

Aus dem Institut für Sport- und Präventivmedizin  
der Universität des Saarlandes  
Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Tim Meyer

# **Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 auf dem Fußballplatz im Jugend-, Amateur- und Profibereich**

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

2023

vorgelegt von: Sebastian Thomas Schreiber  
geboren am: 29.03.1996 in 66424 Homburg/Saar

Tag der Promotion: 13. Dezember 2023

Dekan: Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Tim Meyer

Prof. Dr. med. Philipp Lepper

Prof. Dr. rer. nat. Martina Sester

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
<b>1 Zusammenfassung/Abstract.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Einleitung.....</b>	<b>5</b>
2.1 Infektiosität von SARS-CoV-2 und klinischer Verlauf von COVID-19.....	7
2.2 SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7.....	10
2.3 Analytik und Interpretation .....	11
2.3.1 Antigen-Schnelltests .....	11
2.4 Übertragungswege von SARS-CoV-2.....	12
2.4.1 Übertragung von SARS-CoV-2 in geschlossenen Räumen.....	13
2.4.2 Übertragung von SARS-CoV-2 im Außenbereich.....	14
2.5 Infektionsrelevante Kontakte im Fußball.....	15
2.6 Forschungsdefizit.....	17
2.7 Studienziel .....	18
<b>3 Material und Methodik .....</b>	<b>19</b>
3.1 Studiendesign .....	19
3.2 Testalgorithmen im Profi-, Amateur- und Jugendfußball .....	23
3.3 Probanden- bzw. Patientenauswahl .....	24
3.3.1 Einschlusskriterien .....	24
3.3.2 Ausschlusskriterien .....	26
3.4 Videoanalysen .....	27
3.4.1 Vorbereitung der Videoanalysen.....	27
3.4.2 Analyseparameter.....	27
3.4.3 Standardisierung.....	28

---

3.5	Statistik .....	29
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>30</b>
4.1	SARS-CoV-2-Übertragung während Trainingseinheiten und Spielen .....	35
4.2	COVID-19-assoziierte Symptome.....	36
4.2.1	Symptom-Monitoring.....	37
4.3	Quarantänemaßnahmen.....	38
4.4	Videoanalyse .....	40
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>44</b>
5.1	SARS-CoV-2-Übertragung auf dem Spielfeld.....	44
5.2	Videoanalyse und infektionsrelevante Kontakte .....	46
5.3	Evaluation von Quarantänemaßnahmen .....	49
5.4	Methodische Überlegungen und Limitationen.....	49
5.4.1	Limitationen im Jugend- und Amateurfußball .....	51
5.4.2	Limitationen im Profifußball.....	52
5.5	Vergleichbarkeit mit Studien ähnlicher Fragestellungen.....	53
5.6	Ausblick.....	54
5.6.1	Psychosoziale Aspekte .....	55
5.7	Schlussfolgerungen .....	57
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>69</b>
7.1	Studieninformation .....	69
7.2	Datenschutzinformation und Einwilligungserklärung .....	70
7.3	Fragebogen (Meldung eines SARS-CoV-2-Falls im Verein).....	72
7.4	Fragebogen Symptom-Monitoring als Flussdiagramm .....	76
	<b>Danksagung.....</b>	<b>77</b>
	<b>Publikationen.....</b>	<b>78</b>
	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>79</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Proportionaler Anteil von Torjubel- und Eckballsituationen bezogen auf die Gesamtzahl enger Kontakte während eines Fußballspiels .....	16
Abbildung 2: Online-Fragebogen (Meldung eines SARS-CoV-2-Falls im Verein).....	22
Abbildung 3: Bereich der maximalen Ansteckungsgefahr $\pm$ 2 Tage nach dem Auftreten von Symptomen .....	26
Abbildung 4: Flussdiagramm der Fallrekrutierung unter Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien. ....	32
Abbildung 5: Fußballspieler (n=63) mit COVID-19-typischen Symptomen ( $\geq 2$ pro Spieler) während der akuten Phase der Erkrankung... ..	36
Abbildung 6: Darstellung der Testergebnisse der exponierten Spieler mit COVID-19-typischen Symptomen und ihrer Mannschaftszugehörigkeit (n=11).....	37
Abbildung 7: Symptom-Monitoring (innerhalb von 14 Tagen) von Amateur- und Jugendspielern (Teilnahme an 60 Trainingseinheiten oder Spielen), die gegenüber einem potenziell infektiösen SARS-CoV-2-Spieler exponiert waren .....	38
Abbildung 8: PCR-Testreihen beider Mannschaften innerhalb von 14 Tagen nach dem Spiel .....	43

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definitionen von Kontakten und Situationen mit erhöhtem SARS-CoV-2-Infektionsrisiko während eines Fußballspiels.....	29
Tabelle 2: Demografische Daten der 165 eingeschlossenen potenziell infektiösen Spieler	31
Tabelle 3: Übersicht der Wettbewerbe unterschiedlicher Leistungsniveaus sowie der durchgeführten Videoanalysen mit insgesamt 104 Spiel- oder Trainingseinheiten mit Teilnahme von mindestens einem SARS-CoV-2-positiven, potenziell infektiösen Spieler. ...	34
Tabelle 4: Entscheidungen der lokalen Gesundheitsämter bezüglich Quarantänemaßnahmen im Profi-, Amateur- und Jugendfußball (n=104).....	39
Tabelle 5: Anzahl der übertragungsrelevanten Kontakte pro Spielerstunde analysiert von 2 unabhängigen Gutachtern.....	41
Tabelle 6: Übersicht über infektionsrelevante Kontakte von 4 potenziell infektiösen SARS-CoV-2 (B.1.1.7) – positiven Spielern einer deutschen Profimannschaft während eines Spiels im Februar 2021.....	42

# Abkürzungsverzeichnis

ACE-2	Angiotensin Converting Enzyme 2
AHA	Abstand-Hygiene-Alltagsmaske
BAL	bronchoalveoläre Lavage
cDNA	complementary deoxyribonucleic acid
CE	Conformité Européennes
COPSY	Corona und Psyche
COVID-19	coronavirus disease 19
Ct	cycle threshold
DFB	Deutscher Fußball-Bund
DFL	Deutsche Fußball Liga
DLS	Dynamische Lichtstreuung
DNA	deoxyribonucleic acid
dNTPs	Desoxyribonukleosidtriphosphate
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EM	Europameisterschaft
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
FLV	Fußball-Landesverband
GPS	global positioning system
IQR	Interquartilsabstand
KNVB	Königlicher Niederländischer Fußballbund
LDH	Lactatdehydrogenase
mRNA	messenger ribonucleic acid
MW	Mittelwert
PCR	polymerase chain reaction

---

PHEIC	public health emergency of international concern
q-PCR	quantitative polymerase chain reaction
qRT-PCR	quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction
RKI	Robert-Koch-Institut
RNA	ribonucleic acid
RT	Reverse Transkriptase
R <sub>0</sub>	Basisreproduktionszahl
SARS-CoV-2	severe acute respiratory syndrome coronavirus 2
SGTF	S gene target failure
ST	Spieltag
UEFA	Union of European Football Associations
VOC	variant of concern
WHO	World Health Organization
WM	Weltmeisterschaft

# 1 Zusammenfassung/Abstract

Die COVID-19-Pandemie stellt als gesamtgesellschaftliche Krise auch den Fußball vor besondere Herausforderungen. Zur Aufrechterhaltung des Spielbetriebs wurden im Fußball strenge Hygienemaßnahmen getroffen, um die Übertragung des neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) zu reduzieren. Die Nicht-Einhaltung dieser Maßnahmen wird im Sport als häufige Ursache einer SARS-CoV-2-Übertragung vermutet. Bezogen auf den Fußball stellt sich die Frage, ob SARS-CoV-2-Infektionen während des Fußballspielens auf dem Spielfeld oder eher im privaten Umfeld entstehen. Ein möglicher Ansatz zur Abschätzung der Infektionsgefahr während eines Fußballspiels oder -trainings ist die Analyse fußballspezifischer Kontakte kombiniert mit einem „Corona-Monitoring“ der Spieler (PCR-Testungen und Symptomüberwachung).

Der Zusammenhang zwischen fußballspezifischen Kontakten und der Übertragung von Atemwegsinfektionen auf dem Spielfeld ist bisher unklar. Die vorliegende Studie untersuchte daher Spiele und Trainingseinheiten im Fußball mit Teilnahme von SARS-CoV-2-positiven Spielern im Jugend-, Amateur- und Profibereich, die zum Zeitpunkt der Teilnahme potenziell infektiös waren. Die Rekrutierung der Fälle erfolgte durch ein bundesweites Meldesystem von 20 Fußball-Landesverbänden des Deutschen Fußball-Bundes (Jugend- und Amateurbereich) und einer systematischen Medienrecherche (Profibereich).

Die Studie fand zwischen August 2020 und März 2021 statt. Infektiöse Spieler wurden nach strengen Einschlusskriterien (Zeitpunkt positiver PCR-Test, allfälliger Symptombeginn) definiert. Im Profibereich fand eine PCR-Testung mindestens zweimal pro Woche statt, im Jugend- und Amateurbereich nur auf Anordnung lokaler Gesundheitsämter oder auf freiwilliger Basis. Übertragungsrelevante Kontakte auf dem Spielfeld wurden per Videoanalyse durch 2 unabhängige Gutachter ausgewertet.

