruppe von Schlüsselausprägungen und den Indexbuchstaben „A“, „B“ oder „C“ für die gruppenspezifisch zugewiesene Risiko- bzw. Sensibilitätsbewertung.

Der Textbaustein „TGE 3_A“ als Beispiel würde dann Bestandteil des abschließenden Kurzgutachtens, wenn bei der Schlüsselausprägungskombinationsgruppe GE 3 „Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlanschlüssen am Abwasserkanal“ das Urteil „A: Risiko besonders hoch“ lauten würde. Die Bausteine „TGE A“, „TGE B“ und „TGE C“ beziehen sich auf die Zuordnungsmatrix zur Ableitung des gesamtheitlichen Grundwassergefährdungspotenzials (vgl. Tab. 10).

Tab. 13: Textbausteine zur Erläuterung des Grundwassergefährdungspotenzials und diesbezüglicher Risiken und Sensibilitäten (Textbausteine Gefährdungseinschätzung)

Textbausteine zur Erläuterung des Grundwassergefährdungspotenzials und diesbezüglicher Risiken und Sensibilitäten

Kodierung	Textbaustein
TGE 1 _A	Die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers wird als weniger hoch eingeschätzt.
TGE 1 _B	Die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers wird als hoch eingeschätzt.
TGE 1 _C	Die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers wird als besonders hoch eingeschätzt.
TGE 2 _A	Das systemimmanente Gefährdungsrisiko durch das vorgesehene Entwässerungssystem und etwaig erforderliche abwassertechnische Bauwerke ist als weniger hoch einzustufen.
TGE 2 _B	Das systemimmanente Gefährdungsrisiko durch das vorgesehene Entwässerungssystem und etwaig erforderliche abwassertechnische Bauwerke ist als hoch einzustufen.
TGE 2 _C	Das systemimmanente Gefährdungsrisiko durch das vorgesehene Entwässerungssystem und etwaig erforderliche abwassertechnische Bauwerke ist als besonders hoch einzustufen.
TGE 3 _A	Das Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal wird als weniger hoch erachtet.
TGE 3 _B	Das Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal wird als hoch erachtet.
TGE 3 _C	Das Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal wird als besonders hoch erachtet.
TGE 4 _A	Die Gefahr des Nichterkennens von Kanalschäden sowie das Risiko durch eine erschwerte Kanalinspektion und -sanierung sind weniger hoch.
TGE 4 _B	Die Gefahr des Nichterkennens von Kanalschäden sowie das Risiko durch eine erschwerte Kanalinspektion und -sanierung sind hoch.
TGE 4 _C	Die Gefahr des Nichterkennens von Kanalschäden sowie das Risiko durch eine erschwerte Kanalinspektion und -sanierung sind besonders hoch.
TGE 5 _A	Das Risiko, dass es zu Stoffdrainagen entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund kommt, wird als weniger hoch eingestuft.
TGE 5 _B	Das Risiko, dass es zu Stoffdrainagen entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund kommt, wird als hoch eingestuft.
TGE 5 _C	Das Risiko, dass es zu Stoffdrainagen entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund kommt, wird als besonders hoch eingestuft.
TGE 6 _A	Von Eingriffen in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals geht ein weniger hohes Gefährdungsrisiko aus.
TGE 6 _B	Von Eingriffen in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals geht ein hohes Gefährdungsrisiko aus.
TGE 6 _C	Von Eingriffen in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals geht ein besonders hohes Gefährdungsrisiko aus.
TGE 7 _A	Das aus der geplanten Positionierung und Einrichtung der Baustelle resultierende Gefährdungsrisiko wird als weniger hoch eingeschätzt.
TGE 7 _B	Das aus der geplanten Positionierung und Einrichtung der Baustelle resultierende Gefährdungsrisiko wird als hoch eingeschätzt.
TGE 7 _C	Das aus der geplanten Positionierung und Einrichtung der Baustelle resultierende Gefährdungsrisiko wird als besonders hoch eingeschätzt.

Kodierung	Textbaustein
TGE 8 _A	Das Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser ist weniger hoch.
TGE 8 _B	Das Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser ist hoch.
TGE 8 _C	Das Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser ist besonders hoch.
TGE 9 _A	Die Sensibilität der Wassergewinnung und der von der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzzone ist als weniger hoch einzustufen.
TGE 9 _B	Die Sensibilität der Wassergewinnung und der von der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzzone ist als hoch einzustufen.
TGE 9 _C	Die Sensibilität der Wassergewinnung und der von der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzzone ist als besonders hoch einzustufen.
TGE 10 _A	Im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als weniger hoch angesehen.
TGE 10 _B	Im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als hoch angesehen.
TGE 10 _C	Im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als besonders hoch angesehen.
TGE 11 _A	Die Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung ist weniger hoch.
TGE 11 _B	Die Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung ist hoch.
TGE 11 _C	Die Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung ist besonders hoch.
TGE 12 _A	Betreffend etwaiger Stoffeinträge von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als weniger hoch bewertet.
TGE 12 _B	Betreffend etwaiger Stoffeinträge von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als hoch bewertet.
TGE 12 _C	Betreffend etwaiger Stoffeinträge von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als besonders hoch bewertet.
TGE 13 _A	Gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal ist die Sensibilität des Grundwassers als weniger hoch einzuschätzen.
TGE 13 _B	Gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal ist die Sensibilität des Grundwassers als hoch einzuschätzen.
TGE 13 _C	Gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal ist die Sensibilität des Grundwassers als besonders hoch einzuschätzen.
TGE A	<p>Nach Bewertung der Gesamtsachlage und der die geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme betreffenden räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation kann insgesamt von einem weniger hohen Gefährdungspotenzial für das Grundwasser ausgegangen werden.</p> <p>Dennoch bestehen Risiken und Sensibilitäten, welche die Grundwassergefährdung bedingen. Es sollte daher geprüft werden, ob durch Anpassungen der Kanalbauplanung das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser weiter verringert werden kann.</p> <p>Ein Rohrsystem mit üblichem Sicherheitsstandard wird bei der sich bietenden Situation als ausreichend sicher angesehen (einwandiges Rohrsystem).</p>

Kodierung	Textbaustein
TGE B	<p>Nach Bewertung der Gesamtsachlage und der die geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme betreffenden räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation ist von einem hohen Gefährdungspotenzial für das Grundwasser auszugehen.</p> <p>Es bestehen in relevantem Maße Risiken und Sensibilitäten, welche die Grundwassergefährdung verschärfen. Es wird angeraten, die Planung bereichsweise zu überdenken, um das Gefährdungspotenzial für das genutzte Grundwasser zu reduzieren.</p> <p>Sollte der Abwasserkanal wie beabsichtigt realisiert werden, wird ein Rohrsystem mit erhöhtem Sicherheitsstandard als erforderlich erachtet (semi-doppelwandiges Rohrsystem mit Möglichkeit der Lecküberwachung, Rohrsystem mit Muffenauszugsüberwachung, Rohrsystem mit Auskleidung (Inliner) und redundanten Dichtungen, mineralische Kapselung).</p>
TGE C	<p>Nach Bewertung der Gesamtsachlage und der die geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme betreffenden räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation muss von einem besonders hohen Gefährdungspotenzial für das Grundwasser ausgegangen werden.</p> <p>Es bestehen in erhöhtem Maße Risiken und Sensibilitäten, welche die Grundwassergefährdung kritisch verschärfen. Es wird dringend empfohlen, die Planung in wesentlichen Punkten zu überdenken, um das Gefährdungspotenzial für das genutzte Grundwasser zu reduzieren.</p> <p>Sollte der Abwasserkanal wie beabsichtigt realisiert werden, wird es als dringend erforderlich angesehen, ein Rohrsystem mit höchstem Sicherheitsstandard zu verwenden (doppelwandiges Rohrsystem mit Möglichkeit der Lecküberwachung, ggfs. kontinuierliche Lecküberwachung, sofern umsetzbar und nicht bereits geplant: Unterdrucksystem).</p>

7.3 Textbausteine zur Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und gegebenenfalls Modifikation der Kanalbauplanung

Darstellung der Handlungsempfehlungen

Die die Empfehlungen betreffenden Textbausteine gehen aus dem erarbeiteten Katalog der Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der angestrebten Kanalbauplanung hervor (vgl. Kap. 4.4). Sie stellen deren inhaltliche Konkretisierung dar, in der auch die bei der Zuweisung verschiedener Empfehlungen berücksichtigten graduellen Abstufungen der Dringlichkeit (vgl. Kap. 6.1) integriert sind.

Insgesamt resultieren aus den 43 im Expertensystem berücksichtigten Empfehlungen und deren gewichteter Zuweisung 54 Textbausteine, welche die Handlungsempfehlungen textlich formulieren, die im Hinblick auf eine Anpassung und Modifikation der Kanalbauplanung angebracht erscheinen können, um das potenzielle Gefährdungspotenzial für das Grundwasser gegebenenfalls zu verringern und den Schutzanforderungen im von der geplanten Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet gerecht zu werden.

Textbausteine Handlungsempfehlungen

Die Benennung der Textbausteine erfolgte analog zu den vorherigen Textbausteinen über ein Präfix, hier „THE“ für „Textbaustein Handlungsempfehlungen“, und eine Bezifferung 1 bis 43 für die jeweilige Handlungsempfehlung. Bei Handlungsempfehlungen, bei denen eine graduelle Abstufung der Dringlichkeit der Zuweisung erfolgt, wird diese wie in der „Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen“ (vgl. Tab. 9) als Indexzahl an die Nummerierung der Empfehlung angehängt. Es ergibt sich somit ein direkter Bezug zur Kodierung zur Zuweisung der Handlungsempfehlungen (vgl. Kap. 6.1), die anführt, wann ein Textbaustein im abschließenden Kurzgutachten zu berücksichtigen ist.

Tab. 14: Textbausteine zur Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und gegebenenfalls Modifikation der Kanalbauplanung (Textbausteine Handlungsempfehlungen)

Textbausteine zur Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und gegebenenfalls Modifikation der Kanalbauplanung

Kodierung	Textbaustein
THE 1	Der Schachtabstand sollte überdacht werden. Eine Verkürzung der Haltungslänge könnte im vorliegenden Fall die potenzielle Gefährdung des Grundwassers verringern.
THE 2	Der Schachtabstand sollte überdacht werden. Eine Vergrößerung der Haltungslänge könnte im vorliegenden Fall die potenzielle Gefährdung des Grundwassers verringern.
THE 3	Es ist zu prüfen, ob zur Verringerung des Grundwassergefährdungspotenzials die geplante Druckleitung durch eine andere Kanalart ersetzt werden könnte.
THE 4 ₁	Die vorgesehene Tiefenlage der Kanalführung sollte dringend überdacht werden. Es ist zu überprüfen, ob eine weniger Tiefe Kanalführung möglich ist, um die erforderlichen baulichen Eingriffe in den Untergrund und damit das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser zu verringern.
THE 4 ₂	Die vorgesehene Tiefenlage der Kanalführung sollte überdacht werden. Es ist zu überprüfen, ob eine weniger Tiefe Kanalführung möglich ist, um die erforderlichen baulichen Eingriffe in den Untergrund und damit das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser zu verringern.
THE 5 ₂	Eine Realisierung in offener Bauweise birgt bei nicht wasserdichten Verbauarten, besonders aber bei wasserdichten Verbauarten ein weitaus höheres Risikopotenzial als eine Errichtung in geschlossener Bauweise. Es sollte eine geschlossene Bauweise gewählt werden, um damit Eingriffe in den Untergrund zu reduzieren und das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser zu verringern.
THE 5 ₃	Eine Realisierung in offener Bauweise birgt bei nicht wasserdichten Verbauarten, besonders aber bei wasserdichten Verbauarten ein weitaus höheres Risikopotenzial als eine Errichtung in geschlossener Bauweise. Eine geschlossene Bauweise sollte nach Möglichkeit angestrebt werden, um Eingriffe in den Untergrund zu reduzieren und das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser verringern zu können.
THE 6 ₁	Die vorgesehene Schachtkonstruktion ist dringend zu überdenken. Es sind Schachtkonstruktionen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen vorzusehen. Einteilige Schachtsysteme und Schacht-in-Schacht-Systeme reduzieren das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser. Sollte trotz des erhöhten Risikos von Undichtigkeiten an Fugenverbindungen eine Verwendung mehrteiliger Schächte beabsichtigt sein, ist eine mineralische Kapselung der Schachtbauwerke in Betracht zu ziehen. Sind Ortbetonschächte beabsichtigt, ist dringend darauf zu achten, dass es zu einer adäquaten Bauausführung ohne etwaige Undichtigkeiten kommt.
THE 6 ₂	Die vorgesehene Schachtkonstruktion ist zu überdenken. Es sind Schachtkonstruktionen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen vorzusehen. Einteilige Schachtsysteme und Schacht-in-Schacht-Systeme reduzieren das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser. Sollte trotz des erhöhten Risikos von Undichtigkeiten an Fugenverbindungen eine Verwendung mehrteiliger Schächte beabsichtigt sein, ist eine mineralische Kapselung der Schachtbauwerke in Betracht zu ziehen. Sind Ortbetonschächte beabsichtigt, ist darauf zu achten, dass es zu einer adäquaten Bauausführung ohne etwaige Undichtigkeiten kommt.
THE 6 ₃	Die vorgesehene Schachtkonstruktion sollte gegebenenfalls überdacht werden. Es sind Schachtkonstruktionen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen vorzusehen. Einteilige Schachtsysteme und Schacht-in-Schacht-Systeme reduzieren das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser. Sollte trotz des erhöhten Risikos von Undichtigkeiten an Fugenverbindungen eine Verwendung mehrteiliger Schächte beabsichtigt sein, ist eine mineralische Kapselung der Schachtbauwerke in Betracht zu ziehen. Sind Ortbetonschächte beabsichtigt, sollte darauf geachtet werden, dass es zu einer adäquaten Bauausführung ohne etwaige Undichtigkeiten kommt.
THE 7	Die beabsichtigte Linienführung des Abwasserkanals sollte überdacht werden. Rohrabwinkelung bei Steckverbindungen bzw. Rohrkrümmung bei Schweißverbindungen stellen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko in Bezug auf Dichtheit und Beanspruchung der Rohrleitung dar. Es ist zu prüfen, ob ein Polygonzug durch Anordnung kurzer, geradliniger Haltungen mit Schächten möglich ist.
THE 8	Eine Verwendung von Zwei-Schicht-Rohrsystemen und/oder einer mineralischen Kapselung des Abwasserkanals ist vorzusehen.
THE 9	Der geplante Rohrverbindungstyp sollte überdacht werden. Dadurch kann das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser gegebenenfalls herabgesetzt werden. Sollten Schweißverbindungen bei biegeweichen Rohren (PEHD) beabsichtigt werden, kann der geplante Rohrverbindungstyp beibehalten werden.
THE 10	Die beabsichtigte Baulänge der Rohre ist zu überdenken. Es wird empfohlen zu überprüfen, ob größere Baulängen möglich sind. Diese würden das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser verringern.
THE 11	Die beabsichtigte Baulänge der Rohre ist zu überdenken. Es wird empfohlen zu überprüfen, ob kürzere Baulängen möglich sind. Diese würden das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser verringern. Sollten biegeweiche Rohre (PEHD) zum Einsatz kommen, kann auf kürzere Baulängen verzichtet werden.
THE 12	Das Einleiten von Abwasser über Regenüberläufe in einen Vorfluter ist besonders problematisch. Eine komplette Mischwasserspeicherung oder -behandlung vor Einleitung innerhalb des Wassergewinnungsgebietes wird erforderlich. Eine uneingeschränkte Mischwasserspeicherung bedingt den Bau von Rückhaltebecken anstelle von Regenüberläufen. Dies ist in der Planung zu berücksichtigen.

Kodierung	Textbaustein
THE 13	Bei der Bauausführung ist besondere Vorsicht geboten, damit es zu keinen Fehlschlüssen kommt, durch die behandlungsbedürftiges Wasser falsch abgeleitet wird und so z.B. in Vorfluter oder Untergrund gelangt.
THE 14 ₂	Die vorgesehene Einbindungsart der Anschlussleitungen an den Abwasserkanal innerhalb des Wasserschutzgebietes sollte überprüft werden. Ein indirekter Anschluss an Schächte würde das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser herabsetzen.
THE 14 ₃	Die vorgesehene Einbindungsart der Anschlussleitungen an den Abwasserkanal innerhalb des Wasserschutzgebietes sollte nach Möglichkeit überprüft werden. Ein indirekter Anschluss an Schächte könnte das Gefährdungspotenzial herabsetzen.
THE 15	Abwassertechnische Bauwerke erhöhen das Grundwassergefährdungspotenzial. Kann auf eine Errichtung entsprechender Anlagen innerhalb des Wasserschutzgebietes im Ausnahmefall nicht verzichtet werden, sind diese so auszuführen, dass Eingriffe in den Untergrund auf ein Mindestmaß reduziert werden und möglichen Einflussnahmen auf das Grundwasser z.B. durch besondere Abdichtungen, mineralische Kapselung, gesicherte Schmutzwasserableitung u.a. vorgebeugt wird.
THE 16	Zur Beweissicherung sollte bei der Erhebung der Grundwasserqualität auch das Stoffspektrum des später abzuleitenden nicht häuslichen Abwassers berücksichtigt werden, um etwaige Backgroundwerte und Vorbelastungen erkennen zu können.
THE 17	Es sollte geprüft werden, ob der Hauptsammler als Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanalsystem realisiert werden kann, wodurch gegebenenfalls die erforderliche Grabentiefe verringert werden könnte und vor allem eine vereinfachte Inspektion, Reparatur und Sanierung möglich wäre.
THE 18 ₁	Im Baustellenbereich sind dringend besondere Untersicherungsmaßnahmen zur vorsorglichen Verhinderung einer Versickerung von Betriebsstoffen vorzusehen.
THE 18 ₂	Im Baustellenbereich sind besondere Untersicherungsmaßnahmen zur vorsorglichen Verhinderung einer Versickerung von Betriebsstoffen vorzusehen.
THE 19 ₁	Sollte die Wassergewinnung während der Kanalbaumaßnahme weiterbetrieben werden, sind dringend Vorsorgemaßnahmen zu treffen, d.h. z.B. Trübemelder einzubauen, um Veränderungen der Feinsedimentfracht im zufließenden Grundwasser rechtzeitig zu erkennen und dadurch Folgeschäden zu verhindern.
THE 19 ₂	Sollte die Wassergewinnung während der Kanalbaumaßnahme weiterbetrieben werden, sind Vorsorgemaßnahmen zu treffen, d.h. z.B. Trübemelder einzubauen, um Veränderungen der Feinsedimentfracht im zufließenden Grundwasser rechtzeitig zu erkennen und dadurch Folgeschäden zu verhindern.
THE 19 ₃	Sollte die Wassergewinnung während der Kanalbaumaßnahme weiterbetrieben werden, sollten nach Möglichkeit Trübemelder eingebaut werden, um Veränderungen der Feinsedimentfracht im zufließenden Grundwasser rechtzeitig zu erkennen und dadurch Folgeschäden zu verhindern.
THE 20	Durch die Lage des Grundwasserspiegels oberhalb der Kanalsole wird bei offener Bauweise ein wasserdichter Verbau bzw. bei geschlossener Bauweise der Einsatz von Stützflüssigkeiten erforderlich. Entsprechende Maßnahmen sind in der Planung zu berücksichtigen. Im Baugrubenbereich anfallendes Wasser ist sicher abzuleiten, so dass es keine zusätzliche Gefährdung für das Grundwasser darstellt.
THE 21	Innerhalb der Bettungszone sind Tonsperren zur Verhinderung von Längsdrainagen entlang der Leitungszone vorzusehen. Über hydraulisch gebundene Baustoffe in der gesamten Leitungszone ist nachzudenken.
THE 22	Wechselnde Witterungseinflüsse während der Bauphase wie z.B. sommerliche Starkregen, winterlicher Frost, Schnee oder Frühjahrshochwasser sind insbesondere bei längeren Baumaßnahmen in der Planung zu berücksichtigen. Vorsorgeplanungen sind vorzuhalten, die Angaben dazu machen, wie entsprechenden Einflüssen begegnet werden kann und was im Notfall zu veranlassen ist, sollte es z.B. zum Überfluten der Baugrube bzw. zu Vorfällen kommen, welche den Baubetrieb hemmen oder zeitweilig zum Erliegen bringen können.
THE 23 ₁	Besonders risikobehaftete Teile der Baustelle wie z.B. Materiallager- und Maschinenstandplätze sind dringend aus der betroffenen Wasserschutzzone hinaus zu verlagern und nach Möglichkeit außerhalb des Wasserschutzgebietes einzurichten.
THE 23 ₂	Besonders risikobehaftete Teile der Baustelle wie z.B. Materiallager- und Maschinenstandplätze sind aus der betroffenen Wasserschutzzone hinaus zu verlagern und nach Möglichkeit außerhalb des Wasserschutzgebietes einzurichten.
THE 24	Die geplante Führung der Kanaltrasse ist zu verändern. Die beabsichtigte Abwasserdurchleitung durch eine Wasserschutzzone I ist auch im Ausnahmefall nicht statthaft. Sollte an einer derartigen Durchleitung festgehalten werden, müsste die Wassergewinnung aufgegeben werden.
THE 25 ₁	Die beabsichtigte Trassenführung durchzieht die betroffene Wasserschutzzone(n) über eine vergleichsweise kurze Strecke. Es ist dringend zu überprüfen, ob ein Anschneiden vermieden werden könnte und eine Kanalführung auch außerhalb der Schutzzone(n) möglich wäre, da sich hierdurch das bestehende Gefährdungspotenzial für das Grundwasser mindern würde.
THE 25 ₂	Die beabsichtigte Trassenführung durchzieht die betroffene Wasserschutzzone(n) über eine vergleichsweise kurze Strecke. Es sollte überprüft werden, ob ein Anschneiden vermieden werden könnte und eine Kanalführung auch außerhalb der Schutzzone(n) möglich wäre, da sich hierdurch das bestehende Gefährdungspotenzial für das Grundwasser mindern könnte.

