



**Konzeption einer deklarativen Wissensbasis
über recyclingrelevante Materialien**

Harold Boley, Ulrich Buhrmann, Christof Kremer

August 1993

**Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
GmbH**

Postfach 20 80
67608 Kaiserslautern, FRG
Tel.: (+49 631) 205-3211/13
Fax: (+49 631) 205-3210

Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken, FRG
Tel.: (+49 681) 302-5252
Fax: (+49 681) 302-5341

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

The German Research Center for Artificial Intelligence (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, DFKI) with sites in Kaiserslautern and Saarbrücken is a non-profit organization which was founded in 1988. The shareholder companies are Atlas Elektronik, Daimler-Benz, Fraunhofer Gesellschaft, GMD, IBM, Insiders, Mannesmann-Kienzle, SEMA Group, Siemens and Siemens-Nixdorf. Research projects conducted at the DFKI are funded by the German Ministry for Research and Technology, by the shareholder companies, or by other industrial contracts.

The DFKI conducts application-oriented basic research in the field of artificial intelligence and other related subfields of computer science. The overall goal is to construct *systems with technical knowledge and common sense* which - by using AI methods - implement a problem solution for a selected application area. Currently, there are the following research areas at the DFKI:

- Intelligent Engineering Systems
- Intelligent User Interfaces
- Computer Linguistics
- Programming Systems
- Deduction and Multiagent Systems
- Document Analysis and Office Automation.

The DFKI strives at making its research results available to the scientific community. There exist many contacts to domestic and foreign research institutions, both in academy and industry. The DFKI hosts technology transfer workshops for shareholders and other interested groups in order to inform about the current state of research.

From its beginning, the DFKI has provided an attractive working environment for AI researchers from Germany and from all over the world. The goal is to have a staff of about 100 researchers at the end of the building-up phase.

Friedrich J. Wendl
Director

Konzeption einer deklarativen Wissensbasis über recyclingrelevante Materialien

Harold Boley, Ulrich Buhrmann, Christof Kremer

DFKI-TM-93-03

© Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz 1993

This work may not be copied or reproduced in whole or in part for any commercial purpose. Permission to copy in whole or in part without payment of fee is granted for nonprofit educational and research purposes provided that all such whole or partial copies include the following: a notice that such copying is by permission of Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Kaiserslautern, Federal Republic of Germany; an acknowledgement of the authors and individual contributors to the work; all applicable portions of this copyright notice. Copying, reproducing, or republishing for any other purpose shall require a licence with payment of fee to Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz.

Konzeption einer deklarativen Wissensbasis über recyclingrelevante Materialien

Harold Boley, Ulrich Buhrmann, Christof Kremer

Zusammenfassung

Das Recycling von Produkten und Produktionsreststoffen erlangt als Einflußfaktor für wirtschaftliche Entscheidungsprozesse eine immer größere Bedeutung. Die Integration von recyclingrelevanten Daten in betriebliche Informationsstrukturen sollte in Zukunft durch wissensbasierte Methoden unterstützt werden. Wir stellen Ansätze für eine Wissensbasis zur recyclinggerechten Produkt- und Produktionsplanung vor, und gehen dann genauer auf das grundlegende Modul über Materialien ein. Es wird untersucht, welche Evolutionstechniken sich zur Pflege derartiger Wissensbestände eignen, z.B. zur Validierung vorhandener und Exploration neuer Materialien im Hinblick auf ihre Recyclbarkeit.

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund	1
2 Mögliche Einsatzbereiche einer Recycling-Wissensbasis	1
3 Module der RPPP-Wissensbasis	2
4 Das Modul Materialien	3
4.1 Das Untermodul Werkstoffverbunde	4
4.2 Das Untermodul Stoffe	4
4.3 Das Untermodul Elemente	5
5 Zur Evolution der Material-KB	5
5.1 Die VEGA-Architektur und der Evolutionsprozeß	5
5.2 Möglichkeiten der Evolution auf der Material-KB	7
6 Ausblick	9

Konzeption einer deklarativen Wissensbasis über recyclingrelevante Materialien

Harold Boley, Ulrich Buhrmann, Christof Kremer

DFKI

Postfach 2080

67608 Kaiserslautern

Tel.: 0631/205-3459

Fax: 0631/205-3210

Email: {boley, buhrmann, kremer}@dfki.uni-kl.de

Zusammenfassung Das Recycling von Produkten und Produktionsreststoffen erlangt als Einflußfaktor für wirtschaftliche Entscheidungsprozesse eine immer größere Bedeutung. Die Integration von recyclingrelevanten Daten in betriebliche Informationsstrukturen sollte in Zukunft durch wissensbasierte Methoden unterstützt werden. Wir stellen Ansätze für eine Wissensbasis zur recyclinggerechten Produkt- und Produktionsplanung vor, und gehen dann genauer auf das grundlegende Modul über Materialien ein. Es wird untersucht, welche Evolutionstechniken sich zur Pflege derartiger Wissensbestände eignen, z.B. zur Validierung vorhandener und Exploration neuer Materialien im Hinblick auf ihre Recycelbarkeit.

1 Hintergrund

Die hier vorgestellte Konzeption einer deklarativen Wissensbasis über recyclingrelevante Materialien wurde im Projekt VEGA [Boley et al., 92] am DFKI Kaiserslautern erarbeitet, welches sich mit Wissens-Validierung und -Exploration durch Globale Analyse befaßt.

Ziel dieses Projektes ist es, für gegebene deklarative (logiknahe) Wissensbasen Verfahren der Validierung (z.B. Konsistenz- / Vollständigkeitsprüfung) und der Exploration (z.B. Abstraktion von Mustern / Herstellung von Zusammenhängen) mittels globaler Analyse (z.B. abstrakte Interpretation / Datenflußanalyse) zu entwickeln und prototypisch zur Anwendung zu bringen.

Als Teil des Projektes soll eine Anwendungswissensbasis bereitgestellt werden, die einerseits ein gutes Testobjekt für die zu entwickelnden Verfahren darstellt, andererseits aber auch einen hohen Nutzen für potentielle Anwender aus der Industrie bietet.

2 Mögliche Einsatzbereiche einer Recycling-Wissensbasis

Nach Sondierung möglicher Bereiche für die Wissensbasis (KB), erscheinen uns Wissensteilgebiete zur recyclinggerechten Produkt- und Produktionsplanung (RPPP) [Barg, 91], im Rahmen eines Produktions- und Recycling-Planungs- und Steuerungssystems [CorstenReiss, 91], als besonders geeignet. Nicht nur der hohe Anwendungsdruck (z.B. Elektronikschrott-Verordnung / Automobil-Recycling) bzw. der ökonomisch-ökologische Nutzen, sondern auch die reichhaltigen Strukturen und Zusammenhänge der Bewertung von Stoffkreisläufen bzw. Erstellung von Öko-Bilanzen haben zu dieser Themenwahl geführt.