Von 1247 Fußballspielen und Trainingseinheiten (1071 im Jugend- und Amateurbereich, 176 im Profibereich) wurden 104 Fälle (38 Trainingseinheiten, 66 Spiele) mit 165 als potenziell infektiös definierten Spielern in die Studie eingeschlossen. Im Profibereich kam es auf Basis mindestens zweimal pro Woche stattfindender PCR-Testungen in insgesamt 44 Fällen zu keiner Übertragung auf dem Spielfeld. Im Jugend- und Amateurbereich konnte auf Basis nur teilweise stattfindender PCR-Testungen (31 von 60 Fällen) in Kombination mit einem Symptom-Monitoring bis 14 Tage nach Exposition (46 von 60 Fällen) in 2 von 60 Spielen eine SARS-CoV-2-Übertragung nicht gänzlich ausgeschlossen werden. In beiden Spielen wurden jedoch als Infektionsquelle Situationen außerhalb des Spielfeldes identifiziert. Übereinstimmend zeigte die durchgeführte Videoanalyse, dass Hochrisikokontakte (Spieler in

frontaler Ausrichtung zueinander) <1 pro Spielerstunde bei 30 von 34 Spielern (88%) waren und nicht länger als drei Sekunden dauerten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Übertragungsrisiko von SARS-CoV-2 auf dem Fußballplatz als sehr gering einzuschätzen ist. Die Infektionsquellen sind eher neben als auf dem Spielfeld zu suchen.

# **On-field transmission risk of SARS-CoV-2 at youth, amateur and professional football (soccer)**

As a crisis affecting society as a whole, the COVID-19 pandemic also poses special challenges for football. Strict hygiene measures have been implemented in football to maintain match operations and reduce transmission of the novel coronavirus SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2). Non-compliance to these measures is thought to be a common cause of SARS-CoV-2 transmission in sport. As far as football is concerned, the question arises as to whether SARS-CoV-2 infections occur on the pitch or rather in the private environment. One possible approach to assessing the risk of infection during a football match or training is the analysis of football-specific contacts in combination with a "corona-monitoring" of the players (PCR tests and symptom monitoring).

The link between football-specific contacts and the transmission of respiratory infections on the pitch is still unclear. The present study therefore investigated matches and training sessions in football with participation of SARS-CoV-2-positive players at youth, amateur and professional level who were potentially infectious at the time of participation. The cases were recruited through a nationwide registry of 20 regional chapters of the German Football Association (youth and amateur level) and a systematic media search (professional level).

The study was conducted between August 2020 and March 2021. Infectious players were defined according to strict inclusion criteria (time of positive PCR test, symptom onset). At professional level, PCR testing took place at least twice a week, at youth and amateur level only when ordered by local health authorities or on a voluntary basis. Transmission-relevant contacts on the pitch were evaluated through video analysis by 2 independent reviewers.

Out of 1247 football matches and training sessions (1071 at youth and amateur level, 176 at professional level), 104 cases (38 training sessions, 66 matches) with 165 players defined as potentially infectious were included in the study. At professional level, based on PCR testing at least twice a week, there was no on-field transmission in a total of 44 cases. At youth and amateur level, based on only partial PCR testing (31 of 60 cases) combined with symptom monitoring up to 14 days after exposure (46 of 60 cases), SARS-CoV-2 transmission could not be completely ruled out in 2 of 60 matches. However, in both matches, off-field situations were identified as the source of infection. Consistently, the video analysis showed that high-risk contacts (players facing each other) were  $<1$  per player-hour for 30 of 34 players (88%) and lasted no longer than three seconds.

---

In summary, the risk of SARS-CoV-2 transmission on the football pitch can be considered very low. The sources of infection are more likely to be found near the pitch than on it.

## 2 Einleitung

Das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2) führt bei symptomatischem Verlauf zur COVID-19-Erkrankung (coronavirus disease 2019), welche milde, aber auch tödlich verlaufen kann.[60] Ursprünglich trat COVID-19 im Dezember 2019 in Wuhan (Volksrepublik China) als Epidemie auf.[86] Nachdem im Januar 2020 erste Fälle in Europa (Frankreich) bestätigt wurden[2,113], vermeldete der Landkreis Starnberg in Bayern Ende Januar 2020 den ersten deutschen Fall. Aus zunächst einzelnen Epidemien wurde schnell eine Pandemie. Die weltweite Virusausbreitung führte dazu, dass die WHO (World Health Organization) am 30.01.2020 von einer „gesundheitlichen Notlage von internationaler Tragweite“ (public health emergency of international concern, PHEIC) sprach. Steigende Infektionszahlen und Todesfälle führten zu strikter Umsetzung von Präventionsmaßnahmen zur Eindämmung der Infektionsausbreitung durch die Politik. Hierzu zählten Händehygiene, Abstandhaltung von 1,5 Meter zu anderen Personen, Maskenpflicht und landesweite Lockdowns aller gesellschaftlichen Treffpunkte.[108] Die Bundesregierung verhängte nach dem ersten Lockdown (Mitte März bis Anfang Mai 2020) einen zweiten, der von November 2020 bis Mai 2021 andauerte. Im Juli 2020 gab es gemäß der Johns-Hopkins-Universität (Baltimore, Maryland, USA) weltweit über 15 Millionen SARS-CoV-2-Infektionen und hierunter mehr als 600.000 gemeldete Todesfälle. In Deutschland wurden Mitte Dezember 2020 erstmals mehr als 28.000 Neuinfektionen innerhalb eines Tages von den Gesundheitsämtern an das Robert-Koch-Institut (RKI) gemeldet.[81] Die Zahl der Infizierten stieg stetig weiter, sodass sich bis April 2021 weltweit mehr als 147 Millionen Menschen mit SARS-CoV-2 infiziert hatten und die Zahl der Todesopfer in diesem Zusammenhang auf 3,1 Millionen stieg. Die COVID-19-Pandemie stellt nicht nur das gesamtgesellschaftliche Miteinander, die Gesundheitssysteme sowie die Wirtschaft vor immense Herausforderungen, sondern auch den Sport. Unter präventivmedizinischen Aspekten sollten die gesundheitlichen und psychologischen Folgen der pandemiebedingten Sportpausen nicht vernachlässigt werden. Es ist hinlänglich bekannt, dass eine regelmäßige sportliche Betätigung gesundheitsfördernde Effekte zur Folge hat[107] und soll an dieser Stelle nicht tiefergehend thematisiert werden. Aus psychologischer Sicht sind insbesondere Kinder und Jugendliche von den Folgen der behördlichen Eindämmungsmaßnahmen betroffen. Neben dem Verlust der gewohnten Tagesstrukturen führten darüber hinaus auch Kontaktabbrüche dazu, dass Symptome von Angst und Depression immer häufiger auftraten.[87] Wie weitreichend die Konsequenzen sein können, zeigte sich auch im professionellen Fußball, als im Jahr 2020 die UEFA (Union of European Football Associations) Europameisterschaft um ein Jahr verlegt wurde. Der internationale Fußball wurde in den letzten Jahren des Öfteren mit Infektionskrankheiten konfrontiert. Obwohl professionelle Sportler zumeist intensiv

medizinisch betreut werden, konnte eine kürzlich durchgeführte Studie relevante Immunitätslücken bei Fußballern der deutschen 1. und 2. Bundesliga feststellen.[73] In den vergangenen beiden Jahrzehnten gab es in einigen Ländern, in denen Welt- und Europameisterschaften ausgetragen wurden, zeitgleich Masernausbrüche in der Allgemeinbevölkerung (z.B. Weltmeisterschaft (WM) 2006 in Deutschland, Europameisterschaft (EM) 2008 in Österreich/Schweiz, WM 2010 in Südafrika, EM 2012 in Polen/Ukraine)[33,78]. Denguefieber hingegen war aufgrund des saisonalen Infektionsrisikos für den Fußball während der WM in Brasilien kaum von Relevanz.[1] Da effektive Kombinationsimpfstoffe gegen Mumps, Masern und Röteln als Standardimpfung vorliegen, wird diese Impfung bereits im Kindesalter empfohlen.[82] Dies unterscheidet die genannten Infektionskrankheiten deutlich von der COVID-19-Erkrankung, für die fast 1 Jahr nach Pandemieausbruch kein Impfstoff zur Verfügung stand. Im Dezember 2020 und Januar 2021 wurden erstmals zwei mRNA (messenger ribonucleic acid) - Impfstoffe in der Europäischen Union zugelassen. Ein Blick auf die aktuell verfügbare wissenschaftliche Literatur zu Ausbrüchen von Infektionskrankheiten (z.B. Infektionen mit Methicillin-resistentem *Staphylococcus aureus*, Herpes-simplex-Viren, Noroviren, *Trichophyton*spezies) im Mannschaftssport zeigt, dass es sich meist um dermale[19,95] oder fäkal-orale Übertragungen[75] handelte. Die respiratorische Übertragung von Viren scheint im Mannschaftssport eher selten zu sein.[95] Während der COVID-19-Pandemie wurden verschiedene Hygienemaßnahmen im Fußball und anderen Mannschaftssportarten umgesetzt, um die Übertragung von SARS-CoV-2 zu reduzieren. Von besonderer Relevanz waren Abstandsregeln abseits des Platzes. Meyer et al. (2020)[63] evaluierten die Wiederaufnahme des Spielbetriebs in der 1. und 2. Fußball Bundesliga über einen Zeitraum von neun Wochen (Mai – Juli 2020). Durch strikte Abstandsregeln, regelmäßige Testungen (PCR (polymerase chain reaction) oder Antigenschnelltest) für alle nicht als geimpft oder genesen geltenden Personen, Maskenpflichten und Symptomfragebögen gemäß dem angepassten DFL (Deutsche Fußball Liga) – Hygienekonzept[50] konnte der Trainings- und Spielbetrieb im professionellen Bereich auch während der Pandemie durchgeführt werden.[63] Zudem wurden im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten auch im Amateur- und Jugendfußball präventive Maßnahmen umgesetzt. Neben Händedesinfektion und regelmäßigen Messungen der Körpertemperatur wurden häufig genutzte Innenräume wie Umkleidekabinen und Duschen geschlossen, Gesichtsmasken auf dem Vereinsgelände getragen und freiwillige PCR-Testungen (auf eigene Kosten, sofern nicht behördlich angeordnet) durchgeführt. Zu Beginn der Pandemie waren gut validierte Antigenschnelltests weder weit verbreitet, noch konnten sie breitflächig kostenlos angeboten werden. Im März 2021 (am Ende des Studienzeitraums vorliegender Studie) beschlossen Bund und Länder jedem Bürger einen kostenlosen Antigen-Schnelltest pro Woche zur Verfügung zu stellen. Die