Kodierung	Textbaustein
THE 26	Eine dauerhafte Stilllegung der potenziell betroffenen Wassergewinnung ist als Alternative zu besonderen Sicherungs- und Vorsorgemaßnahmen für einen präventiven Grundwasserschutz bei der Kanalplanung abzuwägen.
THE 27	Es sind Wasserfassungen vorhanden, die oberflächennahes Grundwasser fassen, und daher besonders sensibel auf Eingriffe in den Untergrund reagieren können. Es ist daher besondere Vorsicht geboten. Während der Baumaßnahme sollte verstärkt auf wechselnde Grundwasserbeschaffenheiten geachtet werden.
THE 28	Wassergewinnungsgebiet und Gewinnungsanlagen besitzen eine hohe Wertigkeit für die Wasserversorgung. Es ist besondere Vorsicht bei der Durchführung der Baumaßnahmen geboten.
THE 29	Es ist zu prüfen, ob und unter welchen Randbedingungen (z.B. Förderleistung, Förderdauer) vorhandene Brunnen im Bedarfsfall als Abwehrbrunnen genutzt werden könnten. Entsprechende Planungen sind vorzuhalten.
THE 30	Vorsorgeplanungen zur Umstellung bzw. Verlagerung der Wasserversorgung sind zu erarbeiten, aus denen hervorgeht, wie der Trinkwasserbedarf aufrecht erhalten werden kann, sollte es zu einer Beeinflussung des Grundwassers kommen und eine zeitweilige Außerbetriebnahme der Gewinnungsanlagen im von der Baumaßnahme bzw. der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet notwendig werden.
THE 31	Es ist zu prüfen, inwieweit Veränderungen bzw. Umstellungen der Nutzung bzw. Betriebsweise der Gewinnungsanlagen die potenzielle Gefährdung des genutzten Grundwassers durch z.B. eine Veränderung von Einzugsbereichen oder der Aufenthaltszeit des Grundwassers im Untergrund verringern könnten.
THE 32	Eine geordnete Oberflächenentwässerung ist sicherzustellen und der Zutritt von Oberflächenwasser in die Baugrube zu verhindern bzw. zu minimieren. Anfallende Wässer sind abzufangen und kontrolliert abzuleiten.
THE 33	Es wird empfohlen, einen befestigten sowie ausreichend dimensionierten Baustellenbereich mit entsprechend ausgebauter und stabilerer Zuwegung für alle zum Einsatz kommenden Fahrzeuge, Maschinen und Gerätschaften einzurichten. Etwaig wechselnde Witterungsverhältnisse sind dabei zu berücksichtigen.
THE 34	Vorsorgemaßnahmen gegen ein Überfluten der Baugrube und zur Gewährleistung der Standsicherheit einzusetzender Maschinen und Fahrzeugen sind zu berücksichtigen.
THE 35	Bodenverbessernde Maßnahmen sind vorzusehen, um Schwierigkeiten und Havarien während der Bauarbeiten infolge unsicherer Standverhältnisse zu verhindern (Niveaueausgleich, Aufschotterungen, Geotextil).
THE 36 ₁	Vor Baubeginn sind Untersuchungen zur aktuellen Grundwasserbeschaffenheit durchzuführen. Trends und Entwicklungen sind zu analysieren. Ursachen für chemische, bakteriologische oder sonstige Veränderungen sind zu untersuchen.
THE 36 ₂	Vor Baubeginn sollten Untersuchungen zur Grundwasserbeschaffenheit erfolgen. Trends und Entwicklungen sind zu analysieren. Ursachen für chemische, bakteriologische oder sonstige Veränderungen sind zu untersuchen. Gründe für Sensibilisierungen oder Belastungen ermitteln.
THE 37	Eine Beweissicherung an den Gewinnungen ist vor Maßnahmenbeginn durchzuführen, um Auswirkungen des Baus oder Betriebs des Kanals auf das Grundwasser zu erkennen. Sie sind u.a. dahingehend auszuwerten, ob sie Aussagen zur Vorbelastung, Strömung sowie Anfälligkeit des Grundwassers gegenüber Stoffzutritten machen.
THE 38	Herkunft und nach Möglichkeit Zutrittswege der Stoffe ins Grundwasser ermitteln, z.B. Ringraumabdichtungen von Bohrungen auf Undichtigkeiten überprüfen.
THE 39	Vorliegende planungsrelevante Detailkenntnisse u.a. zum Untergrundaufbau sowie zur hydrogeologischen Situation im Wasserschutzgebiet einschließlich zu diesbezüglich wichtigen Pump- und Markierungsversuchen, Strömungsbetrachtungen und Trendreihen zur qualitativen Grundwasserentwicklung sind, soweit solche vorhanden und nutzbar sind, in der Kanalbauplanung mit zu berücksichtigen.
THE 40	Es wird empfohlen, den Kenntnisstand hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation einschließlich der anlagenspezifischen Kenntnisse zu Ausbau und Abdichtung von Bohrungen zu verbessern, um den für eine fachgerechte Planung erforderlichen räumlichen Kenntnisstand zu erweitern und abzusichern. Ohne ergänzende Untersuchungen ist eine Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser sowie eine darauf angepasste Planung nur mit Unsicherheiten möglich.
THE 41	Zur Erweiterung der Kenntnisse über hydrogeologische Charakteristiken wird angeraten, Pumpversuche im Wasserschutzgebiet durchzuführen und deren Ergebnisse fachlich zu bewerten. Die dadurch erzielten Detailkenntnisse und etwaigen Sensibilitäten sind in die Situationsbewertung und die Kanalplanung mit einzubeziehen.
THE 42	Es sollte überprüft werden, inwiefern Strömungsbetrachtungen, z.B. über Markierungsversuche und/oder ein Grundwasserströmungsmodell den räumlichen Kenntnisstand im Hinblick auf die gegebene hydrogeologische Situation im Wasserschutzgebiet erweitern können und mit vertretbarem technischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand umsetzbar sind.
THE 43	Höhere Schadstoffbelastungen des nicht häuslichen Abwassers können durch konstruktive Präventivmaßnahmen (Vorgaben zur dezentralen Vorbehandlung) reduziert werden. Selbiges gilt für höhere Schadstoffbelastungen des belasteten Oberflächenwassers (u.a. optimierter Straßenablauf – Separations-Straßenablauf SSA, hydrodynamischer Abscheider, Sedimentationsanlagen).

8 *Fallbeispiel zur Erläuterung der systematischen Anwendung und Entscheidungsfindung des Expertensystems GRABWAS*

8.1 *Räumliche und planerische Ausgangssituation im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritte Bauphase)*

Systemverifizierung anhand von Fallbeispielen

Zur Absicherung des entwickelten Expertensystems sind verschiedene Fallbeispiele mit unterschiedlichen räumlichen und planerischen Ausgangskonstellationen betrachtet worden, welche den Analyse- und Bewertungsalgorithmus verifizieren und seine Entscheidungsfindung anhand konkreter Anwendungsbeispiele auf ihre Belastbarkeit prüfen sollen. Zu berücksichtigen sind im Hinblick auf die Passgenauigkeit und etwaigen Unschärfen der erzielten Ergebnisse die zu Beginn der Arbeit (vgl. Kap. 2.4) angeführten systemimmanenten Grenzen eines einzelfallübergreifend anwendbaren Expertensystems und dessen Aufgabe, dem Planer als Entscheidungshilfe zu dienen, nicht aber ihm seine fachlichen Entscheidungen abzunehmen.

Nachfolgend wird eines der untersuchten Fallbeispiele ausführlich dargestellt, anhand dessen die systematische Anwendung und Entscheidungsfindung des Expertensystems GRABWAS im Hinblick auf die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials und die Aussprache von Empfehlungen zur Absicherung, Überprüfung und Modifikation der Kanalbauplanung erläutert und verdeutlicht werden. Methodisch wie inhaltlich wird dabei Bezug auf die in den vorangegangenen Kapiteln angeführten Arbeitsbausteine genommen (vgl. Kap. 4 bis Kap. 7).

Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten

Im Bereich der zur Gemeinde Wadgassen gehörenden Ortschaft Differten im südwestlichen Saarland erfolgen zur Neuordnung der Siedlungsentwässerung seit einigen Jahren umfangreiche Maßnahmen zur Errichtung eines Hauptsammlers im Mischsystem samt verschiedener abwassertechnischer Bauwerke wie Pumpwer-

ke, Regenüberläufe und Staukanäle mit dem Ziel, das in den Ortsbereichen Differten und Friedrichweiler anfallende häusliche Abwasser zu der etwa 12 km entfernt liegenden Kläranlage Ensdorf zu führen.

Nach den bisherigen Planungen soll die gesamte Kanalbaumaßnahme bis spätestens 2014 abgeschlossen sein. Der erste Bauabschnitt im östlichen Ortsbereich von Differten ist bereits fertiggestellt, der zweite in der zentralen Ortslage derzeit (Stand November 2008) in der Realisierung. Der dritte und letzte Bauabschnitt östlich der Brückenstraße befindet sich in der Genehmigungsphase. Bauherr der Maßnahme ist die Gemeinde Wadgassen im Auftrag des Entsorgungsverbandes Saar (EVS), in Zusammenarbeit mit der Kommunalen Entsorgung Neunkirchen (KEN) als Projektleitung und verschiedenen Fachplanern.

Anlass für die Inangriffnahme der Errichtung eines Hauptsammlers im Ortsbereich Differten war die Tatsache, dass bislang nur ein Teil des in der Ortslage anfallenden häuslichen Abwassers durch den bestehenden, in der L 168 verlaufenden Ortskanal der Gemeinde Wadgassen abgeführt werden kann. Die talseitig gelegenen Anwesen der Überherrner Straße, Hauptstraße und Werbelner Straße entwässern über Haussickergruben unmittelbar in die Bist, einem kleineren Fließgewässer, da das Freispiegelniveau des Gemeindekanals für einen Anschluss der entsprechenden Häuser zu hoch liegt. Aus Sicht des Umweltschutzes wurde dieser Zustand nicht länger als duldbar bewertet und eine geordnete Abwasserableitung als erforderlich angesehen.

Nach Fertigstellung des Hauptsammlers Wadgassen-Differten soll der bestehende Gemeindekanal für die daran angeschlossenen Häuser weiter genutzt werden. Die bisher nicht an die

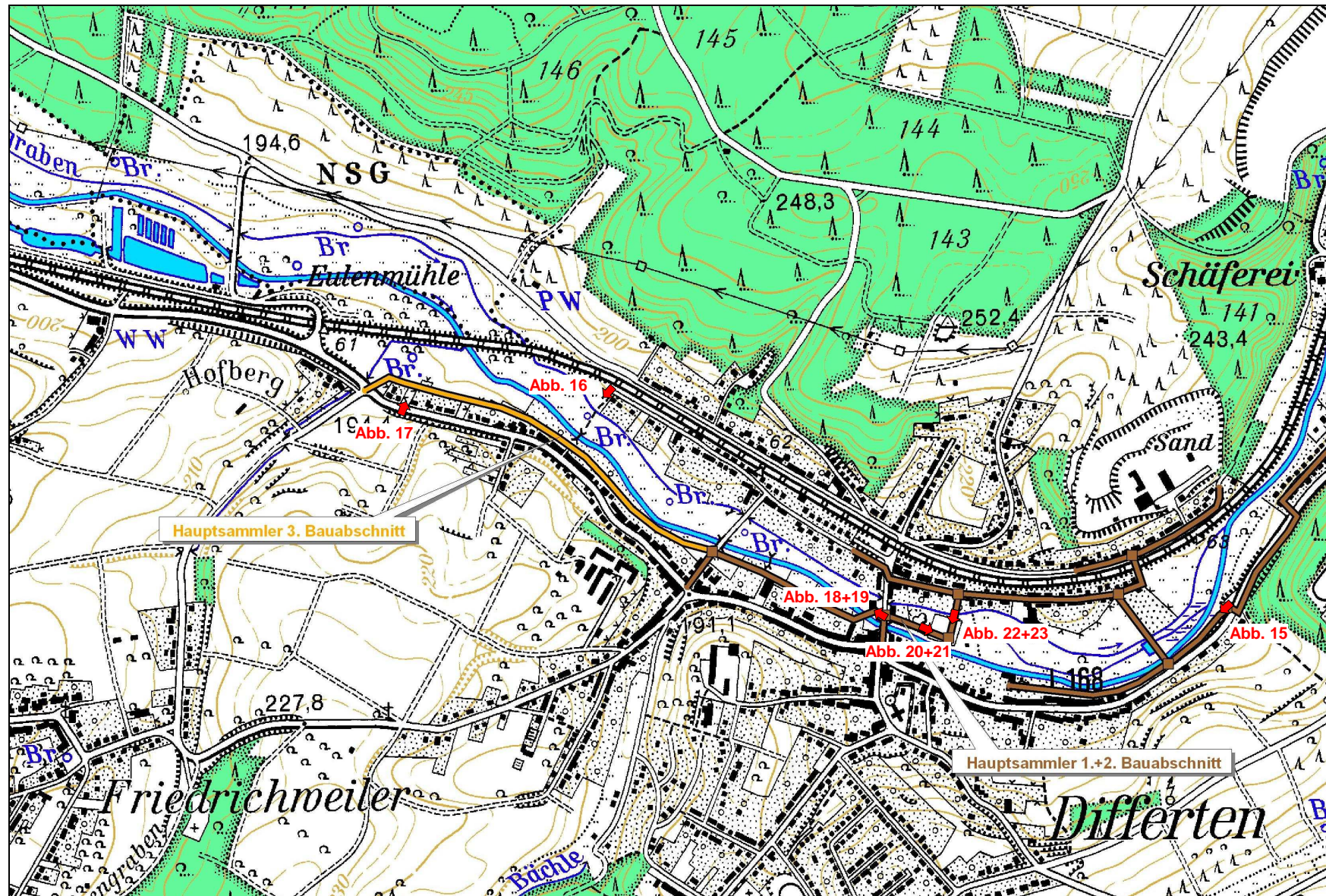


Abb. 12: Karte zum Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten mit Verlauf der Abwasserkanaltrasse

Kanalisation abgebundenen Anwesen werden direkt an den Hauptsammler angeschlossen. An verschiedenen Punkten, z.B. im Bereich Brückenstraße / Überherrner Straße / Friedrichweiler Straße sowie in Bereich Überherrner Straße / Schleimbachstraße sind Übergabestellen zwischen Gemeindekanalisation und Hauptsammler vorgesehen oder bereits errichtet.

Über ein östlich der Denkmalstraße im Bereich des Festplatzes geplantes Pumpwerk soll das Abwasser später auf Niveau der nördlich verlaufenden Wiesenstraße gehoben werden, am Ende derer bereits ein im ersten Bauabschnitt realisiertes Trassenstück die Aue quert und die Verbindung zum südlich der Bist, parallel zur Werbelner Straße neu errichteten Hauptsammler bildet, der das Abwasser über ein Pumpwerk entlang der L 168 in Richtung Werbeln ableitet.

Im Bereich des Festplatzes wird zudem ein Regenüberlaufbauwerk zur Kanalentlastung errichtet, das bei hydraulischen Spitzenabflüssen im Bedarfsfall einen Teil des Mischwassers in die Bist einleitet. Die Kanaltrasse wird nach Westen bis an den Ortsrand geführt werden und in Höhe der Einmündung der Schleimbachstraße die Wohnhäuser am Siedlungsrand nahe des Hofberges noch mit anbinden. Vom Entsorgungszwang des Anwesens Eulenmühle wurde die Gemeinde Wadgassen befreit³⁸.

Räumliche Ausgangssituation

Besonders kritisch erweist sich der Verlauf des Hauptsammlers Wadgassen-Differten dahingehend, dass die geplante bzw. bereits realisierte Kanaltrasse ein zur Trinkwasserbereitstellung genutztes Wassergewinnungsgebiet durchzieht, woraus sich ein unmittelbarer Raumnutzungskonflikt zwischen Siedlungsentwässerung und Trinkwassergewinnung ergibt (vgl. Kap. 1.1).

Die Stadtwerke Völklingen Netz GmbH als zuständigem Unternehmen für den technischen und wirtschaftlichen Betrieb der Energie- und Wasserverteilungsanlagen der Stadt Völklingen

verfügt im Ortsbereich Differten innerhalb der Bistaue zwischen Eulenmühle und Denkmalstraße über verschiedene Tiefbrunnen. Mit den Brunnen Differten 3 am Ende der Mittelwiesenstraße sowie dem Brunnen Differten 7 am westlichen Ortsrand wurden zwei der Brunnen erst im Jahr 2008 regeneriert und deren Bedeutung für die Wasserversorgung unterstrichen. Als Ersatz für den nicht mehr nutzbaren Brunnen Differten 1 ist Anfang 2009 im Naturschutzgebiet Eulenmühle nördlich des Höllengrabens nahe der Verlängerung der Altforweiler Straße ein neuer Brunnen realisiert worden.

Die Höhe der Grundwasserentnahme in den Gewinnungsgebieten Differten und Hufengebiet liegt bei mehreren Millionen Kubikmeter pro Jahr. Das Ökologische Wasserversorgungskonzept Saar (ÖWAV) bzw. dessen Überarbeitung (WPW GEOCONSULT 1995) führt diesbezüglich eine Gesamtentnahme von rd. 4,4 Mio. m³/a an, die damit über dem nutzbaren Grundwasserdargebot von rd. 3,3 Mio. m³/a liegt, was nur dadurch als duldbar bewertet wird, da im benachbarten Gewinnungsgebiet C 26 Werbelner Bachtal des Wasserzweckverbands Warndt weniger als die Hälfte des Grundwasserdargebots gefördert wird.

Das Wassergewinnungsgebiet Differten ist durch die „Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Einzugsgebiet der in der Gemarkung Differten, im Bisttal und im Hufengebiet gelegenen Wassergewinnungsanlagen“ (Wasserschutzgebietsverordnung C 24 Hufengebiet) vom 18.03.1985 rechtskräftig als Wasserschutzgebiet gemäß § 37 SWG (2006) und § 19 WHG (2007) ausgewiesen, so dass dem Grundwasserschutz besondere Bedeutung beizumessen ist.

Festgesetzt ist eine gemeinsame Wasserschutzzone III für die Brunnen Differten und die südlich, zwischen Differten, Überherrn und dem Werbelner Bachtal gelegenen Brunnen des Hufengebietes. Sie reicht im Osten bis zum Ortsrand von Differten, wo ihre Grenze schräg zwischen der Straße Zum Bildchen und dem Ende des Kohlenbauerweges am Werbelner Bebauungsrand verläuft, und zieht sich nach Norden durch das sich an das Bisttal anschließende

³⁸ mündliche Information von Herrn Dipl.-Ing. KÜHNE, Technischer Leiter Abwasserbetrieb der Gemeinde Wadgassen, vom 07.11.2008

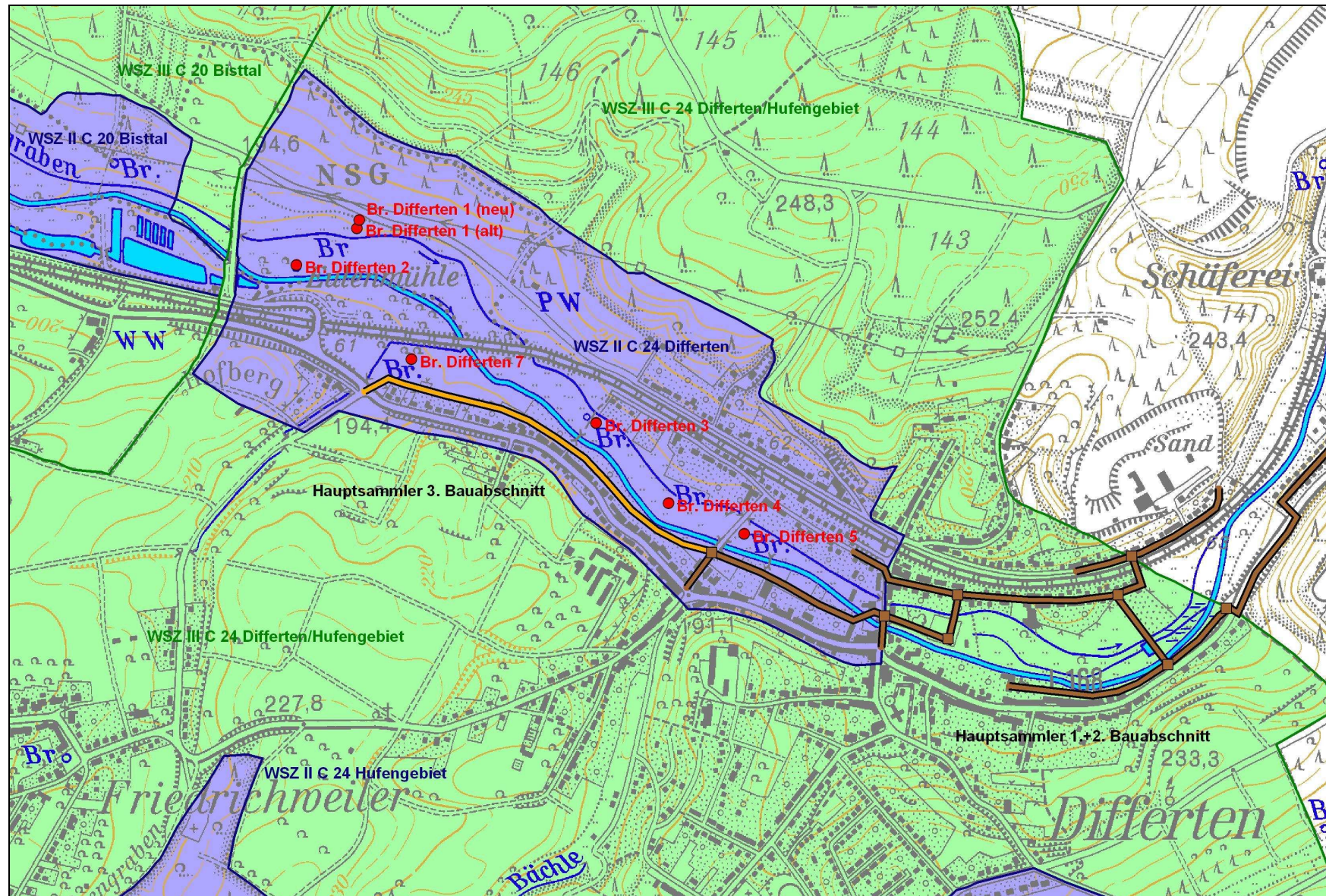


Abb. 13: Karte zum Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten mit Lage der Brunnen und Verlauf der Wasserschutzonen (ohne Schutzzone I).

Waldgebiet bis an den aus Wadgassen zum Sandhof führenden Neuforweiler Weg. Der Abbaubereich der Kalksandsteinwerk Differten-Saar Schencking GmbH & Co. am nordöstlichen Ortsrand ist davon ausgenommen.

Nach Süden erstreckt sich die Wasserschutzzone III bis zum Waldrand südlich von Differten und Friedrichweiler, wo sich die Wasserschutzzone II der Brunnen im Hufengebiet anschließt. Westlich der Eulenmühle grenzt die Wasserschutzzone III der Brunnen Differten unmittelbar an die Wasserschutzzonen des Wassergewinnungsgebietes C 20 Bisttal der Energis GmbH. Die Gesamtfläche der Weiteren Schutzzone des Schutzgebietes C 24 beträgt rd. 9,3 km².

Die festgesetzte Wasserschutzzone II der Brunnen Differten zieht sich von der Denkmalstraße im Osten bis zur quer durch die Bistaue verlaufenden Straße An der Eulenmühle und erstreckt sich nach Norden bis etwa zum Waldrand nördlich der Altforweiler Straße. Die südliche Grenze der Schutzzone verläuft hinter der Bebauung entlang der Überherrner Straße. Ihre Flächenausdehnung beträgt rd. 0,8 km². Die Fassungsgebiete der Brunnen Differten sind als Wasserschutzzonen I zu betrachten, wenngleich diese auch nicht überall durch Geländeumzäunungen abgegrenzt sind.