Im Sinne von 'Knowledge Sharing/Reuse' [Boley, 90; Neches et al., 91; Czedik, 92;

Kühn, 93] sind verschiedene Verwendungsarten einer solchen RPPP-Wissensbasis denkbar:

- Entscheidungsunterstützung für Produktingenieure bzgl. der Rohstoffauswahl, des Produktdesigns und des Produktionsprozesses [CorstenReiss, 91].
- Inner- bzw. interbetrieblicher Vergleich der Recyclingmöglichkeiten eines bzw. mehrerer Unternehmen/Abteilungen.
- Die Umweltbeauftragten eines Unternehmens können durch Konsultation der Wissensbasis unter Verwendung des Evolutionssystems die Systematik ihrer Aktivitäten validieren und neue Möglichkeiten explorieren.
- Die Wissensbasis kann die Erstellung von kompletten Öko-Bilanzen für Produkte und Produktionsprozesse unterstützen.
- Rangfolgen für Produktdesigns und existierende Produkte, z.B. bzgl. 'Grad der Recyclbarkeit' oder 'Energieverbrauch bei der Rückumwandlung' können erstellt werden.

Bei einer genügend breiten und deklarativen Bereitstellung des Wissens, sind weitere Einsatzbereiche möglich [Simon et al., 93], auch solche, die nicht von vornherein vorgesehen waren.

3 Module der RPPP-Wissensbasis

Die Fülle, der durch die intendierten Einsatzbereiche benötigten Informationen, setzt schon aus Komplexitätsgründen eine Modularisierung der RPPP-Wissensbasis in Teilwissensbasen (Module) voraus. Diese sollte sich möglichst auf natürliche Weise an bereits vorhandenen Datenbeständen orientieren (Abb. 1).

In dem Modul *Anforderungen* werden einerseits die Kundenwünsche bzgl. der Funktionalität und des Designs des zu planenden Produkts, andererseits die durch Gesetze oder Richtlinien verordneten Auflagen, die das Produkt und der Produktionsprozeß erfüllen müssen, spezifiziert. Das Modul *Methoden* beinhaltet die der Unternehmung zur Verfügung stehenden Fertigungsmethoden (Unternehmenspotential). Sie werden im wesentlichen durch den Produktingenieur festgelegt. Parallel dazu kann der Umweltbeauftragte, durch Konsultation des Untermoduls *Recycling*, eine Recyclingstrategie festlegen. In dem Modul *Produkte* wird der Produktaufbau über die verwendeten Baugruppen und Bauteile definiert. Nach dem Produktgebrauch werden den Baugruppen oder Bauteilen, je nach möglichem Auflösungsgrad, die zuvor festgelegten Recyclingstrategien zugeordnet. Die zur Konstruktion der Produkte benötigten Materialien werden in dem Modul *Materialien* repräsentiert (siehe Abschnitt 4). Die Module sind derartig konzipiert, daß in der Produktplanung insbesondere die Auslegung der Produkte hinsichtlich der Schlußphase des Produktlebens berücksichtigt werden kann.

Beim Aufbau der RPPP-Wissensbasis ist es sinnvoll, mit einem gut formalisierbaren und wiederverwendbaren Teilbereich zu beginnen. Wir haben uns für das Modul *Materialien* und das Untermodul *Stoffe* entschieden, da einerseits umfangreiche Datenbestände existieren und andererseits mehrere Module (*Werkstoffverbunde, Bauteile*) unmittelbar darauf zugreifen. Das Untermodul *Stoffe* stellt eine um recyclingrelevantes Wissen (z.B. Stoffverträglichkeiten, Umweltbelastung, Kosten)

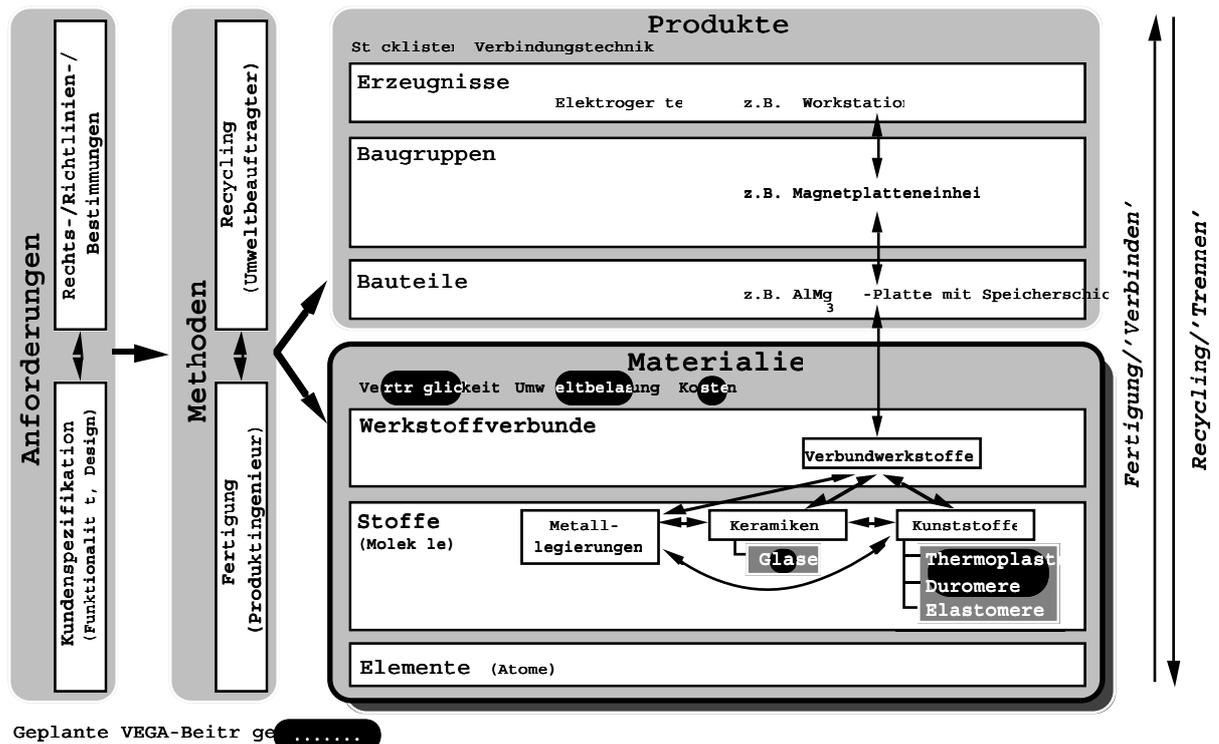


Abb. 1: Module der RPPP-Wissensbasis

erweiterte Stoff-Datenbank dar. Die Erweiterungen werden insbesondere durch KI-Repräsentationstechniken realisiert: Statt in einem fest formatierten, extensionalen Datenbanksystem, wird das Wissen in einem frei formatierten, intensionalen Informationssystem mit Inferenzregeln verfügbar gemacht; so sind z.B. Stoffsubstitutionsvorschläge für, Querverweise auf und Vergleiche zwischen Stoffen repräsentierbar.