Organisation und Prüfung zur Einhaltung der genannten Maßnahmen verlief im Amateur- und Jugendbereich deutlich problematischer als im Profifußball. Wurde ein Amateurspieler positiv auf SARS-CoV-2 getestet, musste sich nicht selten pauschal die komplette Mannschaft (und zum Teil ebenso pauschal die gegnerische Mannschaft) ohne genaue Prüfung der jeweiligen Umstände für eine Zeit von 7-10 Tagen in häusliche Quarantäne begeben. Diese Maßnahmen führten zu beruflichen Problemen der zahlreichen Arbeitnehmer und Selbstständigen unter den Spielern, Trainern und Betreuern, was sich nicht selten in ernstzunehmenden existenziellen Ängsten äußerte. Sobald sich ein Fußballspieler infizierte, stellte sich stets die Frage, ob die Infektionsübertragung außerhalb des Platzes (privates Umfeld) oder auf dem Platz (Training oder Spiel) geschah. Während das private Umfeld eine sehr nachvollziehbare Quelle darstellt, ist die Aktivität auf dem Fußballplatz hinsichtlich infektionsrelevanter Kontakte bisher in nur einer einzigen Studie untersucht worden.[32] Allerdings konnte das tatsächliche Übertragungsrisiko auf dem Platz durch Exposition zu versehentlich am Training oder Spiel teilnehmenden SARS-CoV-2-positiven Spielern (asymptomatisch oder Testergebnis verspätet erhalten) nur in einer Fallstudie, nicht jedoch an einer großen Fallzahl beschrieben werden.[29] Die Knappheit der verfügbaren Daten liegt offensichtlich darin begründet, dass aus ethischer Sichtweise keine prospektive Studie designed werden kann, deren Intervention es wäre, SARS-CoV-2-positive Spieler in einem Spiel gegen SARS-CoV-2-negative Spieler antreten zu lassen. Es bleibt also nur ein beobachtender Ansatz solcher Fälle, die verständlicher Weise rein zufällig auftreten. Ziel dieser Studie war es daher, möglichst umfangreich solche Fälle im deutschen und internationalen Profifußball und breitflächig im deutschen Amateur- und Jugendfußball zu analysieren. Grundlegende Methodik war ein deutschlandweites Meldesystem der Fußball-Landesverbände sowie eine Medienrecherche. Zusätzlich wurden je nach Verfügbarkeit Videoanalysen einzelner Spiele mit Fokus auf infektionsrelevante Kontakte durchgeführt.

## **2.1 Infektiosität von SARS-CoV-2 und klinischer Verlauf von COVID-19**

Bei der Infektion mit SARS-CoV-2 bindet das Virus mit dem Spikeprotein an das transmembranäre Protein ACE-2 (Angiotensin Converting Enzyme 2), um in die Wirtszelle zu gelangen. ACE-2 wird hauptsächlich von Zellen im Respirationstrakt produziert, kommt aber auch als löslicher Rezeptor im Serum vor. Darüber hinaus exprimieren Enterozyten, Gefäßendothel-, Nierenepithel- und Myokardzellen dieses Protein.[41,54,100,121]

Weitergehende histopathologische Untersuchungen zeigten eine Affinität von SARS-CoV-2 zu (u.a.) Lunge, Darm, Niere, Herz und ZNS.[70,92] Weiterhin wurde ersichtlich, dass die Infektiosität ca. 5-6 Tage vor dem Auftreten erster Symptome beginnt und das im Zeitfenster von 48 Stunden vor bzw. nach Symptombeginn die höchste Infektiosität besteht.[40]

### **Klinischer Verlauf**

Die mittlere Inkubationszeit einer SARS-CoV-2-Infektion wird in einer Meta-Analyse mit 5,8 Tagen angegeben, wobei Inkubationszeiten von 1–14 Tagen beschrieben werden.[56,61,112] Klinisch betrachtet kann eine SARS-CoV-2-Infektion symptomatisch oder asymptomatisch verlaufen. Neben asymptomatischen Verläufen, für deren prozentualen Anteil verschiedene Angaben existieren (20%-40%)[11,68], treten auch schwere Verläufe bis hin zum Tod auf.[112] Laut der WHO sind Fieber (87,9%), trockener Husten (67,7%) und Ermüdung (38,1%) die häufigsten Symptome.[112] Bei 1702 SARS-CoV-2-Infektionen trat in 59% Geruchs- und Geschmacksverlust auf.[62]

Untersuchungen an mehr als 44.000 bestätigten COVID-19-Fällen zeigten, dass die Erkrankung in 81% der Fälle mild (keine oder milde Pneumonie) verläuft.[115] Schwere Verläufe, die durch Dyspnoe, eine Atemfrequenz  $\geq 30/\text{min}$ , eine Sauerstoffsättigung im Blut  $\leq 93\%$ , einem Horowitz-Quotienten (Verhältnis des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks zur inspiratorischen Sauerstoffkonzentration)  $< 300$  und/oder Lungeninfiltraten innerhalb von 24 bis 48 Stunden definiert sind und häufig eine stationäre Behandlung erfordern können, treten bei 14% der Patienten auf.[115] Als kritisch wird der Verlauf von COVID-19 dann bezeichnet, wenn neben respiratorischer Erschöpfung auch ein septischer Schock und/oder Multiorganstörungen bzw. -versagen klinisch manifest werden. Diese kritischen Verläufe, die nicht selten mit intensivmedizinischer Behandlung und maschineller Beatmung einhergehen, zeigen sich bei etwa 5% aller bestätigten COVID-19-Fälle.[115] Unter laborchemischen Gesichtspunkten deuten stark erhöhte Werten von Ferritin, Interleukin-6, LDH (Lactatdehydrogenase) und D-Dimeren auf einen ungünstigen Krankheitsverlauf hin.[48,119] Auffallend ist weiterhin, dass etwa 85% der schwer erkrankten Patienten eine Lymphopenie entwickeln und nicht selten eine Hyperzytokinämie.[8] Im Kontext der überschießenden Immunreaktion steht die Überproduktion entzündungsrelevanter Zytokine (Interleukin-6, Interleukin-8, Interleukin-1 $\beta$ , Tumornekrosefaktor- $\alpha$ ) im Vordergrund dieser Pathophysiologie.

Die oben erwähnte Studie zeigte, dass 87% aller COVID-19-Patienten in der Altersgruppe 30-79 Jahre liegen, während die 0-20-Jährigen (2%) sowie die  $\geq 80$ -Jährigen (3%) wesentlich kleinere Gruppen darstellen.[115] Von den insgesamt 44.672 bestätigten Fällen waren 3619

(8%) Patienten zwischen 20 und 29 Jahren alt.[115] Laut der WHO laufen Menschen mit Bluthochdruck, Diabetes, kardiovaskulären Erkrankungen, chronischen Atemwegserkrankungen, Krebserkrankungen oder einem Alter  $\geq 60$  Jahren Gefahr, einen schweren Krankheitsverlauf zu erleiden.[112]

Obwohl es bislang noch keine einheitliche Definition für gesundheitliche Spät- oder Langzeitfolgen nach einer SARS-CoV-2-Infektion gibt, wird laut aktuellen deutschen Leitlinien zwischen Long COVID und Post-COVID-19-Syndrom unterschieden.[5] Bei Long COVID bestehen die typischen Symptome der COVID-19-Erkrankung länger als 4 Wochen und können durch neue Symptome ergänzt werden. In wissenschaftlichen Studien traten Müdigkeit, Erschöpfung und eingeschränkte Belastbarkeit (Fatigue), Kurzatmigkeit, Konzentrations- und Gedächtnisprobleme („brain fog“), Muskelschwäche und -schmerzen, Einschränkungen von Geruch und Geschmack, Schlafstörungen sowie psychische Probleme (z.B. depressive Stimmung, Angstsymptome) am häufigsten auf.[66] Beim Post-COVID-19-Syndrom zeigen sich diese Beschwerden, die nicht auf andere Ursachen zurückgeführt werden können, auch noch 12 Wochen nach dem Beginn der SARS-CoV-2-Infektion. Long/Post-COVID-Symptome können bei Patienten mit initial mildem Verlauf auftreten[76], wobei die Auftretenswahrscheinlichkeit bei initial schwereren Verläufe höher ist.[5] Schätzungen zufolge, sind etwa 15% aller Patienten nach einer SARS-CoV-2-Infektion von Long COVID-Symptomen betroffen.[5]

### **Basisreproduktionszahl**

Wie viele Personen durchschnittlich von einer infizierten Person angesteckt werden, gibt die Basisreproduktionszahl  $R_0$  an. Bei diesem Parameter wird jedoch vorausgesetzt, dass in der Bevölkerung keine Immunität besteht und keine Maßnahmen zur Infektionsprävention ergriffen wurden. Wissenschaftlichen Untersuchungen zufolge, wurde dieser Wert auf 2,24-3,58 geschätzt.[52] Dies bedeutet, dass 1 infizierte Person durchschnittlich 2,24-3,58 Individuen einer gesunden Population ohne Immunität infiziert. Diese Basisreproduktionszahl ist jedoch ein Wert, der spezifisch für eine bestimmte Gruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt ist und erlangt somit keine Allgemeingültigkeit. Das Ergreifen infektionspräventiver Maßnahmen sowie die zunehmende Immunisierung innerhalb der Bevölkerung (durch Impfungen und durchgemachte Infektionen) schmälern die Aussagekraft von  $R_0$ , da hierdurch die Anzahl suszeptibler Kontaktpersonen sinkt. Es resultiert die effektive Reproduktionszahl ( $R_{eff}$ ). Die vorliegende Studie wurde im Zeitraum von August 2020 bis März 2021 durchgeführt. Während dieser Periode belief sich die durchschnittliche  $R_{eff}$  auf  $1,06 \pm 0,02$ , während die

durchschnittliche Sieben-Tage-Inzidenz 81,7 Neuinfektionen pro 100.000 Einwohner betrug (Berechnungen des RKI auf Basis von  $R_{\text{eff}}$ ).