Der Untergrund innerhalb des Wassergewinnungsgebietes Differten wird wie für den Landschaftsraum Warndt typisch durch die Gesteine des Mittleren Buntsandsteins aufgebaut, welche als biporöser Poren-Kluft-Grundwasserleiter in Erscheinung treten, dessen Wasserleitvermögen vornehmlich auf dem ausgebildeten Trenngefüge in Form von Klüften, Schicht- und Bankungsfugen beruht. Die guten Speichereigenschaften des Mittleren Buntsandsteines werden durch deren vergleichsweise hohen effektiven Porenraum und die z.T. mürbe Gesteinsausprägung bestimmt. In der Regel können als hydrogeologische Kennwerte nach Angaben der Hydrogeologischen Übersichtskarte 1:200.000 Blatt CC 7102 Saarbrücken (2003) Durchlässigkeiten um 10^{-3} bis 10^{-5} m/s erwartet werden. In den Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25.000 Blatt 6706 Ludweiler-Warndt (GLA 1984) werden lokal buntsandsteintypische Transmissivitäten

zwischen 2 und $20 \cdot 10^{-3}$ m²/s mit einem Mittel von rd. $6 \cdot 10^{-3}$ m²/s angeführt, was bei einer angenommenen Mächtigkeit des Buntsandsteines im Umfeld der Brunnen Differten um rd. 70 m einer mittleren Durchlässigkeit von rd. $8,6 \cdot 10^{-5}$ m/s entspricht.

Im Bereich der breitflächig vernässten, z.T. amoorigen, flachlandgewässerähnlichen Bistaue werden die Ablagerungen des Buntsandsteins von bis zu einigen Metern mächtigen, lehmigen, bereichsweise auch feinkörnigeren alluvialen Lockersedimenten mit z.T. hohen organischen Anteilen überdeckt, welche zu den sanft ansteigenden, morphologisch unauffälligen Talrändern auskeilen. Sie zeigen vertikal wie horizontal eine starke lithologische Varianz. Ihre laterale Erstreckung schwankt zwischen rd. 150 m und stellenweise über 300 m.

Die Auensedimente bedingen im Umfeld der talmittig gelegenen Brunnen im grundwassererfüllten Buntsandstein gespannte Druckverhältnisse. Das Niveau der Grundwasserdruckfläche liegt dabei, wie durch Beobachtungen an den Brunnen Differten 1, 3 und 7 belegt, etwa in Geländehöhe (WAGNER 2008b). Hierdurch ist ein vertikal aufwärts gerichtetes Leakage aus dem Festgesteinsaquifer in die auflagernden Auensedimente gegeben. Zu dem Talrändern hin nimmt die Grundwasserspannung ab, so dass dort, wo der Buntsandstein unmittelbar anstehend vorzufinden ist, mit freien Druckverhältnissen zu rechnen ist. Die Deckschichten werden hier von den vorwiegend sandigen Verwitterungsschichten des Buntsandsteins gebildet, welche im Vergleich zu den Auensedimenten eine meist deutlich höhere vertikale Durchlässigkeit besitzen.

Die beidseitig der Bist positionierten, z.T. voll-, z.T. nur mittels eines Sperrrohres ausgebauten und darunter frei im Fels stehenden Brunnen erschließen den Mittleren Buntsandstein auf einer Tiefe zwischen rd. 50 m (Brunnen Differten 3) und rd. 110 m (Brunnen Differten 7). Bei den meisten Brunnen wird von einer Teufe um 70 m ausgegangen. Die oberen 15 bis 20 m sind dabei abgesperrt, so dass ein unmittelbarer Wasserzustrom aus dem Auenkörper verhindert wird (WPW GEOCONSULT 1995).

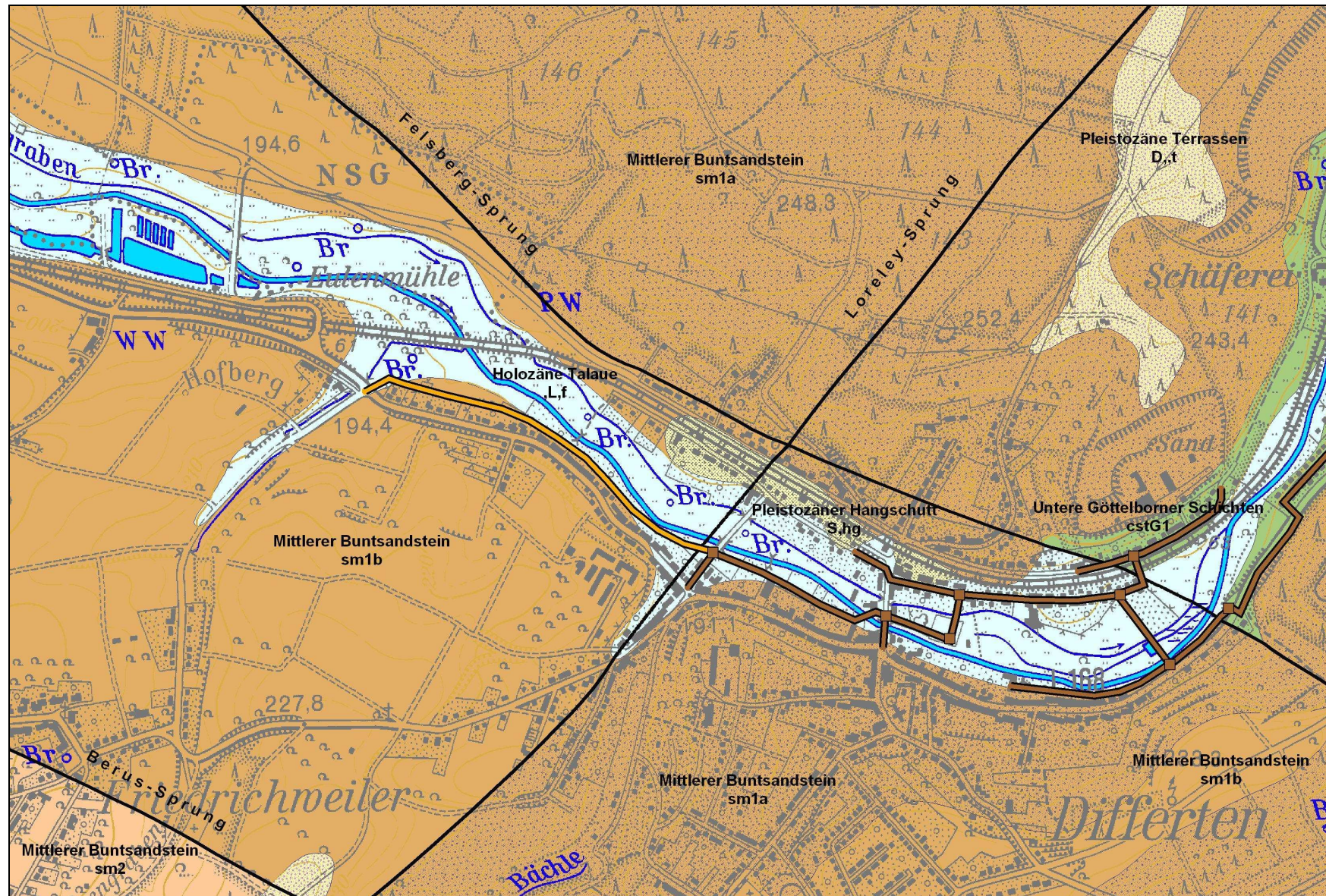


Abb. 14: Geologische Karte zum Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten

Der Buntsandstein stellt sich als fein- bis mittelkörniger Sandstein mit bereichsweise feineren, z.T. auch gröberen bis konglomeratischen Einschaltungen dar. Anstehend finden sich weißliche, graue, gelbe bis bräunliche, auch blass rosafarbene, seltener intensiv rote fein- bis mittelkörnige mürbe Sandsteine des sm1b, welche eine wechselnde Eben- und Schrägschichtung zeigen, in denen Sandsteinlagen z.T. durch dünne Tonlagen getrennt sind. Sie werden von den stark geröllführenden, meist gelblichen bis bräunlich-grauen, seltener blass rosafarbenen Sandsteinen des sm1a unterlagert, die rasch zu losem Sand aufwittern und einer konglomeratischen Basis aus u.a. Quarzen, Quarziten, Lyditen und aufgearbeiteten Karbongesteinen sowie bereichsweise permischen Eruptiva auflagern. Die Mächtigkeit des Mittleren Buntsandsteins erreicht im Umfeld der Brunnen z.T. bis zu über 100 m, wobei der Großteil auf den sm1a entfällt.

Im Liegenden des Buntsandsteins sind zumeist die Gesteine des Oberrotliegenden in geringen, lokal schwankenden Mächtigkeiten von bis zu rd. 20 m vorzufinden, welche als blassviolette Sandsteine der Kreuznacher Fazies (ro3) und/oder geröllführende braunrote Sandsteine und Konglomerate der Waderner Fazies (ro2) ausgebildet sind. Sie lagern diskordant über den Unteren Heusweiler Schichten (cstH1) des Oberkarbons (Stefan B), denen sich im Liegenden weitere Folgen des Oberkarbons in einer Gesamtmächtigkeit von mehreren hundert Metern anschließen. Bereichsweise wird vermutet, so auch im Umfeld der Eulenmühle am westlichen Ortsrand von Differten, dass die Sedimente des Oberrotliegenden nicht zur Ablagerung gekommen sind (GLA 1984).

Tektonisch befindet sich der zentrale Teil des Wassergewinnungsgebietes Differten im Übergangsbereich zwischen dem Ittersdorfer Graben im Südwesten und dem Neuforweiler Horst im Nordosten. Die erschlossene Bruchscholle wird dabei durch den nordwest-südost-verlaufenden Felsberg-Sprung (Versatzhöhe rd. 100 m) und den annähernd parallel dazu orientierten Berusprung (Versatzhöhe rd. 50 m) begrenzt, welche ein Ansteigen der Buntsandsteinbasis nach Nordosten hin bewirken. Im Nordwesten und Südosten wird die Bruchscholle durch zwei

ebenfalls annähernd parallel, von Südwesten nach Nordosten verlaufende Verwerfungen mit kleineren Sprunghöhen begrenzt, von denen sich die eine aus Überherrn in Richtung Schwalbachmündung erstreckt, und die zweite, der Loreley-Sprung, sich von Creutzwald in Richtung Hostenbach zieht. Beide bewirken ein Anheben der Buntsandsteinschichten nach Südosten zum Ludweiler Horst hin (GLA 1984).

Planerische Ausgangssituation

Die Realisierung des Hauptsammlers Wadgasen-Differten erweist sich aufgrund der Nähe der Kanaltrasse zu den Brunnen der Stadtwerke Völklingen Netz GmbH als besonders kritisch und stellt im Hinblick auf den Grundwasserschutz besondere Anforderungen an die Durch- und Ausführung der Baumaßnahme.

Innerhalb der ersten beiden Bauabschnitte wurde zwischen dem östlichem Ortsrand von Differten und der Brückenstraße zwei Trassenabschnitte beidseitig der Bist, zum einen im Auenbereich unmittelbar südlich des Gewässers, zum anderen nördlich des Baches im Bereich der Wiesenstraße, mit einer Kanallänge von jeweils rd. 700 m realisiert. Im letzten Trassenstück des zweiten Bauabschnittes zwischen Denkmalstraße und Brückenstraße wird bereits die Wasserschutzzone II auf einer Länge von rd. 400 m durchzogen, um an die bestehende Kanalisation im Bereich Brückenstraße / Überherrner Straße anknüpfen zu können.

Dies ist aus Sicht des Grundwasserschutzes als besonders kritisch zu bewerten. Selbiges gilt für die geplante Streckenführung im dritten Bauabschnitt, welche ab der Brückenstraße weiter durch die Wasserschutzzone II bis in Höhe der Schleimbachstraße verlaufen soll, wodurch zu den Brunnen Differten 3, 4 und 7 ein Abstand von nur noch wenigen Zehner Metern eingehalten wird. Die Länge des Kanalverlaufes innerhalb der Engeren Wasserschutzzone wird dadurch auf über 1,2 km ansteigen. Seitens des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz³⁹

³⁹ mündliche Information von Herrn Dipl.-Ing. KRÄMER vom Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz vom 07.11.2008

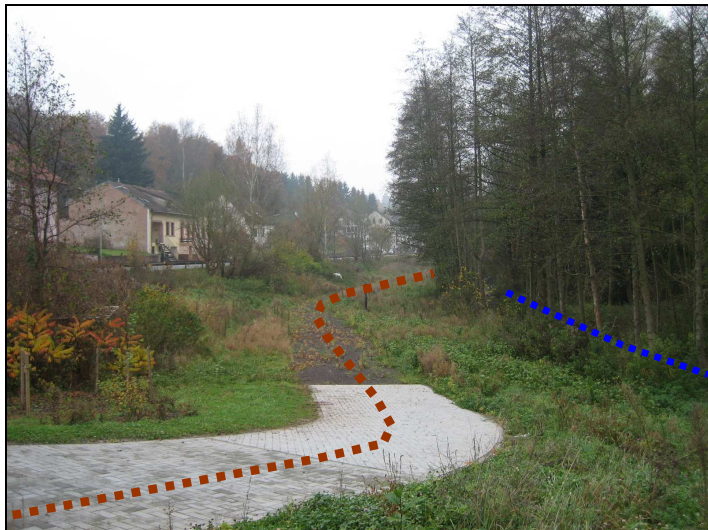


Abb. 15: Blick vom östlichen Ortsrand von Differten nach Südwesten auf den innerhalb der Wasserschutzzone III errichteten Hauptsammler (erster Bauabschnitt). Die Kanaltrasse (braune Linie) verläuft in einer leicht erhöhten Anschüttung unmittelbar südlich der Bist (blaue Linie) innerhalb der Gewässeraue. Links ist die Bauung entlang der Werbelner Straße zu erkennen. Abb. 12 hält den Ort der Aufnahme wie auch die Orte der nachfolgenden Fotos im Kartenbild als rote Pfeile fest.

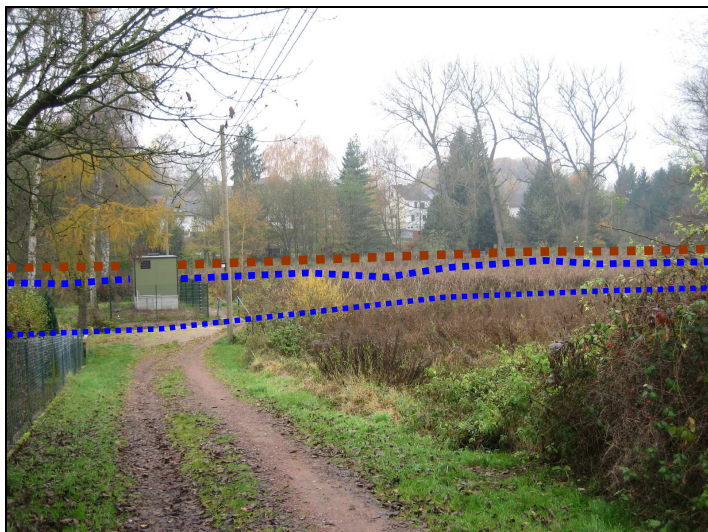


Abb. 16: Blick vom Ende der Mittelwiesenstraße nach Südwesten auf die breitflächig vernässte Gewässeraue und die zentrale Wasserschutzzone II. Die Aue wird von der Bist und dem parallel verlaufenden Höllengraben durchzogen (blaue Linien). Links ist der Brunnen Differten 3 zu erkennen, dessen Abschlussbauwerk zur Hochwassersicherheit erhöht zum umgebenden Gelände abschließt. Die geplante Trasse (braune Linie) des Hauptsammlers (dritter Bauabschnitt) verläuft zwischen Bach und der Bebauung der Überherrmer Straße in nur geringer Entfernung zum Brunnen.



Abb. 17: Blick vom westlichen Rand der Ortsbebauung nach Norden in die Bistau. In der Überherrmer Straße verläuft der bestehende Gemeindekanal (schwarze Linie), an den die talseitigen Anwesen nicht angeschlossen sind. Zur besseren Orientierung sind wiederum die Bist (blaue Linie) und die geplante Führung des Hauptsammlers (braune Linie) eingezeichnet. Am linken Bildrand (roter Punkt) befindet sich hinter den dortigen Nadelgehölzen der Brunnen Differten 7. Rückwärtig der Straße verläuft die Außengrenze der Wasserschutzzone II.



Abb. 18: Exemplarische Aufnahme einer der Start- bzw. Zielgruben für den grabenlosen Leitungsbau, wie sie im zweiten Bauabschnitt bei der Verlegung des Abwasserkanals erforderlich wurden. Die Gruben besitzen eine Länge und Breite von über 5 m und eine Tiefe von rd. 10 m. Die hier abgebildete Grube östlich der Denkmalstraße wurde bereits ca. 20 m innerhalb der Wasserschutzzone II errichtet. Der nächstgelegene Brunnen Differten 5 liegt rd. 330 m entfernt. Im ausstehenden dritten Bauabschnitt wird der Abwasserkanal nur rd. 2 m tief verlaufen.



Abb. 19: Blick in eine der Start- und Zielgruben. Zur Gewährleistung der Standsicherheit wurden die Gruben randlich mit einer Betonierung versehen und mittels passgenauer Stahlträger verstärkt. Die Bist wird von der Kanaltrasse mehrfach gequert, was infolge der Tiefenlage des Abwasserkanals kein größeres Problem darstellt. Die einzelnen Baugruben werden über Pumpen im Sumpf wasserfrei gehalten. Im dritten Bauabschnitt wird der Abwasserkanal aufgrund dessen dort deutlich geringeren Tiefenlage in offener Bauweise realisiert werden.



Abb. 20: Baustelleneinrichtung im Umfeld einer Baugrube im Bereich des Festplatzes westlich der Denkmalstraße. Zu sehen ist der Kran, über den die Kanalrohre in die Startgrube hinabgelassen werden. Des Weiteren sind verschiedene Lagerplätze für Material und Maschinen zu erkennen sowie der Container der örtlichen Bauleitung. Die Bist verläuft unmittelbar rechts am Bildrand. Am Festplatz wird neben einem Pumpwerk auch ein Regenüberlauf zur Kanalentlastung im Bedarfsfall errichtet.



Abb. 21: Aufnahme der im zweiten Bauabschnitt zum Einsatz gekommenen Rohrvortriebsmaschine. Die einzelnen Rohre werden hydraulisch hinter dem Bohrkopf in die entstandene Bohrung eingebracht. Eine zusätzliche künstliche Bettung ist nicht gegeben. Zur Schmierung der Rohre wird eine Bentonit-Suspension zwischen Rohraußenwand und Gebirge eingepresst.



Abb. 22: Blick in südliche Richtung auf die Baustelle in Höhe des Festplatzes und den Ortskern von Differten. Die Dimensionen des innerhalb der Wasserschutzzone III liegenden Baubereiches sind zu erkennen. Rechts im Vordergrund der Aufnahme ist eine weitere Baugrube zu sehen, die sich im Verlauf der geplanten Kanalführung zur Wiesenstraße befindet. In der randlichen Bildmitte wird das geplante Entlastungsbauwerk, daneben das erforderliche Abwasserpumpwerk entstehen. Die Bist verläuft von rechts nach links zwischen Baustelle und der Bebauung.



Abb. 23: Nahaufnahme eines der zum Einsatz kommenden Zwei-Schicht-Stahlbetonrohres mit Korrosionsschutz der Nennweite DN 1.800, in das später ein Kunststoffrohr DN 315 zur Abführung des kritischen Abflusses eingezogen wird. Im dritten Bauabschnitt werden geringer dimensionierte Rohre mit Nennweiten zwischen DN 400 und DN 700 zu Einsatz kommen. Rohre mit erhöhtem Sicherheitsstandard zur Gewährleistung eines vorsorglichen Grundwasserschutzes wurden seitens der zuständigen Fachbehörde als zwingend erforderlich angesehen.

wurden Bedenken hinsichtlich der Trassenführung geäußert und streckenweise eine sehr hohe Grundwassergefährdung als gegeben angesehen. Nach den Ergebnissen erfolgter hydrogeologischer Studien kommt der Hauptsammler im unmittelbaren Einzugsbereich der Brunnen Differten zum liegen. Der Realisierung der Kanalbaumaßnahme kann seitens der Fachbehörde daher nur bei Einhaltung baulicher Auflagen zur Gewährleistung eines erhöhten Grundwasserschutzes zugestimmt werden. Auch die geplante Klein- bzw. Pflanzenkläranlage im Bereich Eulenmühle wurde als nicht unkritisch gesehen.

Abb. 13 und 14 zeigen Kartenausschnitte mit dem schematisierten Verlauf des Hauptsammlers sowie der Lage der Brunnen und den Wasserschutzonen im Wassergewinnungsgebiet Differten. Abb. 15 führt ergänzend dazu eine geologische Karte an.

Der Hauptsammler verläuft östlich der Denkmalstraße mit einer Nennweite von DN 1.800 in einer Tiefe von rd. 10 m unter Geländeniveau, so dass hier eine geschlossene Bauweise mit Rohrvortrieb gewählt werden konnte. In das

Zwei-Schicht-Rohr aus Stahlbeton ist bzw. wird ein Rohrstrang aus Polypropylen DN 315 eingehängt, der die Abführung des kritischen Mischwasserabflusses gewährleisten soll.

Durch die größere Sensibilität des Untergrundes ist für die Kanalführung im dritten Bauabschnitt nach bisherigem Stand (November 2008) die Realisierung eines Kanals mit maximaler Nennweite von DN 700 geplant, der in einer Tiefe von rd. 2 m unter Gelände in offener Bauweise errichtet werden soll. Schächte werden zur Gewährleistung eines erhöhten Sicherheitsstandards mit einer mineralischen Kapselung versehen. Bezüglich der baulichen Detailausführung des Kanals sind noch nicht alle Details festgelegt. So wurde u.a. über die Art des Rohrwerkstoffes noch keine abschließende Entscheidung getroffen. Fest steht allerdings, dass zur Erfüllung der Forderungen des DWA-Arbeitsblattes A 142 (2002a) ein Rohrtyp mit erhöhtem Sicherheitsstandard zum Einsatz kommen wird.

Abb. 16 bis 24 zeigen Fotoaufnahmen der örtlichen Gegebenheiten im Wassergewinnungsgebiet Differten und der Realisierung des Hauptsammlers in den ersten beiden Bauabschnitten.

8.2 Anwendung und fallspezifische Entscheidungsfindung des Expertensystems im betrachteten Planungsbeispiel

Fallspezifische Erhebung und Bewertung

Nachfolgend werden die entwickelten Checklisten des Expertensystems zur Erhebung der zu bewertenden Ausgangs- und Planungssituation (vgl. Kap. 4.3) im Anwendungsbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt) entsprechend der dortigen räumlichen Gegebenheiten und des Planungsvorhabens dargestellt. Bei Erhebungspunkten, zu denen noch keine planerische Entscheidungen getroffen wurden, werden Annahmen getroffen.

Darauf aufbauend werden die fallspezifisch zutreffenden Ausprägungen und -verknüpfungen angeführt, welche die Zuweisung von Handlungsempfehlungen bedingen und in die Ein-

schätzung des Grundwassergefährdungspotenzials einfließen. Der Weg der Entscheidungsfindung wird durch eine verkürzte Darstellung der „Zuordnungstabelle Handlungsempfehlungen“ und der „Zuordnungstabelle Gefährdungseinschätzung“ dokumentiert (vgl. Kap. 6.1 und 6.2).