Aufbauend auf dem Untermodul *Stoffe* kann das Untermodul *Werkstoffverbunde* realisiert werden. Wissen über die sortenreine Verbind-/Trennbarkeit von Stoffen wird von Verträglichkeitsmatrizen, Diagrammen und natürlichsprachlichen Richtlinien auf eine einheitliche deklarative Repräsentation abgebildet. Eine genauere Spezifikation des grundlegenden Moduls *Materialien* geben wir in Abschnitt 4.

4 Das Modul *Materialien*

Aufgabe des Recyclings ist die Wiedergewinnung von neuen Materialien aus alten, schon benutzten. Die Materialien stellen somit die 'Substanz' des Recyclings dar, wodurch es sinnvoll erscheint, eine modulare RPPP-KB mit dem Aufbau einer Material-KB zu beginnen.

Durch die Vielfalt, der für das Recycling in Betracht kommenden Materialien, bedingt sich eine Unterteilung des Moduls *Materialien* in mehrere Untermodule. Wie Abb. 1 zeigt, besteht unser Modul *Materialien* aus den Untermodulen *Werkstoffverbunde*, *Stoffe* und *Elemente*. Diese Aufteilung ergibt sich aus den unterschiedlichen Eigenschaften der Elemente der Module mit der Sichtweise eines

Werkstoffkundlers, wobei nicht nur Recyclingeigenschaften betrachtet werden, so daß sich die KB auch für recyclingfremde Zwecke nutzen läßt (Wiederverwendbarkeit). Diese Aufteilung wurde mit dem Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) in Kaiserslautern abgestimmt.

4.1 Das Untermodul *Werkstoffverbunde*

Das Modul *Werkstoffverbunde* befindet sich im Moment noch in der ersten Planungsphase. In Angriff genommen werden soll es in einem gemeinsamen Projekt des IVW und des DFKI, in dem das anspruchsvolle Problem des Verbundwerkstoffrecyclings mit Hilfe von KI-Methoden zu untersuchen sein wird. In diesem Projekt sollen die dann beide realisierten Untermodule des Materialmoduls (Abschnitte 4.2 und 4.3) verwendet werden.

4.2 Das Untermodul *Stoffe*

Das Modul *Stoffe* gliedert sich wiederum in die drei Untermodule *Metalllegierungen*, *Keramiken* und *Kunststoffe*. Im Projekt VEGA werden davon die Module *Kunststoffe* und *Keramiken* realisiert. Besonders wichtig erscheinen uns dabei die Kunststoffe, da:

1. die Kunststoffe in Bezug auf Recycling sehr problematisch sind, somit unser Beitrag für das Recycling besonders wertvoll sein könnte.
2. genügend Wissen über Kunststoffe in Form von Literatur [Kunz et al., 93] und Experten (IVW) vorhanden ist.
3. mit dem IVW ein Anwender vorhanden ist, so daß wir unter ständiger Benutzerkontrolle die KB anwendungsnah und nicht am Experten "vorbei" modellieren können.

Beim Aufbau der KB wollen wir uns zunächst damit begnügen, eine kleine, überschaubare Menge von Kunststoffen darzustellen, die allerdings bereits in einer solchen Qualität recycelt werden, daß mit dem Recyclat neue, gleichwertige¹ Produkte konstruiert werden können².

Zu diesen Kunststoffen werden unterschiedliche Arten von Wissen abgebildet. So enthält die KB zunächst normale Datenbankinformationen, wie thermische, mechanische und elektrische Eigenschaften, die als numerische Werte gespeichert werden und bei Erweiterungen der KB automatisch aus bestehenden Datenbanken, wie CAMPUS [Breuer et al., 90], nach COLAB übersetzt werden. Weiterhin werden die Kunststoffe mit Is-a- und Instance-Relationen in einer für den Kunststoffkonstrukteur nützlichen Weise strukturiert³. Ähnliche Ansätze werden in [Hulthage et al., 87; Hulthage et al., 90] verfolgt. Schließlich werden noch die

¹Unter gleichwertig verstehen wir die Verwendung des Recyclats in solcher Weise, daß aus einem ehemaligen Gehäuse auch wieder ein solches wird und der Kunststoff beispielsweise nicht als Füllstoff in der Bauindustrie verwendet wird. Die Recyclate dürfen allerdings zur Qualitätssicherung einen gewissen Anteil neuer Kunststoffe enthalten.

²Für eine Liste solcher Kunststoffe sei der Leser auf [Kunz et al., 93] verwiesen.

³Da die KB wiederverwendbar sein soll, können hier später andere Sichtweisen abgebildet werden, z.B. die Kunststoffstruktur eines Materialwissenschaftlers, ohne in der bestehenden KB Änderungen vornehmen zu müssen.

recyclingrelevanten Eigenschaften abgebildet, für die hauptsächlich KI-Techniken benutzt werden, da viele dieser Eigenschaften entweder qualitative Werte besitzen, wie z.B. die Wiederverwendbarkeit und die Umweltverträglichkeit, oder durch andere, besondere Techniken, wie z.B. Verträglichkeitsmatrizen, in denen sich die Recyclingverträglichkeiten der einzelnen Kunststoffe finden, dargestellt werden.

Implementiert werden soll die KB in einer Teilmenge von COLAB [Boley et al., 93] einem am DFKI entwickelten Tool zur Wissensrepräsentation. Die Teilmenge soll im Hinblick auf ihre Eignung zur Validierung und Exploration ausgewählt werden. Da die Auswahl der Teilmenge zeitlich parallel zum Aufbau der KB erfolgt, wodurch beide Prozesse aufeinander einwirken können, werden automatische Übersetzer benutzt, um die KB stets auf dem neuesten Stand der Wissensrepräsentation zu halten.

4.3 Das Untermodul *Elemente*

Das Modul *Elemente* ist eine KB über das vollständige Periodensystem der chemischen Elemente [Sintek et al., 93]. Mit dem Aufbau der KB wurde schon in dem früheren DFKI-Projekt ARC-TEC begonnen und mit Beginn des VEGA-Projekts fortgeführt.

Implementiert wurde die KB in RELFUN, einem Teilsystem von COLAB [Boley et al., 93]. RELFUN ist eine funktional-logische Programmiersprache, deren Klauseln in Hornlogik abgebildet werden können; sie ist somit auch nach PROLOG, im Fall der Elemente-KB sogar nach purem PROLOG, übersetzbar. Eine LISP- oder PROLOG-artige Syntax kann vom Benutzer frei gewählt werden, wodurch die Portierung der KB in beide Sprachwelten erleichtert wird.

Mit der Elemente-KB wurden bereits erste Validierungen und Explorationen durchgeführt, so wurde z.B. die Elektronenkonfiguration mit Hilfe der Ordnungszahl validiert, bzw. Ähnlichkeiten und Besonderheiten von Elementen exploriert.