## 2.2 SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7

Die SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7 (Alpha-Variante), seit Dezember 2020 auch VOC (variant of concern) 202012/01 genannt, wurde erstmals im Herbst 2020 in Großbritannien entdeckt.[111] Sie zeigt multiple Mutationen, die insbesondere mit Veränderungen im Spike-Protein, einem Antigen der Virusoberfläche, einhergehen. Während eines PCR-Tests kann es folglich zu einer Verhinderung der Amplifikation des S-Gen-Targets kommen, was auch als S-Gene-Target-Failure (SGTF) bezeichnet wird. Dieses Charakteristikum kann genutzt werden, um die SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7 vom Wildtyp abzugrenzen. Es wird angenommen, dass die Variante leichter von Mensch zu Mensch übertragen werden kann. Neben einer höheren Viruslast, die nach Kidd et al. (2021)[46] vermutlich auf das SGTF-Profil zurückgeführt werden kann, wird auch eine höhere Affinität des mutierten Spikeproteins zum ACE-2-Rezeptor als mögliche Erklärung angeführt.[45,46,117] Kürzlich durchgeführte Untersuchungen implizieren darüber hinaus, dass die Reproduktionszahl der Alpha-Variante etwa um den Faktor 1,5 größer ist als die des Wildtyps.[102,103] Neben der erhöhten Reproduktionszahl wird weiterhin vermutet, dass die SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7 mit einem erhöhten Mortalitätsrisiko einhergeht.[15] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie (Studienzeitraum: August 2020-März 2021) zeigt sich, dass die Alpha-Variante im Herbst 2020 bereits während des Studienzeitraums als VOC von der WHO eingestuft wurde.

Die Delta-Variante (B.1.617.2) hingegen wurde erst im Mai 2021 von der WHO als VOC eingestuft [111], jedoch ist ihr Vorkommen gegen Ende des Studienzeitraums (Januar-März 2021) in den 14 untersuchten Ländern nicht auszuschließen. Gegenüber der Alpha-Variante war die Delta-Variante für die vorliegende Studie dennoch von geringer Relevanz.

## 2.3 Analytik und Interpretation

Zum Nachweis einer Infektion mit dem neuartigen SARS-CoV-2 gilt die qRT-PCR (quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction) in der Akutphase als Goldstandard.[109] Hierbei werden Patientenproben aus naso- und oropharyngealen Abstrichen untersucht. Seltener stammen die Untersuchungsmaterialien auch aus Sputum, Trachealsekret oder der BAL (bronchoalveoläre Lavage). Ziel ist es, das genetische Material zu isolieren, zu amplifizieren und bestimmte Ziel-Gene nachzuweisen. Durch Fluoreszenz-Messungen erfolgt die Quantifizierung der gewonnenen DNA (deoxyribonucleic acid). Bei der qRT-PCR ist der q-PCR (quantitative polymerase chain reaction), auch rt-PCR (real time polymerase chain reaction) genannt, noch eine reverse Transkription vorgeschaltet. Das Genom des SARS-CoV-2, welches als einzelsträngiges RNA (ribonucleic acid)-Molekül vorliegt, wird also zunächst durch eine reverse Transkriptase (RT) in eine cDNA (complementary deoxyribonucleic acid) umgeschrieben. Entsprechend ihrer Funktion ist die RT eine RNA-abhängige DNA-Polymerase. Im Anschluss wird diese cDNA mit Hilfe der PCR amplifiziert. Die Umwandlung der Virus-RNA in eine cDNA ist notwendig, da die bei der PCR zum Einsatz kommende thermostabile DNA-Polymerase DNA-abhängig arbeitet. [3]

### 2.3.1 Antigen-Schnelltests

Seit Herbst 2020 sind naso-/oropharyngeale Abstriche auch als SARS-CoV-2-Antigenschnelltest verfügbar. Sie beruhen auf dem Nachweis viraler Proteine (meist Nukleokapsid-Protein (N), seltener Spike-Protein (S)) im Probenmaterial. Am Ende des Studienzeitraums (März 2021) wurde durch die „Taskforce Testlogistik“ der Bundesregierung ein kostenloser Schnelltest pro Woche und Bürger ermöglicht. Einerseits bestehen Vorteile dieser Tests in geringeren Kosten sowie im geringen zeitlichen Aufwand, denn diese diagnostische Methode ist mit 15-30 Minuten um ein Vielfaches schneller als ein PCR-Test. Andererseits konnten erste Studien zeigen, dass nicht alle zugelassenen Schnelltests die geforderten Sensitivitätskriterien (minimal akzeptierte Sensitivität: 75%, bezogen auf einen ct (cycle threshold, s.u.)-Wert <25) erfüllen.[85] Scheiblaue et al. (2021)[85] führten eine Sensitivitätsbewertung von 122 CE (Conformité Européennes)-gekennzeichneten Antigen-Schnelltests durch. 79% (96 von 122 Tests) aller untersuchten Tests erfüllten die Kriterien. Laut RKI bedarf ein positiver Antigen-Schnelltest einer Nachtestung mit einem PCR-Test. Weiterhin schließt ein negativer Antigenschnelltest eine SARS-CoV-2-Infektion nicht aus. In

einer Cochrane-Analyse lag die durchschnittliche Spezifität der untersuchten Antigen-Schnelltests bei 99,5%. [26]

## 2.4 Übertragungswege von SARS-CoV-2

SARS-CoV-2 kann auf verschiedenen Wegen übertragen werden. Den Hauptübertragungsweg stellen die von einer erkrankten Person emittierten virushaltigen Partikel dar. Je nach Größe wird zwischen Tröpfchen und Aerosolen differenziert. Die Teilchen von Aerosolen haben einen Durchmesser von kleiner als 5 Mikrometer, Tröpfchen sind mit 5-10 Mikrometer etwa zweimal so groß. [110] Über die Mukosa von Nase, Mund und Konjunktiven gelangen die Viren in den Körper. Beim Atmen, Niesen, Sprechen und Husten kann das Virus übertragen werden. [4,21,38] Es konnte gezeigt werden, dass die Anzahl emittierter Viruspartikel mit der Lautstärke beim Sprechen korreliert. [4] Aufgrund der physikalischen Eigenschaften der virushaltigen Partikel sinken die schwereren Tröpfchen schneller zu Boden. Die Aerosole hingegen verbleiben länger in der Luft und können größere Distanzen überwinden. [104] Da bei Intubationen oder Bronchoskopien solche infektiösen Aerosole entstehen können, ist bei invasiven Maßnahmen im Respirationstrakt besondere Vorsicht geboten. Bischoff et al. (2013) [9] untersuchten Aerosole in der nahen Umgebung (Innenbereich) von Influenza-Patienten. Beim Influenzavirus handelt es sich wie auch beim SARS-CoV-2 um ein hauptsächlich respiratorisch übertragbares Virus. Die Untersuchungen zeigten, dass in einer Entfernung von 1,8 Metern zur infizierten Person ein erhöhtes Risiko besteht, sich mit dem Virus zu infizieren. [9] Im Außenbereich ist das SARS-CoV-2-Infektionsrisiko aufgrund von Verdünnungseffekten der emittierten Tröpfchen und Aerosole jedoch als gering anzusehen. [12,18,118] Eine passive SARS-CoV-2-Infektion durch Kontakt zu kontaminierten Oberflächen mit vermehrungsfähigen Viren und anschließendem Kontakt zur Mund- und Gesichtsschleimhaut ist eher unwahrscheinlich, auch wenn es sich nicht gänzlich ausschließen lässt. [59,97] In aerosolierter Form ist SARS-CoV-2 für bis zu 3 Stunden lebensfähig und kann auf Materialien wie Edelstahl sogar bis zu 72 Stunden überleben. [97] Ergänzend zeigte sich eine Überlebensfähigkeit des Virus von 3 (Glas und Banknoten) bis 6 (Edelstahl und Kunststoff) Tagen auf glatter Oberfläche. [17] Fäkal-orale Infektionen scheinen hingegen eine eher untergeordnete Rolle zu spielen. [105,116] In einer kürzlich erschienenen Studie an Patienten mit SARS-CoV-2-Nachweis im Stuhl konnte gleichzeitig ein negatives Ergebnis in der Analyse eines nasopharyngealen Abstrichs gefunden werden. [42] Bezüglich einer vertikalen Transmission existieren noch zu wenige

wissenschaftliche Erkenntnisse, um genauere Aussagen treffen zu können. Eine direkte diaplazentare Virusübertragung ist aber sicherlich möglich.[22,91,101] Auch wenn SARS-CoV-2 in einigen Fällen in der Muttermilch nachgewiesen werden konnte, gelang eine erfolgreiche Virusanzucht bisher nicht.[22] Li et al. (2020)[55] konnten bei 6 von 38 untersuchten männlichen Infizierten das Virus in der Samenflüssigkeit nachweisen. Ohne den Nachweis der Vermehrungsfähigkeit der Viren in der Samenflüssigkeit, scheint eine Infektion auf diesem Weg sehr unwahrscheinlich. Zudem konnte bei COVID-19-Patienten am 13., am 14. und 17. Tag nach Auftreten der Krankheit die Virus-RNA in den Konjunktiven nachgewiesen werden.[16] In einer weiteren Studie wurde bei 5% der Patienten mit einer COVID-19-Pneumonie das Virus mittels PCR in der Bindehaut nachgewiesen. Trotz dieses Nachweises kann das konjunktivale Gewebe nicht mit Sicherheit als Eintrittspforte identifiziert werden.[120]