Auf Basis der erarbeiteten Textbausteine (vgl. Kap. 7.1 bis 7.3) wird das resultierende Abschlussgutachten formuliert, das die abschließende Aussage zum Grundwassergefährdungspotenzial und Empfehlungen zur Absicherung und Anpassung der Kanalplanung macht.

Tab. 15: Ausgangs- und Planungssituation im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten

Ausgangs- und Planungssituation Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt)

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
A	Angaben zum Abwasserkanalbauwerk		
1	Maximale Rohrenweite	1. bis DN/ID 400 2. bis DN/ID 800 3. bis DN/ID 1200 4. über DN/ID 1200	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Art des Abwasserkanals	1. Freispiegelleitung, Freispiegelkanal 2. Stauraumkanal 3. Druckleitung, Druckkanal 4. Unterdruckleitung, Unterdruckkanal	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	Maximale Gründungstiefe, Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle	1. bis 1,75 m 2. bis 4,0 m 3. über 4,0 m	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Haltungslänge, Schachtabstand	1. bis 70 m 2. bis 100 m 3. über 100 m	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	Linienführung	1. gerade 2. gekrümmt	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	Rohrtyp	1. Ein-Schicht-Rohre (z.B. Beton/Stahlbeton, Faserzement, Steinzeug, Gusseisen, Polymerbeton, Polyvinylchlorid, Polyethylen, Glasfaserverstärkter Kunststoff) 2. Zwei-Schicht-Rohre (z.B. Beton-/Stahlbeton mit integriertem Korrosionsschutz (Inliner/Auskleidung) aus Steinzeug, Polyvinylchlorid, Glasfaserverstärktem Kunststoff)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
7	Rohrverbindungstyp	1. Steckverbindung 2. Schweißverbindung	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	Baulänge der Kanalrohre	1. bis 4,0 m 2. über 4,0 m	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9	Art des Entwässerungssystems	1. Mischsystem 2. Trennsystem Modifiziertes System (Sonderverfahren): 3. – Modifiziertes Mischsystem 4. – Klein- oder Pflanzenkläranlagen 5. – Anordnung von Schmutzwasserkanälen in begehbaren Regen- oder Mischwasserkanälen	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
10	Abwassertechnische Bauwerke (ausgenommen Schächte)	1. im Wasserschutzgebiet vorgesehen, da erforderlich 2. im Wasserschutzgebiet nicht vorgesehen	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11	Art und Herkunft des Abwassers	1. häusliches Abwasser 2. (auch) nicht häusliches Abwasser	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12	Einbindungsart der Anschlussleitungen	1. direkter Anschluss an Hauptkanal 2. indirekter Anschluss an Schächte	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
13	Bedeutung des Abwasserkanals für das Entwässerungssystem	1. Straßenkanal (Sammler) mit geringer bis normaler Bedeutung 2. Hauptsammler (Ein-Kanal-System) mit übergeordneter Bedeutung 3. Hauptsammler (Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanal-System) mit übergeordneter Bedeutung	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
14	Schachtkonstruktion	1. Ortbetonschacht 2. einteiliger Fertigteilschacht 3. mehrteiliger Fertigteilschacht 4. Schacht-im-Schacht-System	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

B Angaben zum Bauablauf und zur Bauausführung			
15	Bauweise, Bauverfahrenstechnik	1. offene Bauweise (ohne Fräs- und Pflugverfahren) 2. Fräs- und Pflugverfahren 3. geschlossene Bauweise (mit oder ohne Einsatz von Stütz- und Förderflüssigkeiten)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16	Bettung, Leitungszone	1. körnige, ungebundene Baustoffe (z.B. Ein-Korn-Kies, Material abgestufter Körnung, Sand, Korngemische, gebrochene Baustoffe) 2. hydraulisch gebundene Baustoffe (z.B. stabilisierter Boden, Leichtbeton, Magerbeton) 3. keine zusätzliche künstliche Bettung	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
17	Bauzeit, Dauer der Baumaßnahme	1. wenige bis einige Wochen 2. einige bis mehrere Monate	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
18	Baustelleneinsrichtung	1. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ II und Umgang mit kritischen Stoffen außerhalb der Schutzzone 2. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ II; Umgang mit kritischen Stoffen mit Sondergenehmigung in der Schutzzone 3. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ III; Umgang mit kritischen Stoffen außerhalb der Schutzzone 4. Baustelle und Lagerplätze weitgehend innerhalb der WSZ III; Umgang mit kritischen Stoffen mit Sondergenehmigung in der Schutzzone 5. Baustelle und Lagerplätze weitgehend außerhalb des Wasserschutzgebietes	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
-----	--------------------	---	----------------------

C Angaben zum Wasserschutzgebiet und zur Wassergewinnung			
19	Lage im Wasserschutzgebiet, betroffene Wasserschutzzone	1. in Wasserschutzzone III 2. in Wasserschutzzone II und III 3. in Wasserschutzzone II (einschließlich eines allseitigen Sicherheitspuffers von 50 m um die Außengrenze der Zone II) 4. unter anderem auch in Wasserschutzzone I	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	Verlauf des Abwasserkanals	1. die betroffene Wasserschutzzone ist von einer relativ kurzen Kanalstrecke betroffen 2. die betroffene Wasserschutzzone ist von einer längeren Kanalstrecke betroffen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
21	Art der Wassergewinnungsanlagen	1. Tiefbrunnen 2. Quelfassungen (Quellschächte, Quellstollen, Quellstuben), Flachbrunnen oder Horizontalfilterbrunnen 3. sowohl als auch	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
22	Jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet	1. über 1 Million m³/a 2. unter 1 Million m³/a, allerdings über 100.000 m³/a 3. bis 100.000 m³/a	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
23	Nutzung vorhandener Brunnen als Abwehrbrunnen	1. Nutzung vorhandener (betriebener oder stillgelegter) Brunnen als Abwehrbrunnen ist denkbar 2. Nutzung vorhandener (betriebener oder stillgelegter) Brunnen als Abwehrbrunnen ist nicht möglich	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
24	Wertigkeit der Wassergewinnung, Besicherungsalternativen	1. Wassergewinnung mit hoher Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle möglich (Eigen- oder Fremdbesicherung) 2. Wassergewinnung mit höchster Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle nicht ausreichend oder nicht möglich 3. Wassergewinnung mit geringerer Bedeutung, Besicherung von anderer Stelle möglich. Dauerhafte Stilllegung der gefährdeten Wassergewinnung denkbar	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
25	Freie Grundwasserförderkapazitäten	1. vorhanden 2. nicht bzw. nicht ausreichend vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

D Angaben zur Geländesituation im Baubereich und Trassenumfeld			
26	Geländemorphologie, Hangneigung	1. Gelände kaum oder nur schwach reliefiert bzw. geneigt (<9 % bzw. <5°) 2. Gelände reliefiert bzw. mittel geneigt (9 bis 18 % bzw. 5 bis 10°) 3. Gelände stark reliefiert bzw. geneigt bis steil (>18 % bzw. >10°)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
27	Orientierung des Oberflächenabflusses	1. Oberflächenabfluss in relevantem Maß zur Baugrube hin 2. nicht in relevantem Maß zur Baugrube hin (davon weg oder großteilig parallel dazu orientiert)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
28	Flächenversiegelung	1. geringe Versiegelung (<30 %) (z.B. Offenland, Wald, Brache, aufgelockerte Siedlungen mit Einzel- und Reihenhausbauung) 2. mittlere Versiegelung (30 bis 70 %) (z.B. stärker verdichtete Siedlungen mit Einzel-, Reihen-, Hochhaus-, Blockrandbauung, aufgelockerte Gewerbe- und Industrieparks) 3. hohe Versiegelung (>70 %) (z.B. Blockbauung, verdichtete Gewerbe- und Industrieflächen)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
29	Zugänglichkeit, Platzsituation	1. problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse sind sichergestellt 2. problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse sind nicht bzw. nicht überall sichergestellt	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
30	Oberflächengewässer mit hydraulischem Einfluss	1. zwischen Abwasserkanal und Wassergewinnung ist ein Oberflächengewässer vorhanden, welches in der Lage ist, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen 2. ein entsprechendes Gewässer ist nicht vorhanden	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
31	Überschwemmungsgefahr	1. potenzielle Gefahr gegeben, dass der Baustellenbereich bzw. die Baugrube überflutet wird 2. entsprechende Gefahr kann ausgeschlossen werden	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
32	Setzungsgefahr	1. Bodensenkungen und -bewegungen vorhanden oder zu befürchten (natürlich oder anthropogen bedingt) z.B. durch Bergbau, Untergrundeigenschaften (Auslaugung, Quellung und Schrumpfung u.a.) 2. Bodensenkungen und -bewegungen sind nicht anzunehmen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

E Angaben zum Aufbau des Untergrundes			
33	Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten	1. bis zu 2 m 2. bis zu 10 m 3. bis über 10 m 4. keine bzw. vernachlässigbare Deckschichten aus Lockergestein vorhanden.	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
34	Lithologie der Lockergesteinsdeckschichten	1. kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn (Lockergesteinsdeckschichten vorwiegend rollig) 2. kiesige und/oder sandige Lockergesteinsdeckschichten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn (Lockergesteinsdeckschichten vorwiegend bindig) 3. schluffige und/oder tonige Lockergesteinsdeckschichten (Lockergesteinsdeckschichten bindig)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
35	Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten	1. bis 20 m 2. bis über 20 m 3. keine bzw. vernachlässigbare Deckschichten aus Festgestein vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
36	Lithologie der Festgesteinsdeckschichten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Festgesteinsdeckschichten aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen 2. Festgesteinsdeckschichten aus vorwiegend tonigen, mergeligen oder schluffigen Sedimentgesteinen 3. Festgesteinsdeckschichten aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
37	Horizontbeständige wasserstauende Schicht in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle	<ol style="list-style-type: none"> 1. zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle mindestens eine weiträumig und wirksam ausgebildete, horizontbeständige wasserstauende Schicht 2. zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert keine entsprechende Schicht 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
38	Klüftung	<ol style="list-style-type: none"> 1. relevante Klüftung in den Deckschichten 2. relevante Klüftung im Grundwasserleiter 3. relevante Klüftung in den Deckschichten und im Grundwasserleiter 4. relevante Klüftung weder in Deckschichten noch im Grundwasserleiter 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
39	Mächtigkeit des Grundwasserleiters	<ol style="list-style-type: none"> 1. einige Meter bis wenige Zehner Meter 2. mindestens mehrere Zehner Meter 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
40	Lithologie des Grundwasserleiters	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten ohne deutliche Beimengungen an feinerem Korn 2. Lockergesteinsgrundwasserleiter aus kiesigen und/oder sandigen Sedimenten mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn 3. Festgesteinsgrundwasserleiter aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen (z.B. Konglomerat, Sandstein) 4. Festgesteinsgrundwasserleiter aus Magmatiten, Metamorphiten oder Kalkgestein 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
41	Schichteinfallen im Trassenbereich	<ol style="list-style-type: none"> 1. in Richtung einer oder mehrerer Wassergewinnungsanlagen 2. von Wassergewinnungsanlagen weg 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

F Angaben zur Grundwassersituation			
42	Grundwasserstockwerke	<ol style="list-style-type: none"> 1. verschiedene Grundwasserstockwerke sind vorhanden 2. verschiedene Grundwasserstockwerke sind nicht vorhanden 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
43	Förderung und Baumaßnahme im gleichen Grundwasserstockwerk	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme im gleichen Grundwasserstockwerk 2. Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme nicht im gleichen Grundwasserstockwerk 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
44	Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel	<ol style="list-style-type: none"> 1. bis zu 5 m 2. bis zu 20 m 3. bis über 20 m 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Nr.	Abwägungskriterium	Kriteriumsausprägung nach Differenzierung	Gefährdungsbewertung
45	Grundwasserstand im Verhältnis zur Kanalsohle	<ol style="list-style-type: none"> Grundwasserspiegel oberhalb der Kanalsohle Grundwasserspiegel unterhalb der Kanalsohle 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
46	Hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter	<ol style="list-style-type: none"> gespannt halbgespannt oder halbungespannt ungespannt 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
47	Grundwasserbeschaffenheit, Qualitätsveränderungen	<ol style="list-style-type: none"> stoffliche Sensibilisierungen oder Belastungen im Grundwasser vorhanden relevante Trübungen und/oder Sedimentförderung im geförderten Grundwasser gegeben, welche nicht auf Fehler beim Ausbau der Gewinnungsanlage zurückzuführen sind sowohl also auch keine nennenswerten Auffälligkeiten 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
48	Oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge	<ol style="list-style-type: none"> relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser gegeben relevante oberflächenbürtige oder -nahe Stoffeinträge in das Grundwasser nicht gegeben 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

G Angaben zum Informationsstand und zur Qualität der Datenkenntnisse			
49	Angaben zum räumlichen Untergrundaufbau und zu Vertikaldrainagen	<ol style="list-style-type: none"> Informationen ausreichend gut und/oder belastbare Analogieschlüsse zu vergleichbaren Raumbereichen möglich Informationen nur teilweise bzw. nicht ausreichend gut und keine ausreichend belastbaren Analogieschlüsse möglich 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
50	Angaben zu Pumpversuchsergebnissen	<ol style="list-style-type: none"> belastbare, ausreichend dokumentierte sowie reproduzierbare Ergebnisse liegen vor Pumpversuchsergebnisse liegen nicht bzw. in nicht ausreichender, nicht belastbarer und/oder nicht repräsentativer Art vor 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
51	Angaben zu Tracertests	<ol style="list-style-type: none"> Tracertests sind erfolgt, Ergebnisse liegen vor und sind nutzbar Tracertests wurden nicht durchgeführt bzw. erfolgte Versuche sind für die vorliegenden Betrachtungen nicht nutzbar bzw. passgenau 	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
52	Angaben zu Strömungsbetrachtungen	<ol style="list-style-type: none"> gesichertes Strömungsmodell mit belastbaren Ergebnissen liegt vor entsprechendes Strömungsmodell liegt nicht vor 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
53	Angaben zu Kontrolluntersuchungen an Wassergewinnungsanlagen	<ol style="list-style-type: none"> auf die Ergebnisse von Kontrolluntersuchungen optischer und/oder geophysikalischer Art, welche die aktuelle Situation an Gewinnungsanlagen bzw. im Untergrund wiedergeben bzw. abschätzen lassen, kann zurückgegriffen werden auf entsprechende Ergebnisse kann nicht zurückgegriffen werden 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
54	Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers	<ol style="list-style-type: none"> ausreichende und belastbare Angaben liegen vor entsprechende Angaben liegen nicht oder nicht ausreichend vor 	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Aus der Erhebung der bewertungsrelevanten Ausprägungen, d.h. der fallspezifischen Beantwortung der thematischen Checklisten zur Formalisierung der vom Expertensystem zu bewertenden Ausgangs- und Planungssituation im Anwendungsbeispiel Hauptsammler Wadgas-

sen-Differten (dritter Bauabschnitt) gehen nachfolgende Kriteriumsausprägungen als zutreffend hervor. Sie bilden die Grundlage für die weiteren systeminternen Verknüpfungen und Zuordnungen und damit die qualitativen Aussagen und Empfehlungen:

Tab. 16: Übersicht über die zutreffenden Kriteriumsausprägungen im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten

Formalisierte Ausgangs- und Planungssituation Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt)					
1 ²	2 ¹	3 ²	4 ¹	5 ¹	6 ²
7 ¹	8 ¹	9 ¹	10 ¹	11 ¹	12 ¹
13 ²	14 ¹	15 ¹	16 ¹	17 ²	18 ¹
19 ³	20 ²	21 ¹	22 ¹	23 ¹	24 ¹
25 ¹	26 ¹	27 ²	28 ¹	29 ²	30 ²
31 ¹	32 ²	33 ²	34 ²	35 ¹	36 ¹
37 ²	38 ²	39 ²	40 ³	41 ²	42 ²
43 ¹	44 ¹	45 ²	46 ¹	47 ⁴	48 ²
49 ¹	50 ¹	51 ²	52 ¹	53 ¹	54 ¹

Aus diesen Kriteriumsausprägungen resultieren folgende relevante Ausprägungen und Ausprägungsverknüpfungen, welche als Schlüsselaus-

prägungen (vgl. Tab. 11) im Hinblick auf die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von Bedeutung sind.

Tab. 17: Schrittweise Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten

Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt)				
GE 1: Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers				
Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
1 + 11 + 13		1 ² + 11 ¹ + 13 ²		
2				
6 + 11		6 ² + 11 ¹		
9 + 19				
Bewertung ihres Zusammenwirkens:				
(1 ² + 11 ¹ + 13 ²) + (-) + (6 ² + 11 ¹) + (-)				
Risiko weniger hoch (GE 1 _A)				

GE 2: Gefährdungsrisiko durch Entwässerungssystem und abwassertechnische Bauwerke

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
9				
10				
10 + 19				$10^1 + 19^3$

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(-) + (-) + (10^1 + 19^3)$$

Risiko besonders hoch (GE 2c)

GE 3: Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehllanschlüssen am Abwasserkanal

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
1 + 4			$1^2 + 4^1$	
2 + 45			$2^1 + 45^2$	
4 + 14			$4^1 + 14^1$	
7 + 32			$7^1 + 32^2$	
8 + 32			$8^1 + 32^2$	
9 + 11				
12				

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(1^2 + 4^1) + (2^1 + 45^2) + (4^1 + 14^1) + (7^1 + 32^2) + (8^1 + 32^2) + (-) + (-)$$

Risiko besonders hoch (GE 3c)

GE 4: Risiko des Nichterkennens von Kanalschäden bzw. durch eine erschwerte Kanalinspektion und -sanierung

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
1 + 4		$1^2 + 4^1$		
2				
9				
9 + 12				

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(1^2 + 4^1) + (-) + (-) + (-)$$

Risiko weniger hoch (GE 4c)

GE 5: Risiko einer Stoffdrainage entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
15 + 16				
16				
16 + 26				
16 + 34 + 38 + 45			$16^1 + 34^2 + 38^2 + 45^2$	
16 + 36 + 38 + 45			$16^1 + 36^1 + 38^2 + 45^2$	
16 + 45			$16^1 + 45^2$	
37 + 41				
37 + 48				

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(-) + (-) + (-) + (16^1 + 34^2 + 38^2 + 45^2) + (16^1 + 36^1 + 38^2 + 45^2) + (16^1 + 45^2) + (-) + (-)$$

Risiko besonders hoch (GE 5c)

GE 6: Gefährdung durch bauliche Eingriffe in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
3				
3 + 15			$3^2 + 15^1$	
15				
15 + 19				$15^1 + 19^3$
15 + 45			$15^1 + 45^2$	
17			17^2	

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(-) + (3^2 + 15^1) + (-) + (15^1 + 19^3) + (15^1 + 45^2) + 17^2$$

Risiko besonders hoch (GE 6c)

GE 7: Risiko durch Positionierung und Einrichtung der Baustelle

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
18			18 ¹	
29				29 ²
32				

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$18^1 + 29^2 + (-)$$

Risiko besonders hoch (GE 7c)

GE 8: Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
15 + 27				
26 + 27 + 28				
27		27 ²		
27 + 28				
31				31 ¹

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(-) + (-) + 27^2 + (-) + 31^1$$

Risiko hoch (GE 8b)

GE 9: Sensibilität der Wassergewinnung und Schutzstatus des zu durchleitenden Raumes

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:

	(--)	(-)	(+)	(++)
19 + 20				19 ³ + 20 ²
24		24 ¹		
24 + 25				

Bewertung ihres Zusammenwirkens:

$$(19^2 + 20^2) + 24^1 + (-)$$

Sensibilität hoch (GE 9b)

GE 10: Sensibilität des Grundwassers im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
24 + 47				
30				
42 + 43				$42^2 + 43^1$
45				
47	47^4			

Bewertung ihres Zusammenwirkens:	
$(-) + (-) + (42^2 + 43^1) + (-) + 47^4$	
Sensibilität hoch (GE 10_B)	

GE 11: Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
21 + 22 + 39 + 40			$21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^3$	
38 + 39 + 40			$38^2 + 39^2 + 40^3$	

Bewertung ihres Zusammenwirkens:	
$(21^1 + 22^1 + 39^2 + 40^3) + (38^2 + 39^2 + 40^3)$	
Sensibilität besonders hoch (GE 11_c)	

GE 12: Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
11 + 48				
33				
33 + 34	$33^3 + 34^2$			
35 + 36 + 38				$35^1 + 36^1 + 38^2$
37 + 48				
46 + 48		$46^1 + 48^2$		

Bewertung ihres Zusammenwirkens:	
$(-) + (-) + (33^3 + 34^2) + (35^1 + 36^1 + 38^2) + (-) + (46^1 + 48^2)$	
Sensibilität weniger hoch (GE 12_A)	

GE 13: Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal

Fallspezifisch zutreffende Schlüsselausprägungen:				
	(--)	(-)	(+)	(++)
16				
(3 + 33 + 35 + 45) + (33 + 34)		(3 ² + 33 ² + 35 ¹ + 45 ²) + (33 ² + 34 ²)		
(3 + 33 + 35 + 45) + (35 + 36 + 38)				
44 + 45			44 ¹ + 45 ²	
45				

Bewertung ihres Zusammenwirkens:	
(-) + [(3 ² + 33 ² + 35 ¹ + 45 ²) + (33 ² + 34 ²)] + (-) + (44 ¹ + 45 ²) + (-)	
Sensibilität hoch (GE 13_B)	

Aus den Sensibilitäts- und Risikobetrachtungen der Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen für den Beispielfall Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt) geht damit folgende Wertungsverteilung hervor:

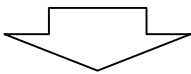
- ⇒ **3 x** die Risiko- und Sensibilitätsbewertung **weniger hoch**,
- ⇒ **4 x** die Risiko- und Sensibilitätsbewertung **hoch**,
- ⇒ **6 x** die Risiko- und Sensibilitätsbewertung **besonders hoch**.

Aus der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Bewertungsergebnisse lässt sich auf Grundlage der entwickelten Zuordnungsmatrix (vgl. Tab. 10) das gesamtheitliche Grundwassergefährdungspotenzial der geplanten Kanalbaumaßnahme im Bereich der Schutzzone II des Wassergewinnungsgebietes Differten einschätzen.

Dies führt zu dem gesamtheitlichen Bewertungsergebnis (vgl. Tab. 18):

**Grundwassergefährdungspotenzial
besonders hoch**

Tab. 18: Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten

Grundwassergefährdungspotenzial Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt)			
Risiko- und Sensibilitätsbewertung der 13 Kombinationsgruppen von Schlüsselausprägungen			Grundwasser- gefährdungs- potenzial 
weniger hoch (GE ... A)	hoch (GE ... B)	besonders hoch (GE ... C)	
≤ 4 x	≥ 3 x	6 x	besonders hoch (GE C)

Abschließendes Kurzgutachten

Aus den vorangegangenen fallspezifischen Betrachtungen resultiert das abschließende, automatisiert erstellte Kurzgutachten, welches sich aus den zutreffenden Textbausteinen aufbaut (vgl. Tab. 12, Tab. 13 und Tab. 14). Es beinhaltet in einem ersten Teil eine vereinfachte, zusammenfassende Darstellung der Ausgangs- und Planungssituation auf Grundlage der fallspezifischen Beantwortung der Erhebungsfragen (vgl. Tab. 16) und erläutert in einem zweiten Teil die Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials, welche aus der Kombination

im Einzelfall zutreffender Schlüsselausprägungen hervorgeht (vgl. Tab. 17). Aus dem Zutreffen bestimmter Kriteriumsausprägungen und deren Verknüpfung resultieren auch die Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der Kanalbauplanung und Maßnahmendurchführung als dem dritten und abschließenden Teil des Kurzgutachtens. In der Softwareumsetzung des Expertensystems würde das Kurzgutachten vollautomatisiert erstellt.