5 Zur Evolution der Material-KB

Um zu beschreiben, wie Evolutionstechniken in verschiedenen Anwendungsszenarien der Material-KB zum Einsatz kommen, werden wir zunächst die geplante VEGA-Architektur kurz umreißen und den Begriff der Evolution näher charakterisieren.

5.1 Die VEGA-Architektur und der Evolutionsprozeß

Das Wissensrevolutionssystem (KES) arbeitet auf der Aufgabenwissensbasis (Task Knowledge Base T) eines im Einsatz befindlichen wissensbasierten Systems (KBS). Um die Wissensrevolution umfassend zu beschreiben, unterscheiden wir folglich zwei Hauptkomponenten (Abb. 2): das Wissensbasissystem und das Wissensrevolutionssystem, das durch einen Wissensingenieur benutzt wird.

Die Aufgabenwissensbasis T des KBS wird durch das Wissensrevolutionssystem global analysiert. Es wird hierbei unterstellt, daß sie entweder schon in der deklarativen VEGA-Sprache repräsentiert ist, oder, wenn dies nicht zutrifft, daß sie durch einen der VEGA-Eingabeübersetzer in diese Sprache übersetzt wurde.

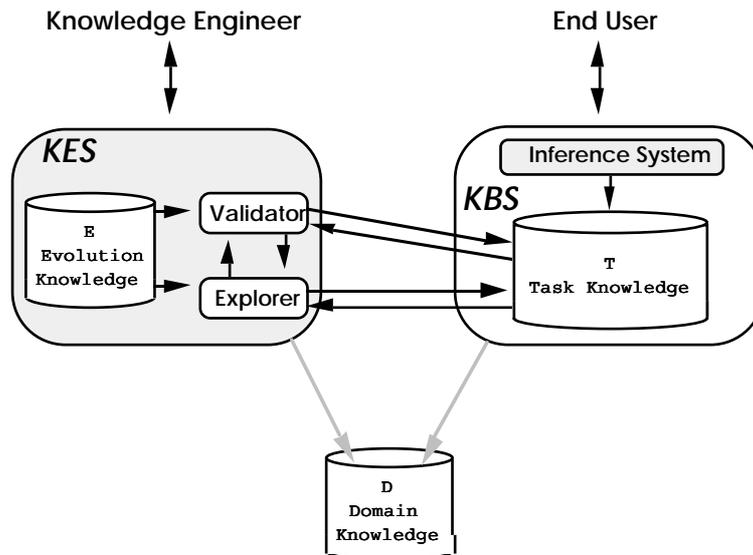


Abb. 2: Die geplante VEGA-Architektur (gepunktet) im Kontext

Die Evolutionswissensbasis E stellt einerseits generelle Techniken der Evolution (wie induktive Inferenztechniken, Suchstrategien wie 'hill climbing'), und andererseits bereichsspezifische Heuristiken, die spezifizieren wann welche Technik anzuwenden ist, sowie die Interessantheit von Mustern näher formalisieren, zur Verfügung.

In der Hintergrundwissensbasis D wird Wissen über die Umgebung, in der das KBS arbeitet, repräsentiert. Das allgemeine Hintergrundwissen kann sowohl von dem KBS als auch von dem KES benutzt werden, um spezifisches Aufgabewissen zu verstehen. Je mehr Wissen in der Aufgabenwissensbasis selbst vorhanden ist, umso weniger braucht das KES auf die Hintergrundwissensbasis D zuzugreifen.

Das Herleiten von Schlußfolgerungen im KES wird durch den Explorierer und den Validierer gewährleistet:

- Der Wissensexplorierer untersucht die Aufgaben-KB, um interessante Muster zu finden. Die Exploration (rechter Teil der Abb. 3) kann als ein iterativer Prozeß angesehen werden, der mit der Generierung einer Musterhypothese beginnt (generate pattern hypothesis), dann mit der Suche dieses Musters in der Aufgaben-KB fortfährt (search for pattern in KB) und interaktiv die möglicherweise entdeckten Muster in die KB zurückspeist (optional assimilation).
- Der Wissensvalidierer untersucht die Aufgaben-KB, um strukturelle oder funktionelle Fehler herauszufinden. Die Validierung (linker Teil der Abb. 3) kann in analoger Weise als iterativer Prozeß verstanden werden, der mit der Generierung eines Fehlerverdachts beginnt (generate defect suspicion), dann die KB bzgl. eines Fehlers bzw. eines Fehlerverdachts überprüft (check for defect in KB), und schließlich als Ergebnis eine mögliche Fehlerbeschreibung oder einen möglichen Reparaturvorschlag liefert (optional repair).

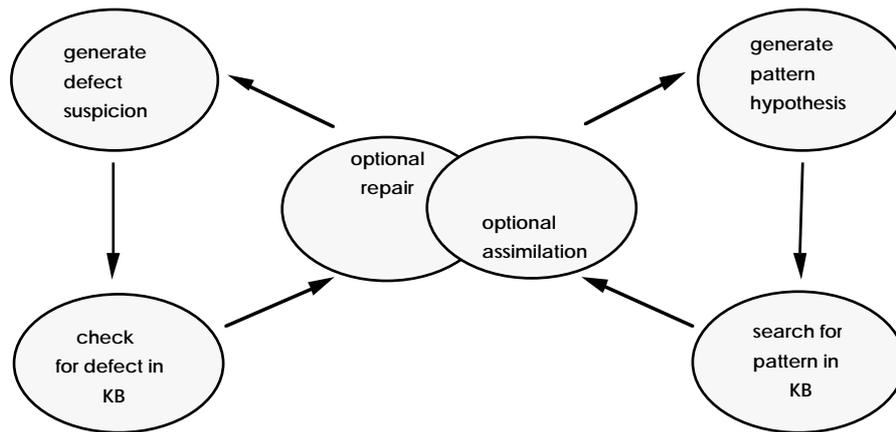


Abb. 3: Die Evolutions-Prozesse

Der Evolutionsprozeß kann sich auf einzelne Module der KB konzentrieren. Er wird durch Hypothesen (oder Vermutungen) bzgl. der Art, des semantischen Kontexts und der Lokalisierung von Mustern (oder Fehlern) geleitet. Der Evolutionsraum wird durch die Interessen des Benutzers, durch vorhergehende Evolutionsschritte und durch die überhaupt möglichen Evolutionstechniken beschränkt.

Die Iterationszyklen aus Abb. 3 können beliebig verzahnt sein. Zusammen bilden sie einen heuristischen Approximationsprozeß, der unter ständiger Änderung der Fokussierungs- und Bearbeitungsphasen die Wissensbasis immer dann verbessert, wenn eine ausreichende Menge von Wissen für ein Update durch das KES oder durch den Benutzer gesammelt wurde. Nehmen wir z.B. an, daß der Validierer eine Regel gefunden hat, deren Prämissen in der gegebenen Aufgaben-KB nicht erfüllt werden können. Der Explorierer könnte dann z. B. versuchen diese spezielle Regel zu generalisieren oder das fehlende Wissen zum Erfüllen der Regelprämissen zu komplettieren. Andererseits, nachdem der Explorierer ein Muster (d.h. eine neue oder generalisierte Regel) entdeckt hat, könnte der Validierer die KB bzgl. diesen Musters verifizieren.