Eine SARS-CoV-2-Infektion kann auch von asymptomatischen bzw. präsymptomatischen Menschen ausgehen. Exakte Prozentangaben diesbezüglich sind in der Wissenschaft bislang noch nicht übereinstimmend. Etwa 50% der Infektionen gehen von (noch) nicht symptomatischen Personen aus.[31,43] Tindale et al. (2020)[93] fanden nach einer Untersuchung in Singapur und Tianjin in 40-80% der Fälle eine SARS-CoV-2-Übertragung 2-4 Tage bevor erste Symptome auftraten. Einer anderen Studie zufolge scheint die Phase einer maximalen Übertragbarkeit 1-2 Tage vor Symptombeginn zu liegen.[40] Auch Wei et al. (2020) [106] berichten, dass eine Übertragung in 7 von 243 untersuchten Fällen (3%) in Singapur am ehesten präsymptomatisch erfolgte.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Tröpfchen und Aerosole die Hauptübertragungswege einer SARS-CoV-2-Infektion darstellen und passive Übertragungswege über Oberflächen sowie fäkal-orale, plazentare und sexuelle Transmissionswege eher unwahrscheinlich sind und spekulativ bleiben. Überträgt man diesen Kenntnisstand auf die potenziellen infektionsrelevanten Kontakte im Fußball, wird deutlich, dass der Ball als potenzieller Vektor der Virusübertragung unwahrscheinlich erscheint, da die Oberflächenübertragung von SARS-CoV-2 allgemein als gering angesehen wird.[39,64]

#### **2.4.1 Übertragung von SARS-CoV-2 in geschlossenen Räumen**

Es ist bekannt, dass das Risiko für eine SARS-CoV-2-Infektion in geschlossenen Räumen erhöht ist. Mit Hilfe der Dynamischen Lichtstreuung (DLS) konnten beim Sprechen emittierte

Tröpfchen visualisiert und ihre Lebenszeit in der Luft bestimmt werden.[90] Hierdurch wurde festgestellt, dass lautes Sprechen tausende von Tröpfchen pro Sekunde emittieren kann. In geschlossenen Räumen verschwinden diese Partikel erst 8 bis 14 Minuten später aus dem Sichtfeld.[90] Liu et al. (2020)[58] führten Messungen viraler RNA in Aerosolen in verschiedenen Räumen zweier Krankenhäuser in Wuhan (Volksrepublik China) durch. Auffällig war einerseits, dass in ventilierten Räumen sehr viel weniger virale RNA detektiert werden konnte als in schlecht belüfteten Toilettenräumen. Andererseits konnte in großen, öffentlichen Räumen keine relevante Viruslast nachgewiesen werden.[58] Demnach ist einer guten Belüftung mit einer Erhöhung der Luftaustauschrate ein hoher Stellenwert zuzuordnen.[118] In einer weiteren Studie wurden 110 COVID-19-Fälle untersucht.[67] Eine Ansteckung durch eine infizierte Person in geschlossenen Räumen fand hier 18,7-mal häufiger statt als eine Infektion im Freien.[67] Auch die Analyse einer 2,5-stündigen Chorprobe in einem Mehrzweckraum mit 61 Teilnehmern (darunter eine symptomatische Indexperson), nach der 32 bestätigte COVID-19-Fälle auftraten, unterstreicht diese Erkenntnisse.[37] Die Gesundheitsbehörden WHO und RKI erklären zudem, dass in geschlossenen Räumen das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko nach 10 Minuten in engem Kontakt (Umkreis  $\leq 1,5\text{m}$ ) mit einer infizierten Person deutlich erhöht ist.[79] Diese Zahlen zeigen sehr eindrücklich, dass das Risiko einer SARS-CoV-2-Infektion in geschlossenen Räumen höher ist als im Freien.

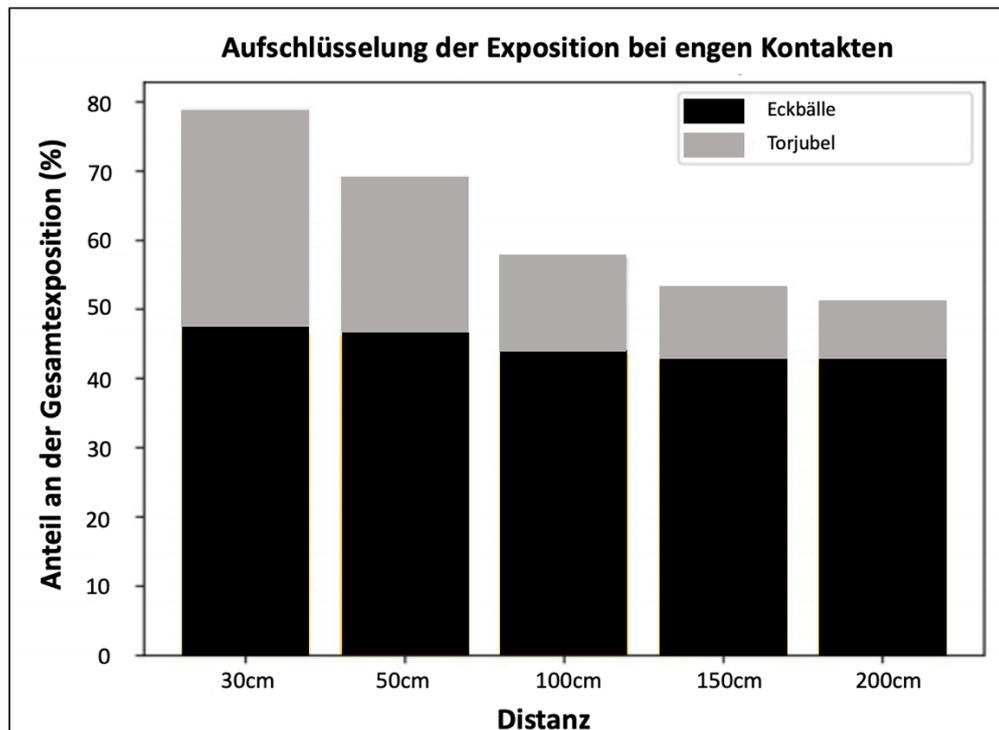
#### **2.4.2 Übertragung von SARS-CoV-2 im Außenbereich**

Die aktuelle wissenschaftliche Literatur beschreibt wenige Fälle, bei denen es zur einer SARS-CoV-2-Transmission im Freien kam. Insbesondere die Wahrscheinlichkeit einer Aerosolbedingten Übertragung im Freien ist als gering anzusehen.[7,71] Die Transmission ist in geschlossenen Räumen höher als in gut ventilerten Innenräumen und Räumen, in denen der Kombination aus Tragen von Gesichtsmasken und Abstandseinhaltung (Verdünnung der Aerosole auf unter 1% bei einer Entfernung  $>1$  Meter) eine hohe Bedeutung beigemessen wird.[84,96]. Leclerc et al. (2020)[53] fanden heraus, dass bei 201 COVID-19-Patienten nur in 1 von 22 ermittelten Umgebungen eine SARS-CoV-2-Infektion im Freien stattfand. Die restlichen Fälle waren mit Innenräumen von Gebäuden wie Schulen, Krankenhäusern oder Altersheimen assoziiert.[53] Vorläufige Ergebnisse bisher nicht veröffentlichter Originaldaten deuten an, dass das SARS-CoV-2-Infektionsrisiko auf Sitzplätzen in Fußballstadien deutlich geringer ist als in hochfrequentierten Bereichen wie Toiletten, Essensständen oder Gängen.[30] Es ist daher anzunehmen, dass bei Sportveranstaltungen im Freien und insbesondere auf dem Spielfeld keine erhöhte Anzahl an SARS-CoV-2-Übertragungen

auftreten werden. Dennoch müssen, bezogen auf den Fußball, infektionsrelevante Risikosituationen wie z.B. Gruppenbildungen (im engeren Sinne einer Menschenansammlung auf engem Raum entsprechend) kritisch betrachtet werden.