Das Kurzgutachten für den Beispielfall Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt) hat damit folgende Form:

Tab. 19: Abschließendes Kurzgutachten für das Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten mit Zusammenstellung der Ergebnisaussagen des Expertensystems

G R A B W A S
Kurzgutachten zum Planungsvorhaben Hauptsammler Wadgassen-Differten
<p>Ausgangs- und Planungssituation</p> <p>Die geplante Abwasserkanalbaumaßnahme stellt sich wie folgt dar:</p> <p>Die maximale Rohrmennweite des Abwasserkanals wird nicht mehr als DN/ID 800 betragen. Bei dem geplanten Abwasserkanal handelt es sich um eine Freispiegelleitung bzw. einen Freispiegelkanal. Die maximale Gründungstiefe bzw. die Tiefenlage der Graben- bzw. Bohrlochsohle liegt unter 4,0 m. Haltungslänge bzw. Schachtabstand betragen nicht mehr als 70 m. Der Abwasserkanal soll in gerader Linienführung verlegt werden. Es sind Zwei-Schicht-Rohre, z.B. Beton-/Stahlbetonrohre mit integriertem Korrosionsschutz (Inliner/Auskleidung) aus Steinzeug, Polyvinylchlorid, Glasfaserverstärktem Kunststoff, vorgesehen. Als Rohrverbindungstyp sollen Steckverbindungen zum Einsatz kommen. Die Baulänge der Kanalrohre liegt bei maximal 4,0 m. Bei dem geplanten Entwässerungssystem handelt es sich um ein Mischsystem mit gemeinsamer Ableitung von Schmutz- und Regenwasser. Innerhalb des Wasserschutzgebietes sind außer Schächten weitere, zwingend erforderliche abwassertechnische Bauwerke vorgesehen. Bei dem abzuleitenden Abwasser wird es sich ausschließlich um häusliches Abwasser handeln. Anschlussleitungen sollen direkt an den Hauptkanal angeschlossen werden. Der Abwasserkanal wird als Hauptsammler eine übergeordnete Bedeutung für das Entwässerungssystem besitzen. Er soll als Ein-Kanal-System realisiert werden.</p> <p>Der Abwasserkanal soll in offener Bauweise errichtet werden. Als Kanal- bzw. Leitungsbettung sollen körnige, ungebundene Baustoffe wie z.B. Ein-Korn-Kies, Material gestufter Körnung, Sand oder gebrochene Baustoffe verwendet werden. Die Baumaßnahme wird im Wasserschutzgebiet voraussichtlich einige bis mehrere Monate dauern. Baustelle und Lagerplätze werden weitgehend innerhalb der Wasserschutzzone II liegen. Der Umgang mit kritischen Stoffen erfolgt außerhalb der Schutzzone.</p> <p>Die geplante Abwasserdurchleitung wird nur die Wasserschutzzone II betreffen, wobei ein allseitiger Sicherheitspuffer von 50 m um die Außengrenze der Wasserschutzzone II mit eingeschlossen wird. Die Wasserschutzzone/n wird/werden von einer längeren Kanalstrecke durchzogen werden. Im Wasserschutzgebiet erfolgt die Grundwassergewinnung aus Tiefbrunnen. Die jährliche Grundwasserentnahme im Wasserschutzgebiet liegt bei über 1 Million m³. Eine Nutzung vorhandener, d.h. betriebener oder stillgelegter Brunnen als Abwehrbrunnen ist denkbar. Die Wassergewinnung besitzt eine hohe Bedeutung. Eine Besicherung von anderer Stelle ist möglich (Eigen- oder Fremdbesicherung). Freie Grundwasserförderkapazitäten sind vorhanden, welche eine Verlagerung der Wassergewinnung erlauben bzw. eine veränderte Betriebsweise von Gewinnungsanlagen ermöglichen.</p> <p>Das Gelände im Bereich der geplanten Trassenführung ist kaum oder nur schwach reliefiert bzw. geneigt. Der Oberflächenabfluss orientiert sich nicht in relevantem Maß zur Baugrube hin, d.h. davon weg oder großteils parallel dazu. Im Trassenumfeld ist die Flächenversiegelung vergleichsweise gering wie z.B. bei Offenland, Wald, Brache, aufgelockerten Siedlungen mit Einzel- und Reihenhausbauung. Problemlose Zugänglichkeit und ausreichende Platzverhältnisse im Baubereich sind nicht bzw. nicht überall sichergestellt. Zwischen dem geplanten Abwasserkanal und der Wassergewinnung ist kein Oberflächengewässer vorhanden, welches in der Lage wäre, kanal- oder baustellenbürtige Stoffeinträge abzufangen. Es besteht die potenzielle Gefahr, dass der Baubereich bzw. die Baugrube während der Maßnahmenumsetzung überflutet wird. Bodensenkungen und -bewegungen können ausgeschlossen werden.</p> <p>Die Mächtigkeit der Lockergesteinsdeckschichten erreicht bis zu 10 m. Die Lockergesteinsdeckschichten zeigen sich kiesig und/oder sandig mit erheblichen Anteilen an feinerem Korn. Die Mächtigkeit der Festgesteinsdeckschichten beträgt bis zu 20 m. Die Festgesteinsdeckschichten bauen sich aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen auf. Zwischen Kanal und Grundwasserleiter existiert in geringem Abstand unterhalb der Kanalsohle keine weiträumig und wirksam ausgebildete, horizontbeständige wasserstauende Schicht. Eine relevante Klüftung des Grundwasserleiters ist vorhanden. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt mindestens mehrere Zehner Meter. Es handelt sich um einen Festgestein Grundwasserleiter aus vorwiegend sandigen bzw. konglomeratischen Sedimentgesteinen (z.B. Konglomerat, Sandstein). Das Schichteinfallen im Trassenbereich erfolgt von den Wassergewinnungsanlagen weg.</p>

Es lassen sich keine verschiedenen Grundwasserstockwerke voneinander abgrenzen. Kanalbaumaßnahme und Grundwasserentnahme werden im gleichen Grundwasserstockwerk stattfinden. Der Vertikalabstand zwischen Abwasserkanal und Grundwasserspiegel beträgt bis zu 5 m. Der Grundwasserspiegel befindet sich unterhalb der Kanalsohle. Die hydraulische Drucksituation im genutzten Grundwasserleiter ist gespannt. Im genutzten Grundwasser können bislang keine nennenswerten Auffälligkeiten bezüglich der Grundwasserbeschaffenheit und etwaigen Qualitätsveränderungen festgestellt werden. Relevante oberflächenbürtige oder oberflächennahe Stoffeinträge in das Grundwasser sind nicht gegeben.

Informationen zum räumlichen Untergrundaufbau und zu Vertikaldrainagen sind ausreichend gut und/oder belastbare Analogieschlüsse zu vergleichbaren Raumbereichen möglich. Belastbare, ausreichend dokumentierte sowie reproduzierbare Ergebnisse zu durchgeführten Pumpversuchen im Wassergewinnungsgebiet liegen vor. Tracertests wurden nicht durchgeführt bzw. erfolgte Versuche sind für die vorliegenden Betrachtungen nicht nutzbar bzw. passgenau. Ein gesichertes Strömungsmodell mit belastbaren Ergebnissen liegt vor. Auf die Ergebnisse von Kontrolluntersuchungen optischer und/oder geophysikalischer Art, welche die aktuelle Situation an Gewinnungsanlagen bzw. im Untergrund wiedergeben bzw. abschätzen lassen, kann zurückgegriffen werden. Angaben zur hydrochemischen Entwicklung des genutzten Grundwassers liegen in ausreichendem und belastbarem Umfang vor.

Bewertung der Risiken und Sensibilitäten und Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials

Die fallspezifischen Risiken und Sensibilitäten werden wie folgt bewertet:

Die Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers wird als weniger hoch eingeschätzt. Das systemimmanente Gefährdungsrisiko durch das vorgesehene Entwässerungssystem und etwaig erforderliche abwassertechnische Bauwerke ist als besonders hoch einzustufen. Das Risiko des Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal wird als besonders hoch erachtet. Die Gefahr des Nichterkennens von Kanalschäden sowie das Risiko durch eine erschwerte Kanalinспекtion und -sanierung sind weniger hoch.

Das Risiko, dass es zu Stoffdrainagen entlang der Kanaltrasse oder im darunter liegenden, kanalnahen Untergrund kommt, wird als besonders hoch eingestuft. Von Eingriffen in den Untergrund während der Errichtung des Abwasserkanals geht ein besonders hohes Gefährdungsrisiko aus. Das aus der geplanten Positionierung und Einrichtung der Baustelle resultierende Gefährdungsrisiko wird als besonders hoch eingeschätzt. Das Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser ist hoch.

Die Sensibilität der Wassergewinnung und der von der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzzone ist als hoch einzustufen. Im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als hoch angesehen. Die Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung ist besonders hoch. Betreffend etwaiger Stoffeinträge von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe wird die Sensibilität des genutzten Grundwassers als weniger hoch bewertet. Gegenüber Stoffeinträgen aus dem Kanal ist die Sensibilität des Grundwassers als hoch einzuschätzen.

Hieraus resultiert folgende gesamtheitliche Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials:

Nach Bewertung der Gesamtsachlage und der die geplanten Abwasserkanalbaumaßnahme betreffenden räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation muss von einem **besonders hohen Gefährdungspotenzial für das Grundwasser** ausgegangen werden.

Es bestehen in erhöhtem Maße Risiken und Sensibilitäten, welche die Grundwassergefährdung kritisch verschärfen. Es wird dringend empfohlen, die Planung in wesentlichen Punkten zu überdenken, um das Gefährdungspotenzial für das genutzte Grundwasser zu reduzieren. Sollte der Abwasserkanal wie beabsichtigt realisiert werden, wird es als dringend erforderlich angesehen, ein Rohrsystem mit höchstem Sicherheitsstandard zu verwenden (doppelwandiges Rohrsystem mit Möglichkeit der Lecküberwachung, ggfs. kontinuierliche Lecküberwachung, sofern umsetzbar und nicht bereits geplant: Unterdrucksystem).

Handlungsempfehlungen zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Kanalbauplanung

Im Hinblick auf eine etwaige Verringerung der potenziellen Grundwassergefährdung werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

Die vorgesehene Tiefenlage der Kanalführung sollte dringend überdacht werden. Es ist zu überprüfen, ob eine weniger Tiefe Kanalführung möglich ist, um die erforderlichen baulichen Eingriffe in den Untergrund und damit das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser zu verringern. Die vorgesehene Schachtkonstruktion ist zu überdenken. Es sind Schachtkonstruktionen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen vorzusehen. Einteilige Schachtsysteme und Schacht-in-Schacht-Systeme reduzieren das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser. Sollte trotz des erhöhten Risikos von Undichtigkeiten an Fugenverbindungen eine Verwendung mehrteiliger Schächte beabsichtigt sein, ist eine mineralische Kapselung der Schachtbauwerke in Betracht zu ziehen. Sind Ortbetonschächte beabsichtigt, ist darauf zu achten, dass es zu einer adäquaten Bauausführung ohne etwaige Undichtigkeiten kommt.

Der geplante Rohrverbindungstyp sollte überdacht werden. Dadurch kann das Gefährdungsrisiko für das Grundwasser gegebenenfalls herabgesetzt werden. Sollten Schweißverbindungen bei biegeweichen Rohren (PEHD) beabsichtigt werden, kann der geplante Rohrverbindungstyp beibehalten werden. Die beabsichtigte Baulänge der Rohre ist zu überdenken. Es wird empfohlen zu überprüfen, ob größere Baulängen möglich sind. Diese würden das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser verringern. Das Einleiten von Abwasser über Regenüberläufe in einen Vorfluter ist besonders problematisch. Eine komplette Mischwasserspeicherung oder -behandlung vor Einleitung innerhalb des Wassergewinnungsgebietes wird erforderlich. Eine uneingeschränkte Mischwasserspeicherung bedingt den Bau von Rückhaltebecken anstelle von Regenüberläufen. Dies ist in der Planung zu berücksichtigen. Die vorgesehene Einbindungsart der Anschlussleitungen an den Abwasserkanal innerhalb des Wasserschutzgebietes sollte überprüft werden. Ein indirekter Anschluss an Schächte würde das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser herabsetzen.

Abwassertechnische Bauwerke erhöhen das Grundwassergefährdungspotenzial. Kann auf eine Errichtung entsprechender Anlagen innerhalb des Wasserschutzgebietes im Ausnahmefall nicht verzichtet werden, sind diese so auszuführen, dass Eingriffe in den Untergrund auf ein Mindestmaß reduziert werden und möglichen Einflussnahmen auf das Grundwasser z.B. durch besondere Abdichtungen, mineralische Kapselung, gesicherte Schmutzwasserableitung u.a. vorgebeugt wird. Es sollte geprüft werden, ob der Hauptsammler als Doppel-, Geteiltes-Ein- oder Zwillingskanalsystem realisiert werden kann, wodurch gegebenenfalls die erforderliche Grabentiefe verringert werden könnte und vor allem eine vereinfachte Inspektion, Reparatur und Sanierung möglich wäre. Sollte die Wassergewinnung während der Kanalbaumaßnahme weiterbetrieben werden, sind Vorsorgemaßnahmen zu treffen, d.h. z.B. Trübemelder einzubauen, um Veränderungen der Feinsedimentfracht im zufließenden Grundwasser rechtzeitig zu erkennen und dadurch Folgeschäden zu verhindern. Innerhalb der Bettungszone sind Tonsperren zur Verhinderung von Längsdrainagen entlang der Leitungszone vorzusehen. Über hydraulisch gebundene Baustoffe in der gesamten Leitungszone ist nachzudenken.

Wechselnde Witterungseinflüsse während der Bauphase wie z.B. sommerliche Starkregen, winterlicher Frost, Schnee oder Frühjahrs-hochwasser sind insbesondere bei längeren Baumaßnahmen in der Planung zu berücksichtigen. Vorsorgeplanungen sind vorzuhalten, die Angaben dazu machen, wie entsprechenden Einflüssen begegnet werden kann und was im Notfall zu veranlassen ist, sollte es z.B. zum Überfluten der Baugrube bzw. zu Vorfällen kommen, welche den Baubetrieb hemmen oder zeitweilig zum Erliegen bringen können. Besonders risikobehaftete Teile der Baustelle wie z.B. Materiallager- und Maschinenstandplätze sind dringend aus der betroffenen Wasserschutzzone hinaus zu verlagern und nach Möglichkeit außerhalb des Wasserschutzgebietes einzurichten.

Wassergewinnungsgebiet und Gewinnungsanlagen besitzen eine hohe Wertigkeit für die Wasserversorgung. Es ist besondere Vorsicht bei der Durchführung der Baumaßnahmen geboten. Es ist zu prüfen, ob und unter welchen Randbedingungen (z.B. Förderleistung, Förderdauer) vorhandene Brunnen im Bedarfsfall als Abwehrbrunnen genutzt werden könnten. Entsprechende Planungen sind vorzuhalten. Vorsorgeplanungen zur Umstellung bzw. Verlagerung der Wasserversorgung sind zu erarbeiten, aus denen hervorgeht, wie der Trinkwasserbedarf aufrecht erhalten werden kann, sollte es zu einer Beeinflussung des Grundwassers kommen und eine zeitweilige Außerbetriebnahme der Gewinnungsanlagen im von der Baumaßnahme bzw. der Abwasserdurchleitung betroffenen Wasserschutzgebiet notwendig werden. Es ist zu prüfen, inwieweit Veränderungen bzw. Umstellungen der Nutzung bzw. Betriebsweise der Gewinnungsanlagen die potenzielle Gefährdung des genutzten Grundwassers durch z.B. eine Veränderung von Einzugsbereichen oder der Aufenthaltszeit des Grundwassers im Untergrund verringern könnten.

Es wird empfohlen, einen befestigten sowie ausreichend dimensionierten Baustellenbereich mit entsprechend ausgebauter und stabilerer Zuwegung für alle zum Einsatz kommenden Fahrzeuge, Maschinen und Gerätschaften einzurichten. Etwaig wechselnde Witterungsverhältnisse sind dabei zu berücksichtigen. Vorsorgemaßnahmen gegen ein Überfluten der Baugrube und zur Gewährleistung der Standsicherheit einzusetzender Maschinen und Fahrzeugen sind zu berücksichtigen. Eine Beweissicherung an den Gewinnungen ist vor Maßnahmenbeginn durchzuführen, um Auswirkungen des Baus oder Betriebs des Kanals auf das Grundwasser zu erkennen. Sie sind u.a. dahingehend auszuwerten, ob sie Aussagen zur Vorbelastung, Strömung sowie Anfälligkeit des Grundwassers gegenüber Stoffzutritten machen.

Vorliegende planungsrelevante Detailkenntnisse u.a. zum Untergundaufbau sowie zur hydrogeologischen Situation im Wasserschutzgebiet einschließlich zu diesbezüglich wichtigen Pump- und Markierungsversuchen, Strömungsbetrachtungen und Trendreihen zur qualitativen Grundwasserentwicklung sind, soweit solche vorhanden und nutzbar sind, in der Kanalbauplanung mit zu berücksichtigen. Es sollte überprüft werden, inwiefern Strömungsbetrachtungen, z.B. über Markierungsversuche und/oder ein Grundwasserströmungsmodell den räumlichen Kenntnisstand im Hinblick auf die gegebene hydrogeologische Situation im Wasserschutzgebiet erweitern können und mit vertretbarem technischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand umsetzbar sind.

8.3 Bewertung der vom Expertensystem gelieferten Ergebnisse im Fallbeispiel Haupt-sammler Wadgassen-Differten

Bewertung der gelieferten Ergebnisse

Die vom Expertensystem GRABWAS gelieferte gesamtheitliche Einschätzung des Grundwasser-gefährdungspotenzial im Fallbeispiel „Haupt-sammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt)“ wird als „besonders hoch“ eingestuft (vgl. Kap. 8.2). Diese Bewertung resultiert aus der Tatsache, dass sechs der insgesamt 13 betrachteten Kombinationsgruppen von Schlüssel-ausprägungen besonders hohe Risiken und Sensibilitäten belegen, welche aus dem fallspezifischen Zutreffen entsprechend zugeordneter und miteinander interagierender Kriteriums-ausprägungen hervorgehen. Dies macht die Zuweisung eines entsprechenden Bewertungsurteils zwingend erforderlich.

Abb. 24 stellt die Verteilung der Risiko- und Sensibilitätseinschätzungen, aus denen sich das gesamtheitliche Grundwasser-gefährdungspotenzial ableitet, in einer Abbildung zusammen.

Sowohl das Gefährdungsrisiko durch das Entwässerungssystem und etwaige abwassertech-

nische Bauwerke wie auch das Risiko eines Auftretens von Undichtigkeiten und Fehlschlüssen am Abwasserkanal werden als besonders hoch eingestuft. Selbiges gilt für das Risiko einer Stoffdrainage entlang der Kanaltrasse bzw. im kanalnahen Untergrund. Bedingt werden diese Einschätzungen u.a. durch die geplante Ausführung von Haupt-sammler und Bettung sowie den Aufbau und die Eigenschaften des Untergrundes im Trassenumfeld.

Das Risiko einer Gefährdung des Grundwassers durch bauliche Eingriffe in den Untergrund während der Bauphase wird insbesondere durch die geplante offene Bauweise und die lange Dauer der Maßnahmen, insbesondere aber auch durch die Durchleitung einer Wasserschutzzone II ebenfalls als besonders hoch bewertet, was in gleicher Weise für das Risiko durch die Positionierung und Einrichtung der Baustelle gilt. Die Sensibilität des Grundwasserleiters bezüglich einer dortigen Stoffausbreitung und Retardierung wird durch das hydrogeologische Inerscheintreten des Mittleren Buntsandsteins und dessen zumeist vergleichsweise nur gerin-

ge Retardierungsleistung gleichsam als besonders hoch angesehen.

Geringer, aber dennoch hoch ist das Risiko durch zum Baubereich zutretendes, insbesondere in die Baugrube eintretendes Oberflächenwasser einzustufen. Die in der Bistau potenziell gegebene Überschwemmungsgefahr wird durch das flache Geländere relief im Trassenumfeld verringert, das ein rechtzeitiges Handeln z.B. bei sich ankündigenden Abflussspitzen im Vorfluter ermöglicht.

Sensibilität der Wassergewinnung und Schutzstatus des zu durchleitenden Raumes werden ebenfalls als hoch eingestuft. Trotz der vorgesehenen Durchleitung einer Wasserschutzzone II über eine vergleichsweise lange Distanz erfolgt die Zuweisung einer hohen Sensibilität nur daher nicht, weil trotz der hohen Bedeutung der Wassergewinnung eine Besicherung von anderer Stelle her denkbar ist. Hoch wird auch die Sensibilität des Grundwassers im Hinblick auf Vorbelastungen und Beschaffenheitsveränderungen bewertet sowie die Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen aus dem Abwasserkanal.

Lediglich das von der Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers ausgehende Risiko wird

durch die Tatsache, dass das abzuführende Abwasser ausschließlich häuslicher Herkunft sein wird, der Hauptsammler im betrachteten Bauabschnitt mit einer Rohrmennweite von maximal DN 700 realisiert werden soll sowie die vorgesehenen Zwei-Schicht-Rohre als weniger hoch bewertet, wie im Übrigen sonst nur noch das Risiko eines etwaigen Nichterkennens von Kanalschäden und einer erschwerten Kanalspektion sowie die Sensibilität des genutzten Grundwassers gegenüber Stoffeinträgen von der Geländeoberfläche her bzw. aus Oberflächennähe. Letztere Einstufung wird dadurch bedingt, dass der Abwasserkanal weitestgehend innerhalb des Auenkörpers verlegt werden soll und damit eine gewisse natürliche Abschirmung des Grundwassers im Mittleren Buntsandstein besteht, in dem von gespannten Grundwasserdruckverhältnissen ausgegangen wird.