In Abschnitt 5.2 werden wir Evolutionsszenarien speziell für die Material-KB vorstellen. Da hier das Wissen über Kunststoffe im wesentlichen in Form von Taxonomien repräsentiert wird, sind für uns erklärungs-basierte Lerntechniken (EBL) und Abstraktionsoperationen (wie Generalisierung, Klassifikation, Assoziation, Aggregation) besonders interessant. Letztere haben in erster Linie die Umstrukturierung der KB in eine bessere und effizientere Form, unter Verwendung des bisher vorhandenen Wissens, zur Folge.

5.2 Möglichkeiten der Evolution auf der Material-KB

In unserer ersten geplanten Anwendung der Material-KB soll diese einen Konstruktionsingenieur bei der Auswahl von Materialien zum Entwurf einer Verbundwerkstoff-Konstruktion (unter Berücksichtigung von recyclingrelevanten Aspekten) unterstützen. Dabei kooperieren wir mit dem IVW.

Zentral stellt sich hierbei für uns die Frage, inwieweit Evolutionstechniken bei diesem Materialauswahlprozeß zum Tragen kommen. Wir betrachten einerseits die Exploration von, z.B., Material-Eigenschafts-Zuordnungen und möglichen Substitutionen von Materialien durch funktional äquivalente, aber besser recycelbare, Materialien, andererseits die Validierung von, z.B., Verbundwerkstoffen und

Kunststoffen hinsichtlich Umweltgesetzesvorgaben wie Grenzwerten, Toleranzen, Richtlinien und Normen.

Der Materialauswahlprozeß gliedert sich klassischerweise in die Phasen der Materialvorauswahl für den Entwurf, bei der zunächst die Materialart festgelegt wird, und der speziellen Materialauswahl für die Konstruktion, bei der aus einer Gruppe von Materialien (ca. 10-15), die durch die Materialart festgelegt sind, das am besten geeignete selektiert wird.

Materialvorauswahl: Identifikation gespeicherter Materialien M_i gemäß vorgegebener Eigenschaften P_i (z.B. Kennlinien, Funktionsmerkmale, Recycelbarkeit)

$$P_1, \dots, P_n \rightarrow M_1, \dots, M_m \quad (1)$$

Spezielle Materialauswahl: Verfeinerung und Optimierung der Materialvorauswahl nach Optimalitätskriterien ϕ (z.B. Recyclingverfahren, Kosten, Qualität)

$$\text{best}_{\phi}(M_1, \dots, M_m) = M_k; 1 \leq k \leq m \quad (2)$$

Im Wechselspiel zu (1) können direkte und ableitbare Eigenschaften einem gegebenen gespeicherten Material zugeordnet werden:

$$M \rightarrow P_1, \dots, P_n \quad (3)$$

Die für eine Produktstruktur spezifizierte Materialauswahl kann hinsichtlich nicht funktionsverändernder Eigenschaften der Materialien optimiert werden. Dabei wird für ein vorgegebenes, nicht optimales Material (M_1) bei dem wünschenswerte Eigenschaften (P_{m+1}, \dots, P_n), wie beispielsweise die Recycelbarkeit, nicht gewährleistet sind, überprüft, ob ein Material (M_2) existiert, das in den funktionserhaltenden Eigenschaften (P_1, \dots, P_k) identisch ist, aber die zusätzlichen Eigenschaften erfüllt. Ist ein derartiges Material identifiziert, wird es als Substitut vorgeschlagen.

$$M_1(P_1, \dots, P_k, P_{k+1}, \dots, P_m) \rightarrow M_2(P_1, \dots, P_k, P'_{k+1}, \dots, P'_m, P_{m+1}, \dots, P_n) \quad (4)$$

In ähnlicher Weise können innerhalb eines Evolutionszyklus´ bereits gespeicherte Materialien durch Hinzufügung neuer gewünschter Eigenschaften optimiert werden. Nach Entdeckung eines nicht optimalen Materials, wird die KB auf ein in Frage kommendes Substitut (siehe oben) untersucht. Die zusätzlichen Eigenschaften des Substituts werden auf das zu optimierende Material übertragen. Der letzte Schritt wird nur nach Bestätigung durch den Benutzer vollführt.

$$M_x(P_1, \dots, P_k, P_{k+1}, \dots, P_m), M_y(P_1, \dots, P_k, P'_{k+1}, \dots, P'_m, P_{m+1}, \dots, P_n) \rightarrow M_x(P_1, \dots, P_k, P_{k+1}, \dots, P_m, P_{m+1}, \dots, P_n) \quad (5)$$

Zum Finden von Substituten wird zunächst innerhalb der Klassifikationshierarchie der Materialien von den zu optimierenden Eigenschaften des vorgegebenen Materials abstrahiert. Wenn ein Substitutionskandidat mit entsprechend optimaleren Eigenschaften existiert, erfolgt dessen Instantiierung. Zum Hinzufügen neuer Eigenschaften wird zunächst wiederum von den zusätzlich gewünschten Eigenschaften abstrahiert. Wenn möglich, erfolgt dann eine Transformation der geforderten Eigenschaften von einem Material, das diese, und insbesondere auch die

funktionserhaltenden Eigenschaften des zu optimierenden Materials, erfüllt. Das dann optimierte Material wird mit den neuen Eigenschaften instantiiert.

Abgesehen von einer bestehenden Klassifikationshierarchie für Kunststoffe [Kunz et al., 93], die wir vorrangig übernehmen, können weitere Klassifikationen oder Sichten, die für jeweilige Anwendungen besonders effizient gestaltet sind, auf den gespeicherten Materialien generiert werden. So können durch gezielten Einsatz von Concept Learning- und Clustering-Methoden, aufgrund von Ähnlichkeiten oder Unterschieden, Materialklassen identifiziert werden [ReinartzSchmalhofer, 93]. Die dazu benötigten Klassifikationskriterien können beispielsweise benutzerdefiniert sein, von vorhandenen Fallbasen abgeleitet werden oder durch recyclingspezifisches Wissen festgelegt sein.

$$M_1, \dots, M_n \rightarrow C_1, \dots, C_k \quad (6)$$

Gemäß des in Abschnitt 5.1 beschriebenen interaktiven Evolutionszyklus', können die explorierten Funde, erst nachdem sie validiert wurden, in die Wissensbasis zurückgespeist werden. Grundsätzlich muß jede Änderung der Wissensbasis, wie z.B. das Hinzufügen eines neuen Materials, validiert werden. Die gespeicherten Materialien können, durch Unifikation und Instanzentests, relativ zu gespeicherten Patterns, Schemata, Typen, Sorten und Konzepten geprüft werden. Somit werden, beispielsweise, Klassifikationsfehler aufgedeckt. Weiterhin können die Materialien auf Konsistenz zu gegebenen Grenzwerten, Toleranzen, Richtlinien und Normen überprüft werden. Durch Änderungsvorgänge in der Material-Wissensbasis können Integritätsbedingungen über Relationen zwischen Materialien eines Produktes oder Verbundwerkstoffes verletzt werden. Somit muß im Validierungsprozeß auch die Einhaltung derartiger Integritätsbedingungen gewährleistet werden.