## 2.5 Infektionsrelevante Kontakte im Fußball

Für die Einschätzung des SARS-CoV-2-Übertragungsrisikos im Fußball sind die Abstände der Spieler zueinander von Relevanz. Prinzipiell kann angenommen werden, dass je länger Spieler auf sehr engem Raum (<1 Meter) aufeinandertreffen, desto wahrscheinlicher das vermutete Übertragungsrisiko ist. Im Fußball gibt es nur wenige Studien zu den spezifischen Kontaktmustern und dem potenziellen Risiko für die Übertragung von Atemwegserkrankungen auf dem Spielfeld.[29,32,35] Gonçalves et al. (2020)[35] untersuchten die durchschnittliche Expositionszeit pro Personenpaar bei einem Profifußballspiel mit Hilfe eines Tracking-Systems, welche im Mittel bei 32 Sekunden lag. Zudem befasste sich eine Studie des Königlichen Niederländischen Fußballbundes (KNVB) mit „social distancing“ im Fußball.[99] Analysiert wurden hierbei 482 Spiele der Eredivisie (höchste niederländische Liga). Der Fokus lag auf der Dauer enger Kontakte zwischen Spielerpaaren über die komplette Spielzeit. Situationen vor Anpfiff, nach Abpfiff und während der Halbzeitpause gingen nicht in die Analyse ein. Unterschieden wurden verschiedene Abstände zwischen <30cm und <200cm. Bei einem Abstand von <30cm (mittlere Kontaktzeit pro Spielerpaar: 0,4 Sekunden, maximale Kontaktzeit pro Spielerpaar: 12,1 Sekunden) und <50cm (mittlere Kontaktzeit pro Spielerpaar: 1,4 Sekunden, maximale Kontaktzeit pro Spielerpaar: 32,2 Sekunden) war die mittlere Kontaktzeit bei <1% der Spielerpaare länger als 30 Sekunden pro Spiel. Bei Abständen von <100cm (mittlere Kontaktzeit pro Spielerpaar: 8,5 Sekunden, maximale Kontaktzeit pro Spielerpaar: 151,9 Sekunden) und <150cm (mittlere Kontaktzeit pro Spielerpaar: 19,9 Sekunden, maximale Kontaktzeit pro Spielerpaar: 352,1 Sekunden) kam es bei 9% bzw. 24% der Fälle zu einer Überschreitung der 30-Sekunden Kontaktzeit pro Spielerpaar. Wurde als Abstandsgröße <200cm (mittlere Kontaktzeit pro Spielerpaar: 33,8 Sekunden, maximale Kontaktzeit pro Spielerpaar: 591,2 Sekunden) herangezogen, überschritten 39% der Spielerpaarungen eine Kontaktzeit von 30 Sekunden pro Spiel. Während Eckbällen und Torjubel kam es zu 50-80% aller engen Kontakte (Abbildung 1).[99]



**Abbildung 1:** Proportionaler Anteil von Torjübel (grau) – und Eckballsituationen (schwarz) bezogen auf die Gesamtzahl enger Kontakte während eines Fußballspiels (modifiziert nach van Renesse van Duivenbode, 2020).[99]

In diesem Kontext ist vorstellbar, dass mögliche Änderungen im Regelwerk zur Reduzierung der Kontaktzeiten während Eckbällen (Zeitlimit bis zur Ausführung) und Torjübel (nur einzeln erlaubt) das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko während eines Fußballspiels senken würden. Knudsen et al. (2020)[49] beschäftigten sich ebenfalls mit den Abständen zwischen Fußballspielern während eines Spiels. Basierend auf Angaben der WHO und dem National Health Service (United Kingdom) definierte man eine „Gefahrenzone für eine Übertragung von SARS-CoV-2“ mit einer Distanz von <1,5 Meter. Sie fanden heraus, dass sich ein Spieler bei einer Spieldauer von 90 Minuten im Mittel für 87,7 Sekunden in einer solchen Zone befindet.[49] In einer videobasierten Analyse von 3 Spielen mit 18 SARS-CoV-2-infizierten Fußballspielern waren die beobachteten Kontakte zwischen infizierten und nicht infizierten Spielern nie länger als 3 Sekunden.[29] Eine Übertragung von SARS-CoV-2 zwischen den Spielern konnte in keinem der 3 Spiele gefunden werden. Weiterhin wurden Schleimhautberührungen der SARS-CoV-2-positiven Spieler (Berührung der eigenen Hand von Auge, Nase und Mund) als potenzielles Risiko zur Virusübertragung auf andere Spieler weniger häufig beobachtet als in alltäglichen Situationen (während einer Vorlesung).[29,51] Eine Analyse von 50 Fußballspielen aus dem professionellen Bereich sowie dem Amateur- und Jugendfußball bestätigte, dass potenziell risikoreiche Kontakte für eine Übertragung

respiratorischer Viren während des Fußballspiels im Außenbereich selten waren.[32] Bei nur 1,2% der Kontakte zwischen den Spielern waren Kopf oder Gesicht (Risiko der direkten Virusübertragung) involviert. Spieleraktionen wie Reden, Spucken oder lautes Rufen auf kurze Distanz ( $\leq 1,5$  Meter), die mit einem erhöhten Risiko einer Tröpfcheninfektion einhergehen, waren sehr selten (Angaben als Anzahl pro Spielerstunde. Professioneller Bereich: Median: 3 [Interquartilsabstand (IQR) 2,5-4,2]; Amateurbereich: Median: 4 [IQR 3,3-4,5]; Jugendbereich: Median: 0,9 [IQR 0,6-1,9]).[32] Bei GPS (global positioning system)-basierten Untersuchungen verschiedener Spielformen auf dem Kleinfeld (drei gegen drei bis zu acht gegen acht Spieler) im Erwachsenen- und Jugendfreizeitfußball wurde die Zeit analysiert, die ein Spieler in einem Radius von 1,5 Metern (Risikozone) zu einem anderen Spieler verbrachte.[72] In 90% der Spielformen war diese Zeit kürzer als 3 Sekunden.[72] Auch im Rugby, einer Sportart mit vielen engen Tacklings und engem Umgreifen, scheint das Risiko einer SARS-CoV-2-Transmission sehr gering zu sein.[44] In 4 Rugby-Spielen mit 8 infizierten Spielern konnte bei 128 exponierten Spielern keine Virusübertragung festgestellt werden.[44]

## 2.6 Forschungsdefizit

Ausbrüche infektiöser Krankheiten im Mannschaftssport wurden schon beobachtet. Hierbei handelte es sich jedoch meist um fäkal-orale Transmissionen[75] oder um Übertragungen nach Haut-Haut-Kontakten.[19] In einer Übersichtsarbeit wurde deutlich, dass bei Krankheitsausbrüchen im Sport hauptsächlich Infektionen mit Methicillin-resistenten *Staphylokokkus aureus* Bakterien zu nennen sind.[36] Aerogen übertragene Krankheiten waren hingegen kaum von Bedeutung.[95] Die Frage nach möglichen Transmissionsrisiken respiratorischer Viren in Sportarten wie Fußball gewinnt demnach zunehmend an Bedeutung. Es existieren bereits Fallstudien zu dieser Fragestellung, die zeigen, dass das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko gering zu sein scheint.[44] Dennoch basieren diese Studien auf vergleichsweise niedrigen Fallzahlen. Daher bedarf es umfassenderer wissenschaftlicher Arbeiten, um dieses Risiko besser einschätzen zu können.

## 2.7 Studienziel

Die Frage, ob SARS-CoV-2-Infektionen beim Fußballspielen im Freien oder doch eher im privaten Umfeld entstehen, ist für die Umsetzung von Hygienemaßnahmen von entscheidender Bedeutung. Eine systematische Untersuchung erfolgte bisher nicht, denn es existieren hierzu nur wenige Beobachtungsstudien mit kleinen Fallzahlen von infizierten Spielern. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, auf Basis eines bundesweiten Melderegisters und einer Medienrecherche deutlich größere Fallzahlen infizierter Spieler, die versehentlich an Training oder Spiel teilnahmen, zu erzielen. Anhand einer umfangreicheren Analyse von Trainingseinheiten und Spielen im Amateur- und Profibereich wird neben SARS-CoV-2-Teststatus und Beschwerdesymptomatik der Spieler erstmals in großem Umfang das Bewegungsverhalten der Spieler hinsichtlich infektionsrelevanter Kontakte auf dem Platz per Videoanalyse erfasst. Hierdurch soll es gelingen, validere Aussagen bezüglich des SARS-CoV-2-Infektionsrisikos auf dem Fußballplatz treffen zu können.

## 3 Material und Methodik

### 3.1 Studiendesign

Um das SARS-CoV-2-Infektionsrisiko auf dem Fußballplatz besser bemessen zu können, wurde versucht, möglichst viele Spiele oder Trainingseinheiten im Amateur- und Profifußball zu identifizieren, bei denen zufällig SARS-CoV-2-infizierte Spieler (unwissend) teilnahmen und somit eine Expositionsgefahr für die Mitspieler darstellten. Zur Rekrutierung wurden im Amateur- und Profibereich unterschiedliche Suchmethoden angewendet:

(I) Profifußball (1. und 2. Bundesliga, 3. Liga, internationale 1. Ligen sowie Nationalmannschaften): Es erfolgte eine tägliche Medienrecherche über eine Online-Suchmaschine ([www.google.com](http://www.google.com)), Zeitungen und fußballspezifische Plattformen ([www.goal.com](http://www.goal.com), [www.spoX.com](http://www.spoX.com)) hinsichtlich infizierter Spieler, die an Training oder Spiel teilnahmen und im unmittelbaren Nachgang öffentlich seitens des Vereins respektive des zuständigen Verbandes als SARS-CoV-2-positiv bestätigt wurden. Wenn möglich, wurden zusätzlich die Mannschaftsärzte der Vereine gezielt nach den veröffentlichten Fällen befragt (Einverständnis der Spieler vorausgesetzt).