Einschätzung der Belastbarkeit des Ergebnisses

Die vom Expertensystem gelieferten Ergebnisse spiegeln die u.a. seitens des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz geäußerten Bedenken (vgl. Kap. 8.1) wider und belegen eine ähnliche, tendenziell gleiche Bewertung der Ausgangslage und der geplanten Kanalbaumaßnahme innerhalb der Wasserschutzzone II des

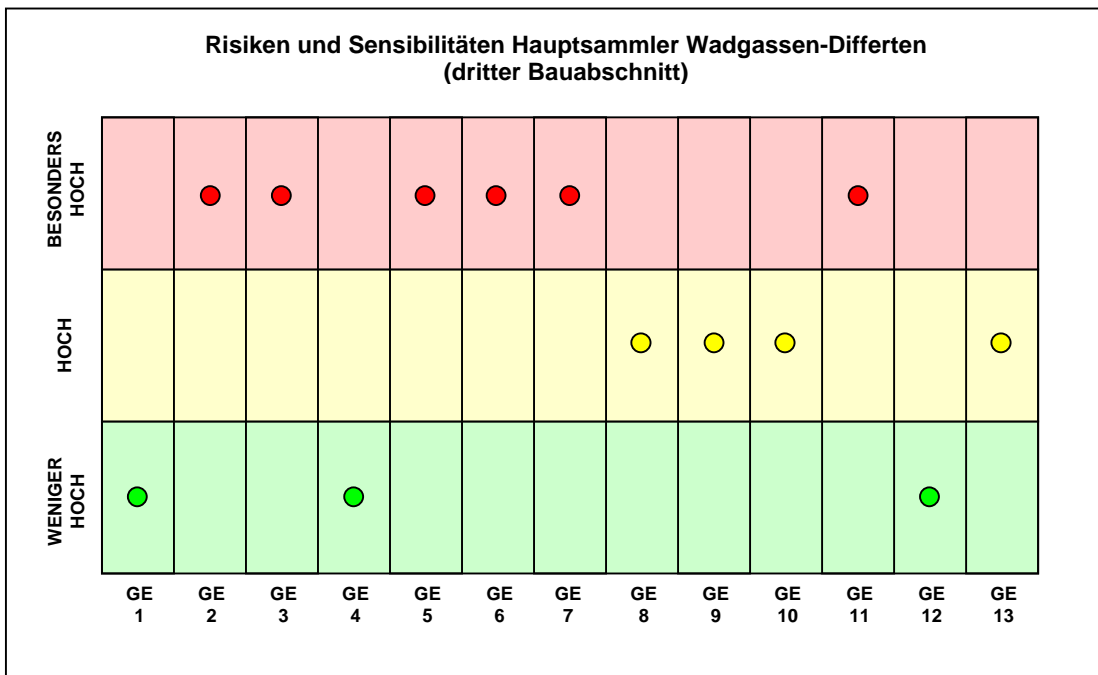


Abb. 24: Risiken und Sensibilitäten im Fallbeispiel Hauptsammler Wadgassen-Differten (dritter Bauabschnitt)

Wassergewinnungsgebietes Wadgassen-Differten. Nach Bewertung der Gesamtsachlage und der die Hauptsammlerbaumaßnahme betreffenden räumlichen und planungsspezifischen Ausgangssituation ist von einem besonders hohen Gefährdungspotenzial für das Grundwasser auszugehen, da in erhöhtem Maße Risiken und Sensibilitäten bestehen, welche die Grundwassergefährdung kritisch verschärfen.

Die vom Expertensystem ausgesprochenen Handlungsempfehlungen zur Absicherung und Anpassung der Kanalbauplanung liefern Anhaltspunkte, in welchen Bereichen die Planung überprüft werden sollten, um so das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser etwaig zu verringern. Sie fordern vom Planer und von den an der Planung Beteiligten, die vorgesehene Umsetzung des Vorhabens kritisch zu reflektieren. Im Besonderen gilt dies dabei für die Sensibilitäten und Risiken, welche als „besonders hoch“ eingestuft worden sind.

Neben dieser allgemeinen gutachtlichen Erstbewertung der fallspezifischen Grundwassergefährdungssituation mit Hilfe des Expertensystems GRABWAS existiert für den Hauptsammler Wadgassen-Differten bereits eine konkrete Planung, die sich auf detaillierte Standortuntersuchungen stützt. Sie ermöglicht konkretere Aussagen, welche über die generellen Einschätzungen hinaus gehen, die durch das Expertensystem formuliert werden können. So wurde u.a. ein numerisches Grundwassermodell für den Raum Differten erarbeitet, mit dem u.a. Grundwasserströmungsrichtungen, Grundwasserfließzeiten und Grundwasserbilanzen in Abhängigkeit zur Wassergewinnung quantifiziert werden können.

Das durch das Expertensystem gelieferte Bewertungsergebnis zur theoretisch gegebenen lokalspezifischen Grundwassergefährdungssituation im Umfeld der Brunnen Differten deckt sich in weiten Teilen mit den behördlichen Einschätzungen sowie den Ergebnissen der erfolgten weitergehenden hydrogeologischen Detailbetrachtungen im Gewinnungsgebiet. Auch bei weiteren, in der vorliegenden Arbeit nicht dokumentierten Anwendungsbeispielen ließen sich diesbezüglich gute Ergebnisse erzielen.

Da durch den fortgeschrittenen Planungs- bzw. Realisierungsstand bezüglich des Hauptsammlers Wadgassen-Differten und die im Rahmen standortspezifischer Gutachten erfolgten räumlichen Betrachtungen bereits weitergehende Detailkenntnisse vorliegen, erweisen sich verschiedene Empfehlungen des Expertensystems für den konkreten Betrachtungsfall als redundant. Dies wären sie jedoch nicht, wenn entsprechende Detailuntersuchungen (noch) nicht vorlägen.

Im Hinblick auf die Realisierung des dritten Bauabschnittes des Hauptsammlers Wadgassen-Differten würde durch die allgemeine Begutachtung des Expertensystems GRABWAS empfohlen⁴⁰, die Planung in wesentlichen Punkten zu überdenken, um das Gefährdungspotenzial für das genutzte Grundwasser gegebenenfalls zu reduzieren. Bei einer Realisierung des dritten Bauabschnittes des Hauptsammlers in der hier angeführten Art und Weise würde es gemäß GRABWAS als dringend erforderlich angesehen, ein Ableitungssystem mit höchstem Sicherheitsstandard zu verwenden wie z.B. doppelwandige Rohrsysteme mit Möglichkeit der Lecküberwachung und/oder mit einer kontinuierlichen Lecküberwachung.

⁴⁰ unabhängig von den wie angeführt bereits vorliegenden Detailbetrachtungen im Trassenumfeld

Abschlussbetrachtung und Fazit

Da es durch räumliche und technische, wie auch durch rechtliche Zwangspunkte nicht immer umzusetzen ist, in Gebieten, die zur Gewinnung von Grundwasser zu Trinkwasserzwecken genutzt werden, auf ein Ab- bzw. Durchleiten von Abwasser zu verzichten, ist ein konfliktminimiertes Nebeneinander von Siedlungsentwässerung und Wassergewinnung sicherzustellen, damit ein nachhaltiger Grund- und damit Trinkwasserschutz gewährleistet werden kann. Auch zukünftig wird es, wie die Betrachtungen innerhalb der Arbeit gezeigt haben, erforderlich sein, in Wasserschutzgebieten Abwasserkanalbaumaßnahmen zur Erneuerung und Erweiterung des bestehenden Kanalnetzes durchzuführen.

Es stellt sich diesbezüglich die Frage, in welcher baulichen Art und Weise eine Abwasserkanalisation innerhalb eines Trinkwassergewinnungsgebietes auszuführen ist und welche Vorsorge- und Sicherungsmaßnahmen beim Neubau sowie im Hinblick auf den späteren Betrieb des Abwasserkanals bzw. der Abwasserleitung zu berücksichtigen sind, um einerseits das Grundwasser hinreichend und wirksam zu schützen und andererseits die Kostenstruktur der Baumaßnahme wirtschaftlich zu gestalten. Hierzu ist eine folgerichtige, belastbare und transparente Einschätzung des von der vorgesehenen Abwasserdurchleitung ausgehenden Grundwassergewährungspotenzials erforderlich.

Wie in der Dissertation ausführlich dargestellt und erläutert wurde, stellt sich die Einschätzung des Gefährdungspotenzials, das von einer geplanten Abwasserkanalisation in einem Wasserschutzgebiet auf das Grundwasser ausgeht, als eine komplexe multikriterielle Fragestellung dar, welche nur einzelfallindividuell unter Berücksichtigung planungs- und raumspezifischer Detailangaben zielführend angegangen werden kann. Hierfür sprechen maßnahmenspezifische, räumliche wie auch formale Beweggründe. Die Einschätzung des Grundwassergefährdungsrisikos darf keineswegs pauschalisiert betrachtet werden, ohne dass entscheidungsrelevante Anga-

ben Berücksichtigung finden. Die Ausführungen des DVGW-Arbeitsblattes W 101 „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ dürfen hier nicht falsch interpretiert werden. Einzelfallindividuelle Angaben zur geplanten baulich-technischen Ausführung des Abwasserkanals bzw. der Abwasserleitung, zur Art und Weise der Maßnahmenumsetzung sowie insbesondere zum Aufbau und zu den hydrogeologisch relevanten Eigenschaften des Untergrundes im betroffenen Wasserschutzgebiet sowie zu gefährdungsbeeinflussenden räumlichen Bedingungen im Bereich und Umfeld der vorgesehenen Kanaltrasse sind zu berücksichtigen und abzuwägen.

Es ist hier erforderlich, entscheidungsbedeutende Kriterien für die entsprechende Abwägung der Ausgangs- und Planungssituation nicht allein individuell hinsichtlich ihres Einflusses auf die potenzielle Grundwassergefährdung zu betrachten, sondern diese gesamtheitlich als Wirkungsgefüge zu analysieren und zu bewerten. Hierzu wird ein Expertensystem als das richtige methodische Instrument angesehen. Ein solches stellt als wissensbasiertes System ein Werkzeug des Wissensmanagements dar, das eine effiziente Nutzbarmachung spezifischen Wissens ermöglichen und damit als instrumentelle Hilfe bei der Entscheidungsfindung dienen kann. Expertensysteme können Anwendern unterschiedlicher Fachrichtungen als Entscheidungshilfe dienen und nachvollziehbare, objektive und fachlich gesicherte Entscheidungen treffen bzw. bereits getroffene Entscheidungen und Vorhaben überprüfen und absichern.

Infolge der Komplexität der Fragestellung und der zu beachtenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Kanalbauwerk, Untergrund und Grundwasser wurde für das Expertensystem ein Analyse- und Bewertungsmodell ausgewählt, das auf einer verbalargumentativen Betrachtung von Wirkungsverknüpfungen aufbaut und eine formale Struktur ähnlich derjenigen von Wirkungsanalysen oder der Ökologischen Risikoanalyse besitzt. Damit sollte der Vielschichtig-

keit der Zusammenhänge induktiver, deduktiver oder abduktiver Art Rechnung getragen und die methodische Umsetzbarkeit des Ansatzes gewährleistet werden. Gleichzeitig wurde so versucht, eine hohe Flexibilität des Systems sicherzustellen, um die zielführende Abbildung eines breiten Spektrums an Planungs- und Ausgangskonstellationen zu ermöglichen.

Eine Betrachtung von Gefährdungspotenzialen setzt die Definition je nach Einzelfall möglicher oder sicher gegebener, beurteilungsrelevanter Risiken voraus. Das Expertensystem GRABWAS versucht, entsprechende Risiken und Sensibilitäten zu identifizieren, welche sich aus der geplanten Kanalbaumaßnahme sowie den im betroffenen Wasserschutzgebiet gegebenen Bedingungen ergeben, und diese im Hinblick auf ihre Gefährdungsrelevanz einzustufen.

Ausgangspunkt für die Einschätzung der potenziellen Grundwassergefährdung stellt eine objektive, nachvollziehbare und an anerkannten Maßstäben und Argumentationen festgemachte Situationsbewertung dar. Diese muss natürliche räumliche Einflüsse und Bedingungen, welche sich meist als unveränderlich erweisen, sowie solche, die sich aus der Kanalbauplanung ergeben, und zumindest teilweise veränderlich sind, umfassend berücksichtigen. Sie hat das sich darstellende Wirkungsgefüge in adäquater Art und Weise widerzuspiegeln und abzubilden. Potenzielle Gefährdungseinflüsse auf das Grundwasser sind dabei zu erkennen, ausgehend von ihrer individuellen Gefährdungsbedeutung in ihrem Zusammenwirken mit anderen zu bewerten und schließlich die resultierenden Folgewirkungen abzuschätzen.

Hierzu werden im Expertensystem GRABWAS als entscheidungsrelevant angesehene, in Gruppen zusammengefasste Abwägungskriterien zur Einschätzung einer einzelfallindividuellen Ausgangs- und Planungssituation definiert und nach entscheidungsbedeutsamen Kriteriumsausprägungen differenziert. Abwägungskriterien und Kriteriumsausprägungen gehen dabei aus einer wertenden Betrachtung der für die Fragestellung bedeutsamen fachlich-wissenschaftlichen Zusammenhänge und Abhängigkeiten hervor. Sie dienen, zusammengestellt als

Checklisten, der Erhebung der örtlich individuellen planerischen und räumlichen Ausgangskonstellation und erfüllen im Expertensystem damit die Aufgabe der Benutzeroberfläche. Diese dient dem Anwender zur Eingabe der zu Bewertung der fallspezifischen Situation erforderlichen Angaben als Grundlagen der Ergebnisfindung.

Durch fachinhaltliche Vernetzung der Abwägungskriterien und deren Ausprägungen sind in das Expertensystem entscheidungsrelevante Wirkungsverknüpfungen eingespeist. Damit wird die postulierte Forderung erfüllt, das Wirkungsgefüge zwischen Abwasserkanal, Untergrund und Grundwasser umfassend und gesamtheitlich zu betrachten. Die Interaktionen zwischen Abwägungskriterien bzw. deren Ausprägungen untereinander stellen einen integralen Teil der Wissensbasis des Expertensystems dar, welche auf den umfangreichen Grundlagenbetrachtungen der Wissensaufnahme aufbaut, und den Analyse- und Bewertungsalgorithmus, der aus den Kriteriums- und Ausprägungsverknüpfungen hervorgeht, als Inferenzmaschine sowie die Textbausteine, die das vom Expertensystem erstellte kurzgutachtliche Ergebnisdarstellung aufbauen, als Erklärungskomponente beinhaltet.

Neben dem Ab- und Einschätzen von Risiken und Sensibilitäten, welche das Gefährdungspotenzial für das Grundwasser beeinflussen und damit die Zulässigkeit einer Abwasserdurchleitung durch ein Wasserschutzgebiet und die Auswahl des als erforderlich anzusehenden Ableitungssystems bedingen, können in Abhängigkeit von der fallspezifischen Ausgangs- und Planungssituation auszusprechende Empfehlungen und Hinweise zur Überprüfung, Absicherung und Modifikation der Kanalbauplanung zu einer Verringerung von Risiken und damit zu einer Entschärfung der Gefährdungssituation für das genutzte Grundwasser beitragen. Dies ist im Sinne eines vorsorgenden Grundwasserschutzes und der Nachhaltigkeit zu begrüßen.

Das Expertensystem GRABWAS berücksichtigt diesbezüglich einen Katalog von Empfehlungen, die je nach Konstellation zwischen Planungsvorhaben und der räumlichen Ausgangssituation im Wassergewinnungsgebiet ausgesprochen werden. Werden die vom Expertensystem zu-

gewiesenen Handlungsempfehlungen umgesetzt, können diese zu einer Reduzierung des Grundwassergefährdungspotenzials führen. Ihre Umsetzung kann jedoch nicht garantieren, dass es zu keiner Grundwassergefährdung kommt.

Die im System berücksichtigten Handlungsempfehlungen sind konkret gefasst, jedoch auch so flexibel gehalten, dass eine Passgenauigkeit für die unterschiedlichen denkbaren Ausgangssituationen und Konstellationen zwischen Abwasserkanal, Umfeld und Untergrund gewahrt ist. Ein zu hoher Detaillierungsgrad der Empfehlungen hätte die grundsätzliche Frage aufgeworfen, inwiefern ein Expertensystem, welches als Entscheidungshilfe konstruiert ist, bei einem so komplexen Wirkungsgefüge wie dem betrachteten durch systemimmanente Abstraktion bei der Erhebung und Verarbeitung bewertungsrelevanter räumlicher und den Kanal betreffender Daten überhaupt einer entsprechend detaillierten Aussage gerecht werden kann.

Ziel der individuellen Fallbetrachtung und -bewertung ist es, abzuwägen, ob bei der Errichtung eines Abwasserkanals bzw. einer Abwasserleitung in einem Wasserschutzgebiet gegebenenfalls auf die baulich-technische Maximallösung verzichtet werden kann, ohne dass hieraus eine signifikante Erhöhung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser hervorgeht. Hierdurch eingesparte finanzielle Mittel können gegebenenfalls anderweitig für den Grundwasserschutz, z.B. für die Erneuerung schadhafter Kanäle, wie sie gerade in Wassergewinnungsgebieten ein vordringliches Ziel darstellen sollte, genutzt werden, da gerade hier eine Abwasserkanalisation so angelegt, betrieben und instandgehalten werden muss, dass eine Verunreinigung oder Veränderung des Grundwassers wirksam vermieden wird.

Bei der Errichtung einer Abwasserkanalisation stehen unterschiedliche Ableitungssysteme und Bauformen, insbesondere in Bezug auf die verwendeten Rohre, aber u.a. auch im Hinblick auf die Ausführung von abwassertechnischen Bauwerken, Rohrverbindungen oder der Gestaltung der Bauwerksbettung samt diesbezüglicher Vorsorge- und Sicherungsmaßnahmen zur Verfügung, welche je nach Empfindlichkeit des Un-

tergrundes und Gefährlichkeit des abzuleitenden Abwassers zum Einsatz kommen. Auf Grundlage der qualitativen Gefährdungseinschätzung liefert das Expertensystem GRABWAS in Bezug auf diese Frage eine für den Betrachtungsfall individuelle Empfehlung.

Das Expertensystem GRABWAS soll das bisherige Fehlen eines nicht nur auf Beispielfälle beschränkten Bewertungs- und Entscheidungshilfesystems mit Passgenauigkeit für möglichst viele Planungsszenarien in Grundwasserschutzgebieten kompensieren und eine zielgerichtete Aussage zum Risiko einer geplanten Abwasserdurchleitung ermöglichen. Die in der vorliegenden Dissertation in ihrer Entwicklung dokumentierten und erläuterten Systemgrundlagen ermöglichen es, dass nach deren entsprechender Umsetzung als EDV-Lösung ein mögliches Instrument für die geforderte einzelfallindividuelle Analyse und Bewertung der potenziellen Grundwassergefährdung vorliegt, wie sie durch das DWA-Arbeitsblatt A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ und das DWA-Merkblatt M 146 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele“ gefordert werden.

Es soll den Planer und die Planungsbeteiligten dabei unterstützen, Handlungsspielräume zu erkennen, wie sie gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ in Bezug auf eine Aussage zum Risiko und zur Zulässigkeit einer Abwasserdurchleitung in einem Wasserschutzgebiet zu überprüfen sind, und somit einen Beitrag dazu leisten, erforderliche Abwasserkanalbaumaßnahmen innerhalb eines Wasserschutzgebietes zu optimieren.

Eine detaillierte Projektplanung und Standortabwägung kann, soll und darf dabei durch das Expertensystems nicht ersetzt werden. Allerdings kann dieses eine Hilfe bei der Abwägung von Trassen- oder Ausführungsalternativen geben und Angaben zu Gefährdungspotenzialen sowie vorsorglich anzuratenden Sicherungsmaßnahmen oder Planungsmodifikationen machen, durch welche die potenzielle Gefährdung des Grundwassers im Wasserschutzgebiet gegebenenfalls verringert werden kann.

Literaturverzeichnis**Fachveröffentlichungen, Lehrbücher, Regelwerke**

AVS – ABWASSERVERBAND SAAR; UNIVERSITÄT DES SAARLANDES [Hg.] (1992): Entscheidungsschlüssel Positionierungsplanung abwassertechnischer Bauwerke. – Saarbrücken.

AG BODEN – AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND [Hg.] (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – Hannover.

AG BODEN – AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN DER STAATLICHEN GEOLOGISCHEN DIENSTE UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE [Hg.] (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – Stuttgart.

AG HYDROGEOLOGIE – AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE DER STAATLICHEN GEOLOGISCHEN DIENSTE IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND [Hg.] (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. – in: Geologisches Jahrbuch, Reihe G, H. 2, S. 3-157, Hannover.

ALTHAUS, H.; JUNG, K. D.; MATTHES, G.; PEKDEGER, A. (1982): Lebensdauer von Bakterien in Grundwasserleitern. – Umweltbundesamt Texte 01/82, Berlin.

AMELINGMEYER, J.; STRAHNINGER, S. (1999): Expertensysteme als Werkzeuge für das Wissensmanagement. – HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, H. 208, Heidelberg.

ASCH, K. (1999): GIS in Geowissenschaften und Umwelt. – Schriftenreihe Geowissenschaften und Umwelt, Berlin.

AZZAM, R. (2006): Entwicklung einer Informationsinfrastruktur zur regelbasierten Ableitung von Geoinformationen aus distributiven, heterogenen Geodatenbeständen am Beispiel der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. –

Schlussbericht F+E-Vorhaben „Informationssysteme im Erdmanagement“, Förderkennzeichen BMBF 03V0683, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie der RWTH, Aachen.

BACHFISCHER, R. (1978): Die ökologische Risikoanalyse – Eine Methode zur Integration natürlicher Umweltfaktoren in die Raumplanung. – Dissertation TU München, München.

BAHRENBERG, G.; GIESE, E.; NIPPER, J. (1999): Statistische Methoden der Geographie – Bd. 1: Univariate und bivariate Statistik. – Stuttgart.

BAHRENBERG, G.; GIESE, E.; NIPPER, J. (2003): Statistische Methoden der Geographie – Bd. 2: Multivariate Statistik. – Stuttgart.

BEERMANN, W. (1978): Grundwasserfließverbindungen zwischen den Deckschichten und dem mittleren Buntsandstein im Saarland, dem saarländischen Hauptgrundwasserleiter und ihre Bedeutung für die Festlegung der Grundwasserschutzzone II, dargestellt anhand von Daten aus Pump- und Markierungsversuchen. – Arbeiten aus dem Geologischen Institut der Universität des Saarlandes, Bd. 153, Saarbrücken.

BEIERLE, C.; KERN-ISBENDER, G. (2000): Methoden wissenschaftlicher Systeme – Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen. – Braunschweig.

BENDER, F. [Hg.] (1984): Angewandte Geowissenschaften – Band 3: Geologie der Kohlenwasserstoffe, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Angewandte Geowissenschaften in Raumplanung und Umweltschutz. – Stuttgart.

BERGER, C.; LOHAUS, J.; WITTNER, A., SCHÄFER, R. (2001): Zustand der Kanalisation in Deutschland. – Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001, Hennef.

BERGER, C.; LOHAUS, J. (2004): Zustand der Kanalisation in Deutschland. – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004, Hennef.

- BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE [Hg.] (2007): Grundwasser – Informationen. – Hannover.
- BG BAU – BERUFGENOSSENSCHAFT DER BAUWIRTSCHAFT [Hg.] (2000): BG-Information Sicherheitshinweise für Grabenloses Bauen (Vortriebsarbeiten mit unbemannten Verfahren). – Berlin.
- BGW – BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT [Hg.] (2001): 112. BGW Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland Berichtsjahr 2000. – Bonn.
- BGW – BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT [Hg.] (2003a): 114. BGW Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland Berichtsjahr 2002. – Bonn.
- BGW – BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT; DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2003b): Marktdaten Abwasser 2003 – Ergebnisse der gemeinsamen Umfrage zur Abwasserentsorgung. – Berlin, Hennef.
- BLUME, H. P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes. – Landsberg.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [Hg.] (2006a): Umweltpolitik – Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 1: Grundlagen. – Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [Hg.] (2006b): Umweltpolitik – Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 2: Gewässergüte. – Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [Hg.] (2008): Grundwasser in Deutschland. – Berlin.
- BOLSENKÖTTER, H.; BUSSE, R.; DIEDERICH, G.; HÖLTING, B.; HOHBERGER, K.; REGENHARDT, H.; SCHLOZ, W.; VILLINGER, E.; WERNER, J. (1984): Hydrogeologische Kriterien bei der Bemessung von Wasserschutzgebieten für Grundwasserfassungen. – in: Geologisches Jahrbuch, Reihe C, H. 36, S. 3-34, Hannover.
- BÖHM, E.; HILLENBRAND, T.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F.; SCHEMP, C.; FUCHS S., SCHE-
RER U. (2001): Bilanzierung des Eintrags prioritärer Schwermetalle in Gewässer. – UBA-Forschungsbericht 298-22-243 UBA-FB 000181, Berlin.
- BOOCHS, P. W., MULL, R. (1990): Analyse und Prognose von Schadstoffausbreitungen im Grundwasser im Umfeld von Altablagerungen. – Hannover.
- BÜTOW, E.; KRAFFT, H.; RÜGER, M.; LÜDECKE, J. (2001): Gefährdungspotenzial von undichten Kanälen bei industriellen und gewerblichen Grundstücksentwässerungsleitungen und die Ableitung von Empfehlungen zur Revitalisierung defekter Entwässerungsleitungen. – Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 29728528, Berlin.
- CHRIST, A. (2004): Zum Transport von partikelgebundenen Schadstoffen in der ungesättigten Zone. – München.
- COLLET, M. (1999): Expertensystem für den Grundwasserschutz im ländlichen Raum. – 4. Symposium Informatik im Umweltschutz Karlsruhe, Informatik-Fachberichte, Bd. 228, S. 417-426, Berlin.
- CREMER, N. (2002): Schwermetalle im Grundwasser Nordrhein-Westfalens unter besonderer Berücksichtigung des Nickels in tieferen Grundwasserleitern der Niederrheinischen Bucht. – Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Bd. 60, Essen.
- DECKER, J.; MENZENBACH, B. (1995): Belastung von Boden, Grund- und Oberflächenwasser durch undichte Kanäle. – in: AWT Abwassertechnik, H. 4, S. 46-54, Berlin.
- DFKI – DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUM FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ (2000): Wissensmanagement: Aufgaben und Ziele. – Kaiserslautern.
- DICKMANN, F.; ZEHNER, K. (2001): Computerkartographie und GIS. – Reihe Das Geographische Seminar, Braunschweig.

- DOERFLIGER, N.; ZWAHLEN, F. (1998): Practical Guide, Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK). – Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern.
- DOHMANN, M.; DECKER, J.; MENZENBACH, B. (1995): BMFT-Verbundprojekt Wassergefährdung durch undichte Kanäle – Erfassung und Bewertung – Untersuchungen zur quantitativen und qualitativen Belastung von Untergrund, Grund- und Oberflächenwasser durch undichte Kanäle – Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Förderkennzeichen BMFT/BMBF 02WA9035. – Aachen.
- DOHMANN, M. (1996): Belastung von Boden und Gewässer durch undichte Kanäle. – GWF Wasser/Abwasser Spezial, Nr. 15/137, S. 2-6, München.
- DOHMANN, M. (1999): Wassergefährdung durch undichte Kanäle – Erfassung und Bewertung. – Heidelberg.
- DVGW – DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES [Hg.] (1975): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. – DVGW-Arbeitsblatt W 101, Eschborn.
- DVGW – DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES [Hg.] (1995): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. – DVGW-Arbeitsblatt W 101, Eschborn.
- DVGW – DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES [Hg.] (2004): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle. – DVGW-Arbeitsblatt W 107, Bonn.
- DVGW – DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES [Hg.] (2005): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen. – DVGW-Arbeitsblatt W 110, Bonn.
- DVGW – DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES [Hg.] (2006): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete – 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. – DVGW-Arbeitsblatt W 101, Bonn.
- DVWK – DEUTSCHER VEREIN FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU [Hg.] (1999): Grundwassergefährdung durch Baumaßnahmen. – DVWK-Materialien, H. 3/1999, Bonn.
- DVWK – DEUTSCHER VEREIN FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU [Hg.] (1993): Stoffeintrag und Grundwasserbewirtschaftung. – DVWK-Schriften Bd. 104, Hamburg.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1990a): Ausführungsbeispiele zum Arbeitsblatt A 142 „Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten“ – DWA-Hinweis H 146, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1990): Statische Berechnung von Vortriebsrohren. – DWA-Arbeitsblatt A 161, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. – DWA-Arbeitsblatt A 128, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1994): Einleiten von nicht häuslichem Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage. – DWA-Arbeitsblatt A 115, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1997): Wahl des Entwässerungssystems. – DWA-Arbeitsblatt A 105, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1998a): Die Haltungslänge aus betrieblicher Sicht – Arbeitsbericht der ATV/DVGW-Arbeitsgruppe 1.7.3 Regeln für den Kanalbetrieb, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1998b):

Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen (neu: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden) – Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck. – DWA-Merkblatt M 143-6, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1999a): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung. – DWA-Arbeitsblatt A 166, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (1999b): Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. – DWA-Merkblatt M 149, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2000a): Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen. – DWA-Arbeitsblatt A 127, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2000b): Bauwerke der Kanalisation. – DWA-Arbeitsblatt A 157, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2001): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. – DWA-Arbeitsblatt A 139, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2002a): Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten. – DWA-Arbeitsblatt A 142, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2002b): Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen. – Informationsbroschüre, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2003):

Fräs- und Pflugverfahren für den Einbau von Abwasserleitungen und -kanälen. – DWA-Merkblatt M 160, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2004): Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele. – DWA-Arbeitsblatt M 146, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2005a): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. – DWA-Arbeitsblatt A 138, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2005b): Kriterien zur Materialauswahl für Abwasserleitungen und -kanäle. – DWA-Merkblatt M 159, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006a): Zahlen und Fakten zum Thema Wasser. – Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006b): Öffentliche Abwasserkanäle umspannen 13-mal die Erde. – DWA/GFA-Newsletter, Ausgabe 53, Juni 2006, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006c): Bauwerke der Kanalisation – Beispiele. – DWA-Merkblatt M 158, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006d): Optimaler Gewässerschutz zu angemessenen Kosten – Erfahrungsaustausch der Großstädte in Mannheim. – DWA-Pressemitteilung 11.05.2006, Hennef.

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006e): Hohes Leistungsniveau deutscher Kläranlagen – DWA-Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen 2005 liegt vor. – DWA-Pressemitteilung 25.07.2006, Hennef.

- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2006f): Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen. – DWA-Arbeitsblatt A 110, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2007a): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Zustandsklassifizierung und -beurteilung. – DWA-Merkblatt M 149-3, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2007b): Grundwasserökologie – Praxis und Forschung. – Seminar Wasserwirtschaft/Boden Nr. 9519/07 am 27.11.2007 in Fulda, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (2007c): Rohrvortrieb und verwandte Verfahren (Entwurf). – DWA-Arbeitsblatt A 125, Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2008a): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. – überarbeiteter Entwurf – DWA-Arbeitsblatt A 139 (Entwurf), Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL [Hg.] (2008b): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 12: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraum – Einzelrohrverfahren. – DWA-Arbeitsblatt A 143-12, Hennef.
- EaFU – EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DER SCHWEIZ [Hg.] (1977): Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutz zonen und Grundwasserschutzarealen. – Bern.
- ECKL, H.; HAHN, J., KOLDEHOFF, C. (1995): Empfehlungen für die Erstellung hydrogeologischer Gutachten zur Bemessung und Gliederung von Trinkwasserschutzgebieten – Schutzgebiete für Grundwasser. – in: Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Bd. 63, S. 25-65, Hannover.
- ECKL, H.; RAISSI, F. (1999): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen zur Festsetzung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser. – GeoFakten Bodenkunde, Hydrogeologie Nr. 2 des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Hannover.
- EISWIRTH, M.; HÖTZL, H. (1994): Groundwater contamination by leaky sewerage systems. – Proceedings of the 25th Congress of the International Association of Hydrogeologists "Water Down Under 94", Adelaide (Australia), 21. bis 25.11.1994, Bd. A, S. 111-114, Adelaide.
- EISWIRTH, M.; HÖTZL, H. (1996): Anthropogene Grundwasserbeeinflussung in urbanen Räumen. – in: THEIN, J.; SCHAFFER, A. [Hg.] (1996): Geologische Stoffkreisläufe und ihre Veränderungen durch den Menschen. – Schriftenreihe DGG, Bd. 1, S. 25-27.
- EISWIRTH, M.; HÖTZL, H. (1999): Gefährdungspotential von Abwasserversickerungen auf urbane Grundwasserleiter. – Wasser Abwasser Praxis, H. 5, S. 10-15, Gütersloh.
- EISWIRTH, M. (1994): Gefährdungspotentiale von Abwasserkanalleckagen für das Grundwasser. – Ergebnisse der 3. Arbeitstagung Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes Wien, 27. bis 29.04.1994, S. 73-74, Wien.
- EISWIRTH, M. (1995): Charakterisierung und Simulation des Schadstofftransports aus Abwasserkanälen und Mülldeponien. – Schriftenreihe des Lehrstuhls für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe, Bd. 38, Karlsruhe.
- EISWIRTH, M.; LAZAR, C.; MERKLER, G.-P. (1994): Sewerage leakages as source of groundwater contamination. – Proceedings of the International Hydrogeological Symposium "Impact of industrial activities on groundwater", Bucharest (Romania), 23. bis 28. Mai 1994, S. 175-185, Bukarest.
- EISWIRTH, M. (1998): Stellen Abwasserkanäle Gefährdungspotentiale für das Grundwasser dar? – in: CZURDA, K.; HÖTZL, H. [Hg.] (1998): Natürliche und anthropogene Umweltgefährdungen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für An-

- gewandte Geologie der Universität (TH) Karlsruhe, Bd. 50, S. 97-116, Karlsruhe.
- EISWIRTH, M. (2002): Bilanzierung der Stoffeinträge im urbanen Wasserkreislauf – Wege zur Nachhaltigkeit urbaner Wasserressourcen. – Habilitation Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- FFSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN E.V. (2002): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag). – Köln.
- FÜRST, D. (2004): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. – Handbücher zum Umweltschutz, Bd. 4, Dortmund.
- FÜRST, M. (1990): Hydraulische Untersuchungen an Deckschichten bei Bad Kreuznach als Grundlage für eine Grundwasser-Gefährdungskarte. – Pollichia, Bd. 18, Bad Dürkheim.
- GALLERT, C.; HUA, J.; KOYDON, S.; FRANZ, M.; FITTERER, K. (2001): Auswirkungen schadhafter Kanäle auf den Untergrund. – GWF Wasser/Abwasser, Nr. 14/142, S. 23-28, München.
- GEGENMANTEL, H.-F. (1977): Untersuchung über Linienführung, Bau und Unterhaltung von Straßen in Wasserschutz- und Wassergewinnungsgebieten. – Aachen.
- GNEST, H.; HERRMANN, S.; KANNING, H. (2007): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. – Dortmund.
- GLA – GEOLOGISCHES LANDESAMT DES SAARLANDES [Hg.] (1984): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Saarlandes 1:25.000 Blatt 6706 Ludweiler-Warndt. – Saarbrücken.
- GOLDSCHIEDER, N. (2002): Hydrogeology and Vulnerability of Karst Systems – Examples from the Northern Alps and Swabian Alb. – Dissertation Universität Karlsruhe, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Angewandte Geologie der Universität (TH) Karlsruhe Bd. 68, Karlsruhe.
- GOTTLÖB, G.; FLEISCHANDERL, G. (1990): Expertensysteme. – Springers Angewandte Informatik, Wien.
- GREWING, C. (1994): Bewertung anthropogener Grundwasserbeeinträchtigungen im Saarland unter Berücksichtigung des jeweiligen regionalen Umfeldes. – Dissertation Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- GRIEBLER, C. (2007): Mikrobielle Ökologie von Grundwasserlebensräumen. – In: DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL: Grundwasserökologie – Praxis und Forschung. – Seminar Wasserwirtschaft/Boden Nr. 9519/07 am 27.11.2007 in Fulda, Hennef.
- GROSSMANN J. (2000): Regeneration von Trinkwasserbrunnen – Literaturstudie. – in: GWF Wasser/Abwasser, Nr. 9/141, S. 586-593, München.
- GROTEHUSMANN, D. (1995): Versickerung von Niederschlagsabflüssen unter Berücksichtigung des Grundwasserschutzes. – Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, H. 12, Hannover.
- GRÜNING, H. (2003): Entwässerungsverfahren in Wasserschutzgebieten. – BI Umwelt Bau, H. 5, S. 54-60, Kiel.
- GRUSCHWITZ, C. (1999): Sanierungsplanung von Abwassernetzen – ganzheitliche Betrachtung der Vorgehensweise. – Diplomarbeit Universität Leipzig Fachrichtung Grundbau und Wasserbau, Leipzig.
- HAHN, H. J. (2007): Ökologische Bewertungsansätze für ein faunistisch begründetes Grundwassermonitoring – Bedeutung des hydrologischen Austausches. – In: DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL: Grundwasserökologie – Praxis und Forschung. – Seminar Wasserwirtschaft/Boden Nr. 9519/07 am 27.11.2007 in Fulda, Hennef.
- HAGELSKAMP, H.; MICHEL, G. (1972): Zur Problematik der Abgrenzung der Schutzzone II in Kluftaquifers – in: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 123, S. 89-103, Hannover.

- HAGENDORF, U.; KRAFFT, H.; CLODIUS, C. D.; IKELS, J. (1994): Untersuchungen zur Erfassung und Bewertung undichter Kanäle im Hinblick auf die Gefährdung des Untergrundes. – in: WAGNER, E. [Hg.] (1994): Dokumentation 4. Internationaler Kongress Leitungsbau Hamburg 16. bis 20.10.1994. – Sonderausgabe TIS Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau, S. 407-434, Gütersloh.
- HAGENDORF, U.; KRAFFT, H. (1996): Erfassung und Bewertung undichter Abwasserkanäle. Untersuchungen zur Erfassung und Bewertung undichter Kanäle im Hinblick auf die Beeinflussung des Untergrundes. – Umweltbundesamt Texte 9/1996, Berlin.
- HAHN, H. H.; TRAUTH, R. (1995): Wasseraustausch zwischen Kanalisation und Grundwasser – Abwasserverluste und Fremdwasserzutritt. – in: AWT Abwassertechnik, Bd. 46, H. 4, S. 55-, Berlin.
- HÄRIG, F. (1991): Auswirkungen des Wasseraustausches zwischen undichten Kanalisationssystemen und dem Aquifer auf das Grundwasser. – Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau der Uni Hannover, H. 76, Hannover.
- HÄRIG, F.; MULL, R. (1992): Undichte Kanalisationssysteme – die Folgen für das Grundwasser. – GWF Wasser/Abwasser, Nr. 4/133, S. 196-, München.
- HARMON, P.; KING, D. (1986): Expertensysteme in der Praxis. – München.
- HVBG – HAUPTVERBAND DER GEWERBLICHEN BERUFGENOSSENSCHAFTEN [Hg.] (2002): Unfallverhütungsvorschrift Bauarbeiten BGV C 22. – Berlin.
- HEIN, H.-G.; SCHWARZ, A; WAGNER, W. (1987): Bau und Betrieb eines Sammlers im Wasserschutzgebiet unter Berücksichtigung von wiederkehrenden Dichtepfahrungen. – Abwasserverband Saar, Saarbrücken.
- HEINKELE, T.; VOIGT, H.-J. (2002): Charakterisierung der Empfindlichkeit von Grundwasserkörpern. – Umweltbundesamt Texte 19/02, Berlin.
- HENNINGS, R.-D.; MUNTER, H. (1985): Expertensysteme: Grundlagen, Entwicklungen, Anwendungen, Trends, Konsequenzen. – Berlin.
- HENNINGS, R.-D. (1990a): Expertensysteme als neue Zugangssysteme zur Fachinformation. – in: BUDER, M.; REHFELD, W.; SEEGER, T. [Hg.] (1990): Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation, S. 247-263, München.
- HENNINGS, R.-D.; WERSIG, G. (1990b): Expertensysteme: Organisieren von Wissen – Grenzen und Schwierigkeiten. – In: GI Magazin für Management und Banktechnik, H. 1-2, S. 22-25, Bad Wörishofen.
- HENNINGS, R.-D.; SKALA, W. [Hg.] (1993): Forschungsbericht zu der Entwicklungsumgebung KEE (Knowledge Engineering Environment): Installation, Wissensrepräsentation und Implementierung eines geowissenschaftlichen Anwendungsbeispiels. – Forschungsgebietschwerpunkt Wissensbasierte Systeme in den Geowissenschaften der Freien Universität Berlin, Sammelband, Berlin.
- HEUSER, E.-E. (1986): Gefährdungspotentiale und Schutzstrategien für die Grundwasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland. – Schriftenreihe WAR, Bd. 27, Darmstadt.
- HOFMANN, W.; LILLICH, W. (1973): Problematik der Bemessung der Engeren Schutzzone für Lockergesteinsaquifere. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 124, S. 567-573, Hannover.
- HÖLTING, B.; HAERTLÉ, T.; HOHBERGER, K.; NACHTIGALL, K.-H.; VILLINGER, E.; WEINZIHL, W.; WROBEL, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. – in: Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 63, S. 5-24, Hannover.
- HÖLTING, B.; COLDEWEY W. G. (2005): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – München.
- HTW SB – HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DES SAARLANDES, ARBEITSGRUPPE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFT (1991): Grundwas-

- serschutz – undichte Kanäle. – Zusatz 1. Wassertechnisches Seminar 03.09.1991, Saarbrücken.
- HUA, J. (2007): Transport- und Umsatzprozesse bei der Abwasserversickerung aus undichten Kanälen. – Karlsruhe Berichte zur Ingenieurbio-logie Bd. 43, Karlsruhe.
- HUDEC, B. (2003): Erfassung und Bewertung von Grundwasserkontaminationen durch punk-tuelle Schadstoffquellen – Konkretisierung von Anforderungen der EG-WRRL. – Umweltbun-desamt Texte 28/03, Berlin.
- HÜTTER, U. (1992): Möglichkeiten der Erfassung und Bewertung potentieller Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität im Einzugsgebiet eines Wasserwerkes. – Dortmunder Beiträge zur Wasserforschung Bd. 44, Dortmund.
- JACKSON, P. (1987): Expertensysteme – eine Einführung. – Reihe künstliche Intelligenz, Bonn.
- KARAGIANNIS, D. (1996): Wissensmanagement – Konzepte der künstlichen Intelligenz und des Softcomputing. – München.
- KARGER, R.; CORD-LANDWEHR, K.; HOFFMANN, F. (2005): Wasserversorgung. – Wiesbaden.
- KERNDORFF, H.; SCHLEYER, R.; DIETER, H. H. (1993): Bewertung der Grundwassergefährdung von Altablagerungen – Standardisierte Metho-den und Maßstäbe. – WaBoLu Hefte Nr. 1 des Institutes für Boden- und Lufthygiene des Bun-desgesundheitsamtes, Berlin.
- KERNDORFF, H.; SCHLEYER, R.; MILDE, G.; STRUPPE, T. (1991): Charakterisierung und standardisierte Bewertung von Grundwasserbeeinflussungen durch Sickerwässer von Altablagerungen. – in: FRANZIUS, V.; STEGMANN, R.; WOLF, K. [Hg.] (1991): Handbuch der Altlasten-Sanierung, Heidelberg.
- KNOSPE, F. (1998): Handbuch zur argumentati-ven Bewertung – Methodischer Leitfaden für Planungsbeiträge zum Naturschutz und zur Landschaftsplanung. – Dortmund.
- KÖNIG, R. (1993): Quantifizierung der Boden-wasserbewegungen im Hinblick auf die Grund-wasserneubildung mit Hilfe deckschichtenphysi-kalischer Kenngrößen. – Forschungsergebnisse aus dem Bereich Hydrogeologie und Umwelt, Bd. 6, Würzburg.
- KOLL, H.-G., MULL, R. (1990): Schadstoffaus-breitung im Grundwasserleiter. – Wasser und Boden, H. 12, S. 733-736, Berlin.
- KRATZSCH, H. (1998): Bergschadenkunde. – Opladen.
- KREUZBURG, J., KUNZE, J., MULL, R. (1997): Be-einflussung des Grundwassers durch defekte Abwasserkanäle. – Wasser und Boden, H. 10, S. 16-21, Berlin.
- KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDTFEGER, G. (1994): Bodenkunde. – Stuttgart.
- KUKURIĆ, N. (1999): Development of a Decision Support System for Groundwater Assessment. – Rotterdam.
- LANGGUTH, H.-R.; VOIGT, R. (2004): Hydrogeo-logische Methoden. – Berlin.
- LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER [Hg.] (1992): Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen. – München.
- LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER [Hg.] (1994): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasser-schäden. – Stuttgart.
- LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER [Hg.] (2005): Leitlinien zur Durchführung dyna-mischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). – Berlin.
- LECHER, K.; LÜHR, H.-P. [Hg.] (2001): Taschen-buch der Wasserwirtschaft. – Berlin.
- LENZ, M.; MULL, R.; KUNST, S. (1995): Einfluß der landwirtschaftlichen Abwassererregung auf die Grundwasserqualität. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, Bd. 39, H. 1, S. 1-48, Berlin.