Die Untersuchung von Evolutionsmöglichkeiten auf Wissensbasen ist bei weitem noch nicht abgeschlossen - nicht zuletzt ist dies ein Schwerpunkt des VEGA-Projektes. Aus diesem Grunde können hier nur erste Ansätze präsentiert werden, die zudem noch stark auf die spezielle Material-KB ausgerichtet sind.

6 Ausblick

Wir kommen hier noch einmal auf die Modularisierung von Abb. 1 zurück. Generell kann die zu erstellende RPPP-Wissensbasis methodisch und inhaltlich von Ingenieur-Wissensbasen profitieren, die im ARC-TEC-Projekt erstellt wurden. So wurde dort z.B. mit der KB über die chemischen Elemente eine jetzt wiederverwendete unterste Grundlage für das Modul *Materialien* geschaffen. Auf der anderen Seite wurden für VEGA produktmäßige Stoff-Datenbanken wie CAMPUS 2 [Breuer et al., 90] im Hinblick auf recyclingrelevantes Wissen evaluiert.

Pragmatische Vorteile bei unserer derzeitigen Konzentration auf das Untermodul *Stoffe* sind die vergleichsweise leichte Zugänglichkeit (über Lehrbücher und Nachschlagewerke) und natürlich die breite Verwendbarkeit ("Knowledge-Sharing-Potential") von Stoff-Wissen (z.B. für Produktion **und** Recycling).

Neben dem IVW sind wir im Kontakt mit anderen Material-Experten und potentiellen Anwendern, so z.B. mit mehreren DFKI-Gesellschafterfirmen, den wir z.Zt. ausbauen. Wir stellen bereits Vorversionen der Material-KB allen Interessenten (als ASCII-Source in LISP- oder PROLOG-artiger Syntax) zur Verfügung, um frühzeitig

Feedback zu bekommen.

Geplant ist dann mit dem IVW der Ausbau des Moduls *Materialien* in Richtung auf das, auf dem Untermodul *Stoffe* aufsetzenden Untermodul *Werkstoffverbunde*.

Auf dieser Grundlage soll eine prototypische Version eines Rumpfsystems zur recyclinggerechten Werkstoffauswahl erstellt und unter projektinternen und später industrienahen Bedingungen getestet und erweitert werden.

Als langfristiges Ziel wird eine wiederverwendbare Darstellung und verschiedenartige Verarbeitung spezielleren Recycling-Wissens in den weiteren Modulen *Anforderungen* und *Methoden* der deklarativen Wissensbasis angestrebt.

Das so formalisierte technische Umweltwissen kann dann durch die VEGA-Evolution unter ständiger Benutzerkontrolle gewartet werden, dadurch an Transparenz, Vertrauenswürdigkeit und Strukturierung gewinnen, d.h. insgesamt qualitativ verbessert werden. Wegen der Tragweite von Entscheidungen im Umweltsektor könnten bereits kleinere Verbesserungen von Wissensbeständen ein größerer Fortschritt sein: Eine einzige durch interaktive Validierung und Exploration gefundene Materialsubstitution oder Recyclingmöglichkeit könnte bereits die in die Wissensbasis investierte Arbeit rechtfertigen. Evtl. könnte sogar schon die andersartige Systemanalyse durch KI-Formalisierung bekannte Fakten in ein neues Licht rücken.

Literatur

- [Barg, 91] A. Barg: 'Recyclinggerechte Produkt- und Produktionsplanung', VDI-Z 133, Jahrg. 1991, Nr. 11
- [Boley, 90] H. Boley: 'Expert system shells: very-high-level languages for Artificial Intelligence', Expert Systems, February 1990, Vol. 7, No. 1
- [Boley et al., 92] H. Boley, P. Hanschke, K. Hinkelmann, M. Meyer, M.M. Richter: 'VEGA - Knowledge Validation and Exploration by Global Analysis', Project Proposal, DFKI Kaiserslautern, Okt., 1992
- [Boley, 93] H. Boley: 'Towards Evolvable Knowledge Representation for Industrial Applications', in: Knut Hinkelmann, Armin Laux (Eds.): 'DFKI-Workshop on Knowledge Representation Techniques, Proceedings DFKI-Document D-93-11, Kaiserslautern, 1993
- [Boley et al, 93] H. Boley, P. Hanschke, K. Hinkelmann, M. Meyer: 'COLAB: A Hybrid Knowledge Representation and Compilation Laboratory', DFKI Research Report RR-93-08, Kaiserslautern, Jan. 1993. Erscheint in: 'Annals of Operations Research', 1993
- [Breuer et al., 90] H. Breuer, G. Dupp, J. Schmitz: 'Einheitliche Werkstoffdatenbank - eine Idee setzt sich durch', Kunststoffe 80 (1990) 11
- [CorstenReiss, 91] H. Corsten, M. Reiss: 'Recycling in PPS-Systemen', Die Betriebswirtschaft Nr. 51 Jahrg. 1991, 5
- [Czedik, 92] D. Czedik: 'Status Quo der Wiederverwendbarkeit von Wissensbasen', KI 1 (92):27-39, 1992
- [Hulthage et al., 87] I. Hulthage, M.A. Przystupa, M.L. Farinacci, M.D. Rychener: 'The Representation of Metallurgical Knowledge for Alloy Design', AI EDAM, 1 (3), 159-168, 1987
- [Hulthage et al., 90] I. Hulthage, M.S. Fox, M.D. Rychener, M.L. Farinacci: 'The Architecture of ALADIN: A Knowledge-Based Approach to Alloy Design', IEEE Expert 5,56-73, 1990
- [Kühn, 93] O. Kühn : 'Knowledge Sharing and Knowledge Evolution', in Proceedings of the 'Knowledge Sharing and Information Interchange' Workshop at IJCAI 1993, Chambéry, Frankreich, Aug., 1993
- [Kunz et al.,93] J. Kunz, W. Land, J. Wiener: 'Neue Konstruktionmöglichkeiten mit Kunststoffen durch schnelle und sichere Werkstoffauswahl', WEKA

- Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, Augsburg, 1993
- [Neches et al., 91] R. Neches, R. Fikes, F. Finin, T. Gruber, R. Patil, T. Senator, R. Swartout, William: 'Enabling technology for knowledge sharing', AI-Magazine, 12(3):36-56, 1991
- [ReinartzSchmalhofer, 93] T. Reinartz, Franz Schmalhofer: 'An Integration of Knowledge Acquisition Techniques and EBL for a complex application', in: S. Kedar, Y. Kodratoff, G. Tecuci (Eds.): Proceedings of the 'Machine Learning and Knowledge Acquisition: common issues, contrasting methods and integrated approaches' Workshop at IJCAI 1993, Chambéry, Frankreich, Aug., 1993
- [Simon et al., 93] K. H. Simon, B. Page, A. Manche: 'Expertensystemanwendungen im Umweltbereich: Konzepte, Systeme, Probleme', Materialien zum Workshop 5, XPS-93
- [Sintek et al., 93] M. Sintek, W. Stein, U. Buhrmann: 'Validation and Exploration of the Period System of the Elements: A RELFUN Knowledge Base, in 'A Sampler of Relational/Functional Definitions', H. Boley (Ed.), DFKI-Technical Memo TM-91-04, 1991, Second, Revised Edition July 1993
- [VDI, 91] Richtlinie VDI 2243: 'Recyclingorientierte Gestaltung technischer Produkte', Berlin, Beuth-Verlag, 1991

Danksagung: Wir bedanken uns bei Franz Schmalhofer, Philipp Hanschke und dem Programmkomitee um Hans-Joachim Novak für die Hinweise zur Verbesserung des Papiers.



DFKI Publikationen

Die folgenden DFKI Veröffentlichungen sowie die aktuelle Liste von allen bisher erschienenen Publikationen können von der oben angegebenen Adresse oder per anonymem ftp von ftp.dfki.uni-kl.de (131.246.241.100) unter pub/Publications bezogen werden.

Die Berichte werden, wenn nicht anders gekennzeichnet, kostenlos abgegeben.

DFKI Publications

The following DFKI publications or the list of all published papers so far are obtainable from the above address or via anonymous ftp from ftp.dfki.uni-kl.de (131.246.241.100) under pub/Publications.

The reports are distributed free of charge except if otherwise indicated.

DFKI Research Reports

RR-93-02

Wolfgang Wahlster, Elisabeth André, Wolfgang Finkler, Hans-Jürgen Profitlich, Thomas Rist:
Plan-based Integration of Natural Language and Graphics Generation
50 pages

RR-93-03

Franz Baader, Bernhard Hollunder, Bernhard Nebel, Hans-Jürgen Profitlich, Enrico Franconi:
An Empirical Analysis of Optimization Techniques for Terminological Representation Systems
28 pages

RR-93-04

Christoph Klauck, Johannes Schwagereit:
GGD: Graph Grammar Developer for features in CAD/CAM
13 pages

RR-93-05

Franz Baader, Klaus Schulz: Combination Techniques and Decision Problems for Disunification
29 pages

RR-93-06

Hans-Jürgen Bürckert, Bernhard Hollunder, Armin Laux: On Skolemization in Constrained Logics
40 pages

RR-93-07

Hans-Jürgen Bürckert, Bernhard Hollunder, Armin Laux: Concept Logics with Function Symbols
36 pages

RR-93-08

Harold Boley, Philipp Hanschke, Knut Hinkelmann, Manfred Meyer: COLAB: A Hybrid Knowledge Representation and Compilation Laboratory
64 pages

RR-93-09

Philipp Hanschke, Jörg Würtz:
Satisfiability of the Smallest Binary Program
8 pages

RR-93-10

Martin Buchheit, Francesco M. Donini, Andrea Schaerf: Decidable Reasoning in Terminological Knowledge Representation Systems
35 pages

RR-93-11

Bernhard Nebel, Hans-Juergen Buerckert:
Reasoning about Temporal Relations: A Maximal Tractable Subclass of Allen's Interval Algebra
28 pages

RR-93-12

Pierre Sablayrolles: A Two-Level Semantics for French Expressions of Motion
51 pages

RR-93-13

Franz Baader, Karl Schlechta:
A Semantics for Open Normal Defaults via a Modified Preferential Approach
25 pages

RR-93-14

Joachim Niehren, Andreas Podelski, Ralf Treinen: Equational and Membership Constraints for Infinite Trees
33 pages

RR-93-15

Frank Berger, Thomas Fehrle, Kristof Klöckner, Volker Schölles, Markus A. Thies, Wolfgang Wahlster: PLUS - Plan-based User Support
Final Project Report
33 pages

RR-93-16

Gert Smolka, Martin Henz, Jörg Würtz: Object-Oriented Concurrent Constraint Programming in Oz
17 pages

RR-93-17

Rolf Backofen: Regular Path Expressions in Feature Logic
37 pages

RR-93-18

Klaus Schild: Terminological Cycles and the Propositional μ -Calculus
32 pages

RR-93-20

Franz Baader, Bernhard Hollunder: Embedding Defaults into Terminological Knowledge Representation Formalisms
34 pages

RR-93-22

Manfred Meyer, Jörg Müller: Weak Looking-Ahead and its Application in Computer-Aided Process Planning
17 pages

RR-93-23

Andreas Dengel, Ottmar Lutz: Comparative Study of Connectionist Simulators
20 pages

RR-93-24

Rainer Hoch, Andreas Dengel: Document Highlighting — Message Classification in Printed Business Letters
17 pages

RR-93-25

Klaus Fischer, Norbert Kuhn: A DAI Approach to Modeling the Transportation Domain
93 pages

RR-93-26

Jörg P. Müller, Markus Pischel: The Agent Architecture InteRRaP: Concept and Application
99 pages

RR-93-27

Hans-Ulrich Krieger: Derivation Without Lexical Rules
33 pages

RR-93-28

Hans-Ulrich Krieger, John Nerbonne, Hannes Pirker: Feature-Based Allomorphy
8 pages

RR-93-29

Armin Laux: Representing Belief in Multi-Agent Worlds via Terminological Logics
35 pages

RR-93-30

Stephen P. Spackman, Elizabeth A. Hinkelman: Corporate Agents
14 pages

RR-93-31

Elizabeth A. Hinkelman, Stephen P. Spackman: Abductive Speech Act Recognition, Corporate Agents and the COSMA System
34 pages

RR-93-32

David R. Traum, Elizabeth A. Hinkelman: Conversation Acts in Task-Oriented Spoken Dialogue
28 pages

RR-93-33

Bernhard Nebel, Jana Koehler: Plan Reuse versus Plan Generation: A Theoretical and Empirical Analysis
33 pages

RR-93-34

Wolfgang Wahlster: Verbmobil Translation of Face-To-Face Dialogs
10 pages

RR-93-35

Harold Boley, François Bry, Ulrich Geske (Eds.): Neuere Entwicklungen der deklarativen KI-Programmierung — Proceedings
150 Seiten

Note: This document is available only for a nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

RR-93-36

Michael M. Richter, Bernd Bachmann, Ansgar Bernardi, Christoph Klauck, Ralf Legleitner, Gabriele Schmidt: Von IDA bis IMCOD: Expertensysteme im CIM-Umfeld
13 Seiten

RR-93-38

Stephan Baumann: Document Recognition of Printed Scores and Transformation into MIDI
24 pages

RR-93-40

Francesco M. Donini, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, Werner Nutt, Andrea Schaerf: Queries, Rules and Definitions as Epistemic Statements in Concept Languages
23 pages