(II) Amateurfußball: In Kooperation mit dem Deutschen Fußball-Bund (DFB) und den 21 untergeordneten Fußballlandesverbänden (FLV) wurden SARS-CoV-2-positive Amateurspieler (Spielniveau: Regionalliga und tiefere Ligen, Altherren-Liga) und Jugendspieler (Spielniveau: Bundesliga und tiefere Ligen) aus Deutschland in einem nationalen Melderegister anonym erfasst. Zunächst wurden die Vereine identifiziert, die einen Fall eines SARS-CoV-2-positiven Vereinsmitglieds bzw. einen Verdachtsfall an den zuständigen FLV gemeldet haben. Anhand dieser Meldelisten (Vereinsname, Datum, bestätigter Fall/Verdachtsfall), die durch den jeweiligen FLV zur Verfügung gestellt wurden, erfolgte dann eine Kontaktaufnahme mit den meldenden Vereinen per Infoschreiben durch den jeweiligen FLV. Hierin wird die Studie anhand einer Studieninformation (s. Anhang 7.1) erläutert und auf die Möglichkeit hingewiesen, freiwillig an einem Online-Fragebogen (s. Anhang 7.3) teilzunehmen. Der Fragebogen wurde mit Microsoft Forms erstellt und ist gemäß Auftragsverarbeitungsvertrag der Universität des Saarlandes konform mit der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) der Europäischen Union. Alle erhobenen Daten wurden automatisch in einer Microsoft Excel-Tabelle gespeichert. Der Fragebogen enthielt eine Datenschutzhinweise und eine Einwilligungserklärung (s. Anhang 7.2). Die Einwilligung zum Fragebogen erfolgte durch den Meldenden online. Abbildung 2 zeigt den Online-Fragebogen (Meldung eines SARS-CoV-2-Falls im Verein).

1. Ihr Landesverband
2. Vereinsname
3. Mannschaft
  - Senioren (männlich)
  - Seniorinnen
  - Jugend (männlich)
  - Jugend (weiblich)
4. Name des/der Meldenden
5. Telefonnummer des/der Meldenden
6. E-Mail-Adresse des/der Meldenden oder E-Mail-Adresse des Vereins
7. Die meldende Person gibt hiermit das Einverständnis, dass, im Bedarfsfall, die Universität des Saarlandes für die wissenschaftliche Aufarbeitung zur Übertragung von SARS-CoV-2 im Fußball, Kontakt zu Vereinsmitgliedern aufnehmen darf
  - ja
  - nein
8. Handelt es sich bei der Meldung um einen bestätigten Fall oder einen Verdachtsfall?
  - Bestätigter Fall (bereits getestet)
  - Verdachtsfall (wird getestet)

- Verdachtsfall (wird nicht getestet)

9. Wann erfolgte der Nasen-Rachen-Abstrich?

10. Hatte der/die Betroffene SARS-CoV-2 typische Symptome (Fieber, Husten, Halsschmerzen, Kopfweh, Gliederschmerzen, Müdigkeit, Geruchsverlust, Geschmacksverlust, Schüttelfrost, Schnupfen, sonstige)?

- ja
- nein

11. Welche Symptome traten auf?

12. Wann traten die Symptome auf?

13. Hatte der/die Betroffene direkten Kontakt (Spiel, Training, Freizeit) zu anderen Personen im unmittelbaren Umfeld der Mannschaft?

- ja
- nein

14. Wie, wann und wo erfolgte dieser direkte Kontakt?

15. Dauerte dieser Kontakt länger als 15 Minuten?

- ja
- nein

16. Gab es eine gegnerische Mannschaft?
  - ja
  - nein
17. Vereinsname der gegnerischen Mannschaft
18. Welches Gesundheitsamt ist zuständig?
19. Welche Maßnahmen hat das Gesundheitsamt getroffen?
20. weitere Anmerkungen

**Abbildung 2:** Online-Fragebogen (Meldung eines SARS-CoV-2-Falls im Verein).

Nach Durchsicht der Studieninformation und Zustimmung der Vereine wurde für die Meldenden ein Link des Online-Fragebogens zur Weiterreichung an die Betroffenen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich zu den Meldelisten der FLV wurde zur Detektion weiterer SARS-CoV-2-positiver Fußballspieler eine Medienrecherche im Internet über eine Online-Suchmaschine (www.google.com) durchgeführt. Die hierbei ermittelten Vereine der Spieler wurden über öffentlich verfügbare Kontaktdaten angeschrieben und über die Studie informiert und ebenfalls zur freiwilligen Teilnahme am Fragebogen gebeten. Die zur infizierten Person exponierten Spieler (alle Trainingsteilnehmer bzw. alle Mit- und Gegenspieler bei einem Spiel) wurden bis zu 14 Tage nach dem Auftreten eines positiven Falls nach COVID-19-typischen Symptomen befragt (Symptom-Monitoring), um auch Fälle eines späten Erkrankungsausbruchs (late-onset) zu erfassen. Hierzu wurde den jeweiligen Vereinen ein entsprechender Symptomfragebogen gesendet (s. Anhang 7.4). Traten unter den exponierten Spielern in der Zeit des Symptom-Monitorings COVID-19-typische Symptome auf, wurde eruiert, ob und wann ein PCR-Test durchgeführt wurde und ob eine SARS-CoV-2-Infektion bestätigt werden konnte.

Die Rekrutierung von SARS-CoV-2-positiven Spielern erstreckte sich über den Zeitraum von August 2020 bis März 2021. Bedingt durch bundesweite COVID-19-Restriktionen wurde die Rekrutierung im Amateurbereich (Oberliga und tiefer) im Oktober 2020 unterbrochen. Im März 2021 kam es in einigen Bundesländern zum vorzeitigen Saisonabbruch im Amateur- und Jugendfußball. Alle gesammelten Fälle wurden hinsichtlich der Einschlusskriterien überprüft. Stellten die Vereine Videomaterial zur Verfügung, erfolgte die Evaluierung infektionsrelevanter Spielsituationen. Die vorliegende Studie wurde durch die Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes (Nummer: 338/20) genehmigt und nach den ethischen Standards der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes durchgeführt.

Diese Studie wurde vom DFB gefördert. Es gab keinen ethischen Konflikt oder eine unerwünschte Beratung. Der Autor übernimmt die Verantwortung für die Integrität der Daten.

## **3.2 Testalgorithmen im Profi-, Amateur- und Jugendfußball**

Gemäß den Vorgaben der DFL (Deutsche Fußball Liga) sowie den jeweils zuständigen nationalen und internationalen Fußballverbänden wurden professionelle Spieler innerhalb von 48 Stunden vor dem Spiel mittels SARS-CoV-2 PCR getestet. Zusätzlich wurden diese Spieler gemäß des jeweiligen Testregimes mindestens 2-mal pro Woche getestet. Im Gegensatz dazu

waren Amateur- und Jugendspieler nicht Teil eines regelmäßig stattfindenden Testprogramms. PCR-Testungen erfolgten hier lediglich auf freiwilliger Basis oder auf Anordnung der zuständigen Gesundheitsbehörden. Eine Ausnahme stellten die Regionalligen (Deutsche 4. Liga) dar. Seit Dezember 2020 kamen hier SARS-CoV-2-Antigen-Schnelltests (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany) zum Einsatz. Die Regionalligaspieler wurden innerhalb von 48 Stunden vor dem Spiel getestet. Im Falle eines positiven Ergebnisses folgte dann eine PCR-Testung zur Bestätigung der Infektion. Sowohl im Profi- als auch im Amateurbereich wurden die naso- und oropharyngealen Abstriche von ausgebildetem medizinischem Personal durchgeführt und in akkreditierten Laboren ausgewertet. Während des Studienzeitraums waren SARS-CoV-2 Antigen-Schnelltests, sog. „Bürgertests“, in Deutschland noch nicht flächendeckend etabliert bzw. kostenlos verfügbar und somit nur selten im Einsatz.

### 3.3 Probanden- bzw. Patientenauswahl

Als Probanden wurden alle Fußballspieler aller Alters- und Leistungsklassen berücksichtigt, die mit einer SARS-CoV-2-Infektion am Trainings- oder Spielbetrieb teilgenommen haben.

#### 3.3.1 Einschlusskriterien

Durch PCR-Testungen bestätigte SARS-CoV-2-positive Fußballspieler wurden nur dann in die Studie eingeschlossen, wenn eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Kontagiösität (mit oder ohne COVID-19-typischen Symptomen) während der Trainings- oder Spielteilnahme gegeben war. Daher mussten in Abhängigkeit vom Spielniveau folgende Einschlusskriterien erfüllt sein:

##### **Professionelle Spieler wurden eingeschlossen, falls**

(I) ein PCR-Test 48 Stunden vor dem Spiel oder Training SARS-CoV-2-negativ war

und

(II) ein PCR-Test innerhalb von 48 Stunden nach Spiel oder Training SARS-CoV-2-positiv war (asymptomatische Infektion) oder COVID-19-typische Symptome auftraten, die durch einen nachfolgenden SARS-CoV-2-positiven PCR-Test bestätigt wurden.

Nach Einverständnis der betroffenen Spieler, wurden auch die Mannschaftsärzte der Vereine zu diesen Punkten befragt.