- LFU BW – LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG [Hg.] (1994): Methoden zu Wirkungserhebungen – Ein Methodenhandbuch. – Karlsruhe.
- LUA NRW – LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (2000): Abwasserbehandlung in Pflanzenanlagen. – LUA-Merkblatt Nr. 23, Essen.
- LUA NRW – LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (2004): Öffentliche Wasserversorgung und Wasserschutzgebiete. – LUA-Info Nr. 23, Essen.
- LUA SL – LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND ARBEITSSICHERHEIT DES SAARLANDES (2006): Festgesetzte und vorgesehene Wasserschutzgebiete im Saarland. – unveröffentlichte Zusammenstellung, Saarbrücken.
- LUGER, G. F.; STUBBLEFIELD, W. A. (1989): Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems. – Redwood City.
- LUGER, G. F.; STUBBLEFIELD, W. A. (1998): Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. – Harlow.
- LÜHR, H.-P. (1988): Die Bewertung von Boden- und Grundwasserbelastungen. – IWS-Schriftenreihe Boden-/Grundwasser der TU Berlin, Bd. 5, S. 179-192, Berlin.
- MATSCHULLAT, J.; TOBSCHALL, H. J.; VOIGT, H.-J. [Hg.] (1997): Geochemie und Umwelt – Relevante Prozesse in Atmo-, Pedo- und Hydrosphäre. – Berlin.
- MATTHES, S. (2005): Mineralogie – Ein Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. – Heidelberg.
- MATTHESS, G. (2000): Grundwassererschließung. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 4, Berlin.
- MATTHESS, G.; UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1, Berlin.
- MFU SL – MINISTERIUM FÜR UMWELT DES SAARLANDES (2001): Umweltbewusste Niederschlagsableitung und -behandlung – Niederschlagswasserbewirtschaftungskonzept (NIWA-BEKO). – Saarbrücken.
- MONZEL, D. (1992): Empfehlungen zur Positionierungsplanung abwassertechnischer Einrichtungen in wasserwirtschaftlich genutzten Tälern unter hydrogeologischen Gesichtspunkten mit Hilfe eines Klassifizierungssystems. – Diplomarbeit Universität des Saarlandes Fachrichtung Angewandte Geochemie, Saarbrücken.
- MÜLLER, T. (1999): Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie. – Berlin.
- MÜLLER, K.; HÜBEN, S.; TRUJILLO, R.; UHLENBROCH, A.; HOCHSTRATE, K. (2005): Untersuchungen der Nutzungsdauer von Abwasserleitungen in öffentlichen Bereichen. – F+E-Projekt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen – Aachen.
- MUFV RLP – Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz des Landes Rheinland-Pfalz (2007): Angaben zu Wasser- und Heilquellenschutzgebieten in Rheinland-Pfalz. – Mainz.
- NIKOLOPOULOS, C. (1997): Expert Systems – Introduction to First and Second Generation and Hybrid Knowledge Based Systems. – Basel.
- NÖRING, F. (1972): Hydrogeologische Gesichtspunkten bei der Festsetzung von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 123, S. 105-109, Hannover.
- ÖUBA – ÖSTERREICHISCHES UMWELTBUNDESAMT [Hg.] (2004): Qualität und Quantität von Grundwasser in Europa. – Wien.
- ORTH, J. P.; EBERS, T. (1988): Maßnahmen und Auswirkungen von Abwasser- und Niederschlagsversickerungen auf Boden und Grundwasser. – Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der TU München, Bd. 84, München.

- OSTERKAMP, G. (1991): Altlasten und Grundwasser – Ein Expertensystem zur Einschätzung und Bewertung des Gefährdungspotenzials von Altablagerungen. – Geowissenschaftliche Texte, Bd. 8, Berlin.
- OSTERKAMP, G.; RICHTER, B.; SKALA, W. (1999): Anforderungen an ein wissensbasiertes System zur Bewertung von Gefährdungspotentialen. – 4. Symposium Informatik im Umweltschutz Karlsruhe, Bd. 228, S. 395-405, Berlin.
- PAUL, K. F. (1997): Ursachen der Brunnenalterung. – in: VEREIN ZUR FÖRDERUNG DES INSTITUTS WAR DER TH DARMSTADT [Hg.] (1997): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – 53. Darmstädter Seminar Wasserversorgung. – Schriftenreihe WAR, Bd. 103, S. 33-80, Darmstadt.
- PETKOFF, B. (1996): Wissensmanagement – von der computerzentrierten zur anwenderorientierten Kommunikationstechnologie. – Bonn.
- PHILIPP, A. (2001): Darstellung von Determinanten des Grundwasserschutzes in einem kleinen Einzugsgebiet am Beispiel des südpfälzischen Oberrheingrabens mit Hilfe von GIS. – Diplomarbeit Universität Heidelberg, Heidelberg.
- POOLE, D.; MACKWORTH, A.; GOEBEL, R. (1998): Computational Intelligence: A Logical Approach. – New York.
- POSCHMANN, C.; RIEBENSTAHL, C.; SCHMIDT-KALLERT, E. (1998): Umweltplanung und -bewertung. – Gotha.
- REINKEN, G. (2004): Bodenphysikalische Untersuchungen zur Prozessanalyse der Wasserbewegung und des Stofftransportes in ungesättigten, strukturierten Böden unter besonderer Berücksichtigung der Mechanismen der präferentiellen Wirkstoffverlagerung. – Dissertation Universität Köln, Köln.
- REHSE, W. (1977): Elimination und Abbau von organischen Fremdstoffen, pathogenen Keimen und Viren im Lockergestein. – in: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 128, S. 319-229, Hannover.
- REINSTORF, F. (2007): Modelle und Methoden zur Entscheidungsfindung in der Grundwasserbewirtschaftung. – Habilitation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale.
- RENGER, M. (2002): Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser in Abhängigkeit von den Standortbedingungen, insbesondere Boden und Gestein. – Arbeitsbericht Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Nr. 223, Stuttgart.
- RICHTER, G. (1965): Bodenerosion – Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. – Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 152, Bad Godesberg.
- RUSSEL, S. J.; NORVIG, P. (1995): Artificial Intelligence: A Modern Approach. – New Jersey.
- SACHS, L. (2006): Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. – Berlin.
- SCHARPF, H. (1982): Die ökologische Risikoanalyse als Beitrag zur Umweltverträglichkeitsprüfung in der Landwirtschaft. – Dissertation Universität Hannover, Hannover.
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. – Berlin.
- SCHMIDT, S.; BLONDEAU, Y.; BRINKMANN, S. (2000): Infrastrukturplanung. – Materialien des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- SCHNEIDER, S. (2001): Bypass- und Matrixflüsse in der wasserungesättigten Zone von Lössen und tertiären Kiessanden des Tertiär-Hügellandes von Scheyern (Oberbayern). – Dissertation Universität München, München.
- SCHNUPP, P.; LEIBRANDT, U. (1986): Expertensysteme. – Berlin.
- SCHOLLES, F. (1997): Abschätzen, Einschätzen und Bewerten in der UVP. Weiterentwicklung der Ökologischen Risikoanalyse vor dem Hintergrund der neueren Rechtslage und des Einsatzes rechnergestützter Werkzeuge. – UVP-Spezial, Bd. 13, Dortmund.

- SCHOLLES, F. (2006): Gesellschaftswissenschaftliche Grundlagen: Planungsmethoden. – Materialien des Instituts für Umweltplanung, Abt. Landesplanung und Raumforschung der Universität Hannover, Hannover.
- SCHREYÖGG, G. (1996): Wissensmanagement – Managementforschung, Bd. 6, Berlin.
- SCHÜPPEL, J. (1996): Wissensmanagement – Organisatorisches Lernen im Spannungsfeld zwischen von Wissens- und Lernbarrieren. – Wiesbaden.
- SCHULTER, G.; KNOCH, U. (1988): Wissenspräsentation, Expertensysteme und künstliche Intelligenz – eine Bibliographie. – Graz.
- SCHULZ, E.; HARTMANN, A.; MACKE, E. (1994): Untersuchung von Schäden an öffentlichen Schmutz- und Mischwasserkanälen hinsichtlich der Auswirkung auf Grundwasser- und Boden. – in: WAGNER, E. [Hg.] (1994): Dokumentation 4. Int. Kongress Leitungsbau Hamburg 16. bis 20.10.1994. – TIS Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau, S. 493-511, Gütersloh.
- SCHULZ-TERFLOTH, G. (1993): Bewertung der Gefährdungspotentiale. – in: MINISTERIUM FÜR UMWELT DES SAARLANDES; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT (1993): Wasserschutzgebiete in urbanen Regionen – Tagungsband 02. bis 03.11.1993 Saarbrücken – Fachreferate. – Saarbrücken.
- SCHWARZ, A. (2004): Betrieb und Bau von Abwasseranlagen in Wasserschutzgebieten. – unveröffentlichte Mitschrift zum DVGW-Vortrag am 13.11.2004 bei der Stadtwerke Saarbrücken AG, Saarbrücken.
- STATBA – STATISTISCHES BUNDESAMT (2003): Umwelt – Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001. – Fachserie 19, Reihe 21, Wiesbaden.
- STATLA SL – STATISTISCHES LANDESAMT DES SAARLANDS (2006): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001 und 2004. – Saarbrücken.
- STAWA – STAATLICHES AMT FÜR WASSER UND ABFALLWIRTSCHAFT DER STADT DÜSSELDORF [Hg.] (1990): Regeln für die Ausführung und die Kontrolle von Abwasseranlagen in Wasserschutzgebieten. Hier: Schutzzone III – Neubau von Abwasseranlagen. – Düsseldorf.
- STEIN, D. (1988): Undichte Kanalisation – ein Problembereich der Zukunft aus der Sicht des Gewässerschutzes. – ZAU Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, H. 7, S. 65-76, Berlin.
- STEIN, D.; LÜHR, H.-P.; NIEDEREHE, W.; WILLERT, R.; PETRICH, W. (1987): Undichte Kanäle als Ursache von Grundwasserverunreinigungen – Studie über die Erfassung des Istzustandes unter besonderer Berücksichtigung des Betriebes und der Instandhaltung von Kanalisationen. – Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 10202609, Berlin.
- STEIN, D. (1998): Instandhaltung von Kanalisationen. – Berlin.
- STEIN, D.; KÖRKEMEYER, K. (2000): Konstruktive Gestaltung und Betrieb des geplanten Abwasserhauptsammlers Dortmund-Dinslaken (Klem). – unveröffentlichtes Gutachten der S+P Consult GmbH, Bochum.
- STEIN, D. (2003): Grabenloser Leitungsbau. – Berlin.
- STEIN, D.; WAGNER, J.; WOLF, P. (2003): Entwicklung eines Entscheidungskataloges zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser und zur Auswahl der fachlich geeigneten Vorgehensweise bei der Verlegung von Abwasserleitungen und -kanälen in Wasserschutzgebieten. – F+E-Projekt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Projektteil 1) – Bochum.
- STEIN, D.; WAGNER, J.; WOLF, P.; UHLENBROCH, A.; ÇAKMAK, H. (2006): Weiterentwicklung eines Bewertungsalgorithmus zur Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser bei Bau und Betrieb von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten sowie als Entscheidungshilfe

- für die Auswahl des Ableitungssystems. – F+E-Projekt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Fortsetzungsvorhaben Projektteil 2) – Bochum.
- STIENS, G. (1996): Prognostik in der Geographie. – Reihe Das Geographische Seminar, Braunschweig.
- STRASSET, G. (1995): Das Abwägungsproblem bei Entscheidungen – Grundlagen und Lösungsansatz – unter besonderer Berücksichtigung der Regionalplanung. – Frankfurt.
- STRAUß, B. (1994): Über das Quantifizieren – Theorienbezug für Daten kodiert in Zahlen. – in: STRAUß, B., HAAG, H. [Hg.] (1994): Forschungsmethoden, Untersuchungspläne, Techniken der Datenerhebung – Forschungsmethodologische Grundlagen. – Schondorf.
- TURBAN, E.; ARONSON, J. E.; LIANG, T. P. (2005): Decision Support Systems and Intelligent Systems. – Upper Saddle River.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2006a): Bedeutung und Gefährdung des Grundwassers. – Internetinformation „Wasser, Trinkwasser und Gewässerschutz – Aktuelles“ vom 19.09.2006, Dessau.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2006b): Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucher und Verbraucherinnen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland – Berichtszeitraum 01.04.2002 bis 31.12.2004. – Dessau.
- UHRMACHER, L.; LORENZ, G. (1999): Anwendung von KI-Techniken zur Modellierung und Bewertung eines ökologischen Systems. – 4. Symposium Informatik im Umweltschutz Karlsruhe, Informatik-Fachberichte, Bd. 228, S. 368-376, Berlin.
- ULLMANN, F. (1994): Umweltorientierte Bewertung der Abwasserexfiltrationen bei undichten Kanälen dargestellt am Beispiel einer Bundeswehrkaserne. – Dissertation RWTH Aachen, Aachen.
- VOIGT, H.-J.; HEINKELE, T.; JAHNKE, C.; WOLTER, R. (2003): Characterization of Groundwater Vulnerability. – unveröffentlichtes Vortragsmanuskript, Cottbus.
- WAGNER, J. (1993a): Entscheidungsschlüssel Altlasten – Leitfaden zur Festlegung von Untersuchungsprogrammen an altlastverdächtigen Standorten. – Praxis der Altlastensanierung, Bd. 4, Bonn.
- WAGNER, J.; GREWING, C.; UNRUH, E. D. (1993b): Standardisierte Beurteilung anthropogener Grundwassergefährdungen anhand methodischer Hilfen. – Wasser Abwasser Praxis, H. 6, S. 371-374, Gütersloh.
- WAGNER, J. (1994): Entwicklung eines Entscheidungsschlüssels zur Positionierung abwassertechnischer Bauwerke. – F+E-Projekt im Auftrag des Abwasserverbandes Saar, Saarbrücken.
- WAGNER, J. (2002): Methodische Hilfe zur Bewertung der Ergebnisse von Brunnenuntersuchungen, zur weitgehend objektiven Abschätzung der Zeitbeständigkeit und zur Formulierung von Handlungsempfehlungen. – Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsprojekt W 45/99, Neunkirchen.
- WAGNER, J. (2003): Zeitbeständigkeit unverfilterter Brunnen in Festgesteinsgrundwasserleitern Mittel- und Süddeutschlands. – Abschlussbericht DVGW-Forschungsprojekt, Neunkirchen.
- WAGNER, J. (2008a): Erste Phase der Entwicklung eines umweltschonenden Verfahrens zur Grundwassergewinnung durch abgelenkte Brunnenbohrungen im klüftigen Festgestein in ökologisch und wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten. – Abschlussbericht zum DBU-Forschungsvorhaben AZ 23468-23, Neunkirchen.
- WAGNER, J. (2008b): Vorbereiten und Abstimmen dreier TV-Kamerauntersuchungen, Auswerten der Befahrungen sowie Formulieren von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen. – Gutachten der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG im Auftrag der Stadtwerke Völklingen Netz GmbH, Neunkirchen.

- WAGNER, W. (1998): Abwasserkanäle und -leitungen in Wasserschutzgebieten. – Tiefbau, H. 9, S. 10-, München.
- WALTER, T. (2001): Geowissenschaftliche Grundlagen für die Niederschlagsversicherung im Saarland. – in: HEIDEN, S.; ERB, R.; SIEKER, F. [Hg.] (2001): Hochwasserschutz heute – Nachhaltiges Wassermanagement. – Initiativen zum Umweltschutz Bd. 31, S. 57-70, Berlin.
- WASSERWIRTSCHAFTSDIREKTION SAALE-WERRA, FORSCHUNGSBEREICH ERFURT [Hg.] (1989): Das Grundwasser – Einfluss der landwirtschaftlichen Produktion. – Erfurt.
- WOHLRAB, B. (1976): Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Zone II von Schutzgebieten für Grundwasser. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, H. 17, S. 221-228, Berlin.
- WOLF, L. (2006): Influence of Leaky Sewer Systems on Groundwater Resources beneath the City of Rastatt, Germany (Grundwasserbeeinflussung durch defekte Abwasserkanäle im gebiet der Stadt Rastatt). – Schriftenreihe des Lehrstuhls für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe, Bd. 75, Karlsruhe.
- WOLF, P.; WAGNER, J.; KIEFER, N. (2004): Handbuch Wassergewinnung Verbandswasserwerk GmbH Euskirchen. – Arbeit der GRUNDWASSER- und GEO-FORSCHUNG im Auftrag der Verbandswasserwerk GmbH Euskirchen, Neunkirchen.
- WOLF, P.; WAGNER, J. (2005): Hydrogeologisches Gutachten zur Bemessung von Wasserschutz-zonen für die Wassergewinnungsanlagen der Gemeinde Perl – Bohrbrunnen Moseltal bei Nennig, Quellen Perl und Oberperl. – Gutachten der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG im Auftrag der Gemeinde Perl, Neunkirchen.
- WOLF, P.; WAGNER, J. (2006): Ermitteln, Auswerten und Interpretieren hydrogeologischer und anderer Daten zu verschiedenen Quellen und quellnahen Bereichen der zugehörigen Oberflächengewässer im Nordsaarland sowie Erstellen fachlich basierter Stammakten zu diesen Standorten. – Forschungsprojekt der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG im Auftrag des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes, Neunkirchen.
- WOLF, P.; PAYER, H.; WAGNER, J. (2007a): Geologisch-hydrogeologisches Gutachten zum Brunnen Trulben als Grundlage eines Wasserschutzgebietsvorschlages. – Gutachten der GRUNDWASSER- und GEO-FORSCHUNG im Auftrag der Verbandsgemeindewerke Pirmasens-Land, Neunkirchen.
- WOLF, P.; WAGNER, J. (2007b): Handbuch Wassergewinnung Wasserversorgungsverband Euskirchen-Swisttal. – Arbeit der GRUNDWASSER- und GEO-FORSCHUNG im Auftrag des Wasserversorgungsverbandes Euskirchen-Swisttal, Neunkirchen.
- WOLF, P.; WAGNER, J.; STEIN, D.; ÇAKMAK, H. (2007c): Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten – Bewertung des Grundwassergefährdungspotenzials. – WWT Wasserwirtschaft Wassertechnik, H. 7-8, S. 43-46, Berlin.
- WOLF, P.; WAGNER, J.; STEIN, R.; ÇAKMAK, H. (2007d): Einschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser beim Bau und Betrieb von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten und Entscheidungshilfe für die Auswahl des Ableitungssystems. – GWF Wasser/Abwasser, Nr. 12/148, S. 862-871, München.
- WOLF, P.; WAGNER, J.; WALTER, T. (2008): Ermitteln geogener Hintergrundwerte von Grund-/Quellwässern sowie quellnaher Oberflächengewässer im Einzugsgebiet der Blies und weiteren rechtsseitig der Saar gelegenen Einzugsgebieten. – Forschungsprojekt der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG im Auftrag des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes, Neunkirchen.
- WOLF, P.; WAGNER, J. (2009): Ermitteln geogener Hintergrundwerte von Grund-/Quellwässern sowie quellnaher Oberflächengewässer im Einzugsgebiet im linksseitig gelegenen Einzugsgebiet der Saar. – in Bearbeitung befindliches Forschungsprojekt der GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG im Auftrag des Ministeriums für Umwelt des Saarlandes, Neunkirchen.

- WORCH, B. (1996): Die Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse im Umweltbereich. – Ökologische Reihe, Bd. 1, Darmstadt.
- WPW GEOCONSULT (1995): Verifizierung der wasserwirtschaftlichen Grundlagen im Raum Südwest-Saar. – Saarbrücken.
- YATABE, S. E.; FABBRI, A. G. (1987): Artificial Intelligence in Geosciences: a Review. – Proceedings of the CODATA Conference Wroclaw: Geomathematics and Geostatistics Applied to Space and Time Dependent Data, Breslau.
- ZANGEMEISTER, C. (1971): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. – München.
- ZIELHOFER, C. (2004): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Karst der Mittleren Altmühlalb. – Eichstätter geographische Arbeiten, Bd. 13, Eichstätt-Ingolstadt.
- ZWAHLEN, F. [Hg.] (2004): Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers. – COST Action 620, Final Report – Luxembourg.
- Normen, Gesetze, Verordnungen**
- BNatSchG – Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) (2008).
- DIN EN 476 – Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme (1997).
- DIN EN 752 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden (2008).
- DIN EN 752-1 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Allgemeines und Definitionen (1995).
- DIN EN 752-2 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Anforderungen (1996).
- DIN EN 752-3 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Planung (1996).
- DIN EN 752-4 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte (1996).
- DIN EN 752-5 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 5: Sanierung (1997).
- DIN EN 752-7 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 7: Betrieb und Unterhalt (1998).
- DIN EN 805 – Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden (2000).
- DIN EN 1091 – Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden (1997).
- DIN EN 1610 – Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (1997).
- DIN EN 1671 – Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden (1997).
- DIN EN 1917 – Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton (2003).
- DIN 1986-3 – Entwässerungsanlagen für Grundstücke – Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung (2004).
- DIN 1986-30 – Entwässerungsanlagen für Grundstücke – Teil 30: Instandhaltung (2003).
- DIN 2000 – Zentrale Trinkwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen (2000).
- DIN 4022-2 – Benennen und Beschreiben von Boden, Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein) (1981).
- DIN V 4034-1 – Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2; Teil

- 1: Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität (2004).
- DIN 4045 – Abwassertechnik – Grundbegriffe (2003).
- DIN 4046 – Wasserversorgung – Begriffe (1983).
- DIN 4049-1 – Hydrologie, Grundbegriffe (1990).
- DIN 4049-3 – Hydrologie, Begriffe zur quantitativen Hydrologie (1994).
- DIN 4124 – Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten (2002).
- DIN EN 12889 – Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (2000).
- DIN EN 14457 – Allgemeine Anforderungen an Bauteile, die bei grabenloser Verlegung von Abwasserleitungen und -kanälen verwendet werden (2004).
- DIN 18196 – Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (2006).
- GWRL – Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Tochtrichtlinie Grundwasser zur EU-Wasserrahmenrichtlinie) einschließlich deren Berichtigungen vom 22.02. und vom 31.05.07 (2007).
- Min/TafelWV – Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasserverordnung (2006).
- NiedWVersickVO – Verordnung [des Saarlandes] über die Versickerung von Niederschlagswasser in Wasserschutzgebieten (2000).
- SWG – Saarländisches Wassergesetz (berücksichtigt in der Fassung vom 30.07.2004 mit Änderung vom 05.04.2006).
- TrinkwV – Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) (berücksichtigt in der Fassung vom 21.05.2001 mit Änderung vom 31.10.2006).
- WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) (berücksichtigt in der Fassung vom 19.08.2002 mit Änderung vom 10.05.2007).
- WRRL – Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EU-Wasserrahmenrichtlinie) (2000).

Lebenslauf des Verfassers

Persönliche Angaben:

Name: Patrik Wolf
Akademische Grade: Dr. phil., Dipl.-Geogr.
Geburtsdatum: 30.12.1976
Geburtsort: Saarbrücken
E-Mail: mail@patrikwolf.de

Beruflicher Werdegang:

seit 2003: Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Senior Geograph
im Consultingbüro GRUNDWASSER- UND GEO-FORSCHUNG
Prof. Dr. J. Wagner (Neunkirchen/Saar)

1999 bis 2003: Wissenschaftlicher Mitarbeiter, zuvor Studentischer Mitarbeiter im
Arbeitskreis Gewässer am Lehrstuhl für Physikalische Geographie der
Universität des Saarlandes von Prof. Dr. E. W. Löffler (Saarbrücken)

1998 bis 2003: Freier Mitarbeiter bei verschiedenen Ingenieur- und Planungsbüros,
darunter AGL - Planungsgruppe Angewandte Geographie, Land-
schafts-, Stadt- und Raumplanung (Saarbrücken), Dr. H. Marx GmbH -
Büro für Hydro- und Ingenieurgeologie (Spiesen-Elversberg) und
Charrier Geo Consult - Büro für Physische Geographie und Fließge-
wässermorphologie (Saarbrücken)

Universitärer Werdegang:

2005 bis 2009: Promotionsstudium an der Universität des Saarlandes,
Promotion mit dem Gesamtprädikat „magna cum laude“

1997 bis 2003: Diplomstudium Physische Geographie an der Universität des Saarlan-
des, Nebenfachstudium Geologie und Chemie an der Universität des
Saarlandes, Nebenfachstudium Siedlungswasserwirtschaft/Wasserwirt-
schaft an der Technischen Universität Kaiserslautern,
Diplom mit der Gesamtnote „mit Auszeichnung“

Schulischer Werdegang:

1993 bis 1996: Willi-Graf-Gymnasium (Saarbrücken)

1987 bis 1993: Realschule Bruchwiese (Saarbrücken)

1983 bis 1987: Grundschule Wiedheckschule (Saarbrücken)