RR-93-41

Winfried H. Graf: LAYLAB: A Constraint-Based Layout Manager for Multimedia Presentations
9 pages

RR-93-42

Hubert Comon, Ralf Treinen:
The First-Order Theory of Lexicographic Path Orderings is Undecidable
9 pages

RR-93-43

M. Bauer, G. Paul: Logic-based Plan Recognition for Intelligent Help Systems
15 pages

RR-93-44

Martin Buchheit, Manfred A. Jeusfeld, Werner Nutt, Martin Staudt: Subsumption between Queries to Object-Oriented Databases
36 pages

RR-93-45

Rainer Hoch: On Virtual Partitioning of Large Dictionaries for Contextual Post-Processing to Improve Character Recognition
21 pages

RR-93-46

Philipp Hanschke: A Declarative Integration of Terminological, Constraint-based, Data-driven, and Goal-directed Reasoning
81 pages

RR-93-48

Franz Baader, Martin Buchheit, Bernhard Hollunder: Cardinality Restrictions on Concepts
20 pages

RR-94-01

Elisabeth André, Thomas Rist: Multimedia Presentations: The Support of Passive and Active Viewing
15 pages

RR-94-02

Elisabeth André, Thomas Rist: Von Textgeneratoren zu Intellimedia-Präsentationssystemen
22 pages

RR-94-03

Gert Smolka: A Calculus for Higher-Order Concurrent Constraint Programming with Deep Guards
34 pages

RR-94-05

Franz Schmalhofer, J. Stuart Aitken, Lyle E. Bourne jr.: Beyond the Knowledge Level: Descriptions of Rational Behavior for Sharing and Reuse
81 pages

RR-94-07

Harold Boley: Finite Domains and Exclusions as First-Class Citizens
25 pages

RR-94-08

Otto Kühn, Björn Höfling: Conserving Corporate Knowledge for Crankshaft Design
17 pages

DFKI Technical Memos**TM-92-02**

Achim Schupeta: Organizing Communication and Introspection in a Multi-Agent Blocksworld
32 pages

TM-92-03

Mona Singh: A Cognitive Analysis of Event Structure
21 pages

TM-92-04

Jürgen Müller, Jörg Müller, Markus Pischel, Ralf Scheidhauer: On the Representation of Temporal Knowledge
61 pages

TM-92-05

Franz Schmalhofer, Christoph Globig, Jörg Thoben: The refitting of plans by a human expert
10 pages

TM-92-06

Otto Kühn, Franz Schmalhofer: Hierarchical skeletal plan refinement: Task- and inference structures
14 pages

TM-92-08

Anne Kilger: Realization of Tree Adjoining Grammars with Unification
27 pages

TM-93-01

Otto Kühn, Andreas Birk: Reconstructive Integrated Explanation of Lathe Production Plans
20 pages

TM-93-02

Pierre Sablayrolles, Achim Schupeta: Conflict Resolving Negotiation for COoperative Schedule Management
21 pages

TM-93-03

Harold Boley, Ulrich Buhrmann, Christof Kremer: Konzeption einer deklarativen Wissensbasis über recyclingrelevante Materialien
11 pages

TM-93-04

Hans-Günther Hein: Propagation Techniques in WAM-based Architectures — The FIDO-III Approach
105 pages

TM-93-05

Michael Sintek: Indexing PROLOG Procedures into DAGs by Heuristic Classification
64 pages

DFKI Documents**D-93-03**

Stephan Busemann, Karin Harbusch(Eds.):
DFKI Workshop on Natural Language
Systems: Reusability and Modularity -
Proceedings
74 pages

D-93-04

DFKI Wissenschaftlich-Technischer
Jahresbericht 1992
194 Seiten

D-93-05

*Elisabeth André, Winfried Graf, Jochen
Heinsohn, Bernhard Nebel, Hans-Jürgen
Proftlich, Thomas Rist, Wolfgang Wahlster:*
PPP: Personalized Plan-Based Presenter
70 pages

D-93-06

Jürgen Müller (Hrsg.):
Beiträge zum Gründungsworkshop der
Fachgruppe Verteilte Künstliche Intelligenz,
Saarbrücken, 29. - 30. April 1993
235 Seiten

Note: This document is available only for a
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

D-93-07

Klaus-Peter Gores, Rainer Bleisinger:
Ein erwartungsgesteuerter Koordinator zur
partiellen Textanalyse
53 Seiten

D-93-08

Thomas Kieninger, Rainer Hoch:
Ein Generator mit Anfragesystem für
strukturierte Wörterbücher zur Unterstützung
von Texterkennung und Textanalyse
125 Seiten

D-93-09

Hans-Ulrich Krieger, Ulrich Schäfer:
TDL ExtraLight User's Guide
35 pages

D-93-10

*Elizabeth Hinkelman, Markus
Vonerden, Christoph Jung:* Natural Language
Software Registry
(Second Edition)
174 pages

D-93-11

Knut Hinkelmann, Armin Laux (Eds.):
DFKI Workshop on Knowledge
Representation Techniques — Proceedings
88 pages

D-93-12

*Harold Boley, Klaus Elsbernd,
Michael Herfert, Michael Sintek, Werner
Stein:*
RELFUN Guide: Programming with Relations
and Functions Made Easy
86 pages

D-93-14

Manfred Meyer (Ed.): Constraint Processing –
Proceedings of the International Workshop at
CSAM'93, July 20-21, 1993
264 pages

Note: This document is available only for a
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

D-93-15

Robert Laux: Untersuchung maschineller
Lernverfahren und heuristischer Methoden im
Hinblick auf deren Kombination zur
Unterstützung eines Chart-Parsers
86 Seiten

D-93-16

*Bernd Bachmann, Ansgar Bernardi, Christoph
Klauck, Gabriele Schmidt:* Design & KI
74 Seiten

D-93-20

Bernhard Herbig:
Eine homogene Implementierungsebene für
einen hybriden
Wissensrepräsentationsformalismus
97 Seiten

D-93-21

Dennis Drollinger:
Intelligentes Backtracking in Inferenzsystemen
am Beispiel Terminologischer Logiken
53 Seiten

D-93-22

Andreas Abecker: Implementierung
graphischer Benutzungsoberflächen mit Tcl/Tk
und Common Lisp
44 Seiten

D-93-24

Brigitte Krenn, Martin Volk:
DiTo-Datenbank: Datendokumentation zu
Funktionsverbgefügen und Relativsätzen
66 Seiten

D-93-25

Hans-Jürgen Bürckert, Werner Nutt (Eds.):
Modeling Epistemic Propositions
118 pages

Note: This document is available only for a
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

D-93-26

Frank Peters:
Unterstützung des Experten bei der
Formalisierung von Textwissen
INFOCOM - Eine interaktive
Formalisierungskomponente
58 Seiten

D-94-01

Josua Boon (Ed.):
DFKI-Publications: The First Four Years
1990 - 1993
75 pages