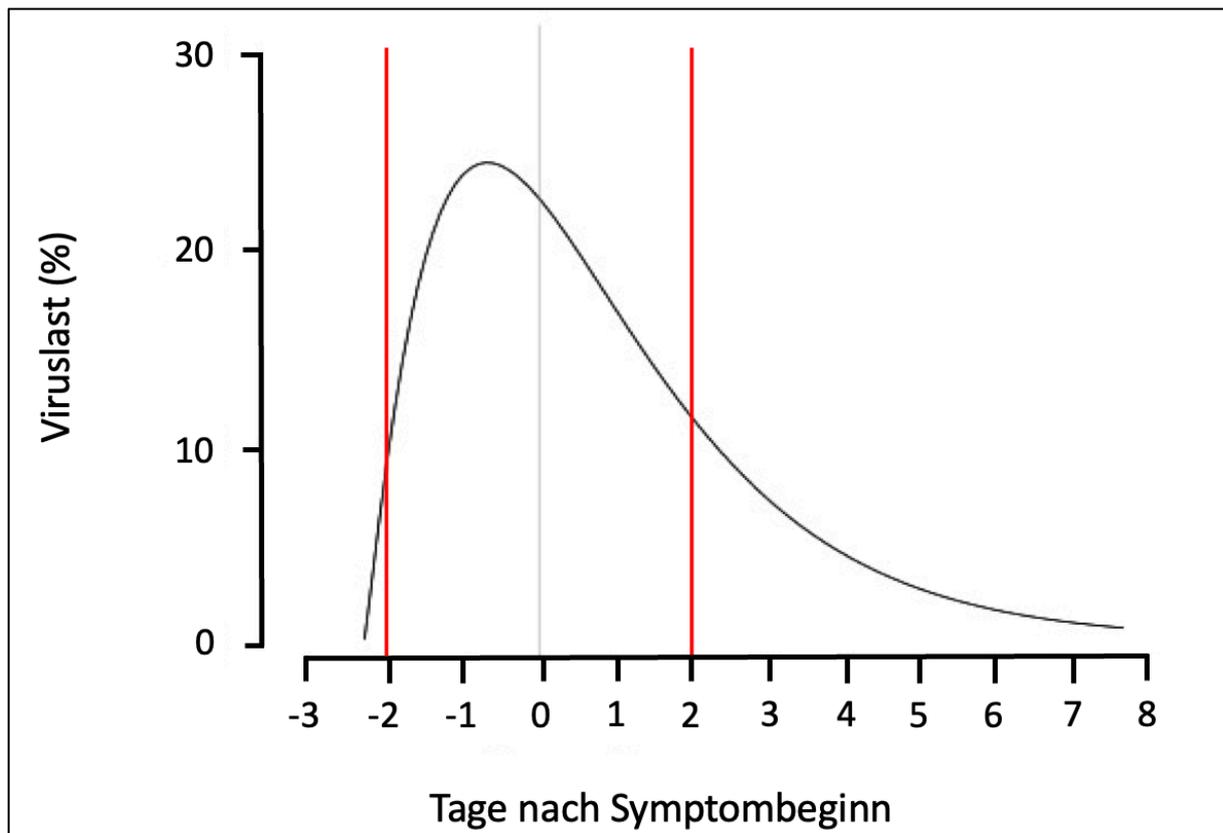
**Amateurspieler oder Jugendspieler wurden eingeschlossen, falls**

(III) COVID-19-typische Symptome, die innerhalb von 48 Stunden nach dem Training oder Spiel auftraten, durch einen anschließenden SARS-CoV-2-positiven PCR-Test bestätigt wurden

oder

(IV) ein freiwilliger PCR-Test innerhalb von 48 Stunden nach dem Spiel oder Training SARS-CoV-2-positiv war (asymptomatische Infektion) und die Anamnese stark auf einen Hochrisikokontakt (infizierte Person, sog. „spreading events“, Reiserückkehrer aus definierten Risikogebieten) bis zu fünf Tage (mittlere Inkubationszeit)[56,61] vor Spiel oder Training hindeutete (indikativ für eine akute Infektion).

**Erläuterung der Einschlusskriterien:** Für symptomatische Spieler (II und III) wurde ein Zeitfenster von 48 Stunden nach dem Spiel oder Training gewählt, um im Bereich der maximalen SARS-CoV-2-Infektiosität zu liegen (ca. 2 Tage vor und nach dem Auftreten von Symptomen).[6,40] Ähnlich wurde für asymptomatische Spieler (II und IV) die maximale SARS-CoV-2-Infektiosität innerhalb von  $\pm 2$  Tagen nach einer fünftägigen Inkubationszeit geschätzt.[41] Abbildung 3 gibt eine grafische Übersicht über die Zeitperiode der maximalen Infektiosität.



**Abbildung 3:** Bereich der maximalen Ansteckungsgefahr  $\pm 2$  Tage nach dem Auftreten von Symptomen. Ordinate: Viruslast(%), Abszisse: Tage nach Symptombeginn, senkrechte rote Striche: Bereich der maximalen Ansteckungsgefahr (modifiziert nach He, X. et al., 2020)[40].

### 3.3.2 Ausschlusskriterien

Aus der Studie ausgeschlossen wurden alle SARS-CoV-2-negativen Spieler. Zudem wurden asymptomatische SARS-CoV-2-positiven Spieler mit positivem PCR-Test >48 Stunden nach Spiel oder Training nicht berücksichtigt, da die Wahrscheinlichkeit infektiös zu sein ab diesem Zeitpunkt deutlich abnimmt. Fälle mit unvollständigen Daten hinsichtlich Symptomatik bzw. PCR-Testung, fehlender Teilnahme am Trainings-/Spielbetrieb oder einer Einstufung des zuständigen Gesundheitsamtes als „nicht infektiös“ wurden ebenfalls ausgeschlossen.

## 3.4 Videoanalysen

Aus dem Profibereich (1.-3. Deutsche Liga, Europäische 1. Ligen, Nationalmannschaften) wurde Videomaterial von DFL, DFB und UEFA zur Verfügung gestellt. Im Amateur- und Jugendbereich wurden öffentlich zugängliche Streaming-Portale (www.sporttotal.tv, www.youtube.com) genutzt oder das Videomaterial wurde direkt von den Vereinen zur Verfügung gestellt. Alle Videoaufnahmen lagen in ungeschnittener Version über die volle Spiellänge vor und wurden stets aus der gleichen Perspektive (Standardansicht von der Mittellinie) gefilmt. Das komplette Videomaterial wurde retrospektiv von 2 unabhängigen Gutachtern analysiert.

### 3.4.1 Vorbereitung der Videoanalysen

Vor Beginn der eigentlichen Analysen werteten die beiden Gutachter gemeinsam verschiedene 15-minütige Stichproben von zufälligen Fußballspielen aus, insgesamt etwa 150 Minuten. Dabei wurden Definitionen von potenziell infektionsrelevanten fußballspezifischen Kontakten und Situationen ausgearbeitet (Tabelle 1), die dann für alle Videoanalysen verwendet wurden. Während der Vorbereitung konnten sich die Gutachter über eine Diskussionsplattform austauschen, um strittige Videoszenen immer wieder diskutieren zu können.

### 3.4.2 Analyseparameter

Der Fokus der Videoanalyse lag in der Bestimmung der Quantität und Qualität (Art und Weise) der fußballspezifischen Kontakte aller infizierten Spieler während der individuellen Spielzeit (Expositionszeit der Mit- und Gegenspieler). Spielminuten, die infizierte Spieler auf der Ersatzbank verbrachten, wurden nicht miteinbezogen. Die fußballspezifischen Kontaktsituationen wurden kategorisiert in intra- und interindividuelle Kontakte. Hierbei wurden die Ausrichtungen der Zweikämpfe (seitlich, frontal oder hintereinander) sowie die Orientierung der Gesichter zueinander bei Gesprächen (frontal oder seitlich) erfasst. Für jeden infizierten Spieler wurde die Anzahl der Kontakte mit der eigenen Hand zu den Gesichtsschleimhäuten (Hand-Nase, Hand-Auge, Hand-Mund) und solchen Kontakten zum eigenen Kopf ohne Schleimhautberührung (Hand-Haare) gezählt. Darüber hinaus wurden die Kontakte der

eigenen Hand zum Ball für jeden infektiösen Spieler bei Standardsituationen (Eckball, Freistoß inklusive Elfmeter, Einwurf, Schiedsrichterball, Verletzungsunterbrechung, Tor, Abstoß) quantitativ erfasst. Zudem wurden auch alle Rudelbildungen, bei denen ein infektiöser Spieler involviert war, analysiert. Bei allen erfassten Parametern wurde die Dauer in Sekunden gemessen.

### **3.4.3 Standardisierung**

Kam es zwischen beiden Gutachtern während der Videoanalyse eines Spiels zu abweichenden Werten der o.g. manuell gezählten Kontakte, wurde der jeweils höhere Wert in die Datenanalyse eingeschlossen. Videos wurden in normaler Wiedergabegeschwindigkeit analysiert. Durch Vor- und Zurückspulen konnten alle Situationen so oft wie nötig angeschaut werden. Falls notwendig, konnte die Spielgeschwindigkeit auf das 0,75- oder 0,5-fache des Ausgangswertes reduziert werden. Im Falle strittiger Videoszenen wurden infektionsrelevante Risikokontakte auf Basis der in der Vorbereitungsphase formulierten Definitionen per Videocall diskutiert und sich gemeinsam auf ein Resultat festgelegt.

Risikokontakt/-situation	Definition
<b>Intraindividuelle Kontakte</b>	Berühren des eigenen Kopfs/Gesichts mit der Hand; untergliedert in - Gesichtsschleimhaut=Nase, Auge, Mund - Übrige Kopfpartien (keine Schleimhaut)
<b>Interindividuelle Kontakte</b>	Berühren eines Mit-/Gegenspielers; untergliedert in - Zweikampf (Schulter-Schulter) - Zweikampf (Arm-Arm) - Zweikampf (Bauch-Rücken) - Zweikampf (frontal) - Zweikampf (Hand-Trikot) - Abklatschen (Hand-Hand) - Rudelbildung (Ansammlung von mindestens 3 Personen (Spieler und/oder Schiedsrichter) mit einem Abstand von $\leq 1,5\text{m}$ )
<b>Gespräche</b>	Konversation (reden oder schreien) zwischen 2 oder mehr Personen (Spieler oder Schiedsrichter) mit einem Abstand von $\leq 1,5\text{m}$ ; untergliedert in - frontal - seitlich
<b>Ballkontakte</b>	Berühren des Balls; untergliedert in - Hand berührt Ball - Kopfball

**Tabelle 1:** Definitionen von Kontakten und Situationen mit erhöhtem SARS-CoV-2-Infektionsrisiko während eines Fußballspiels.

### 3.5 Statistik

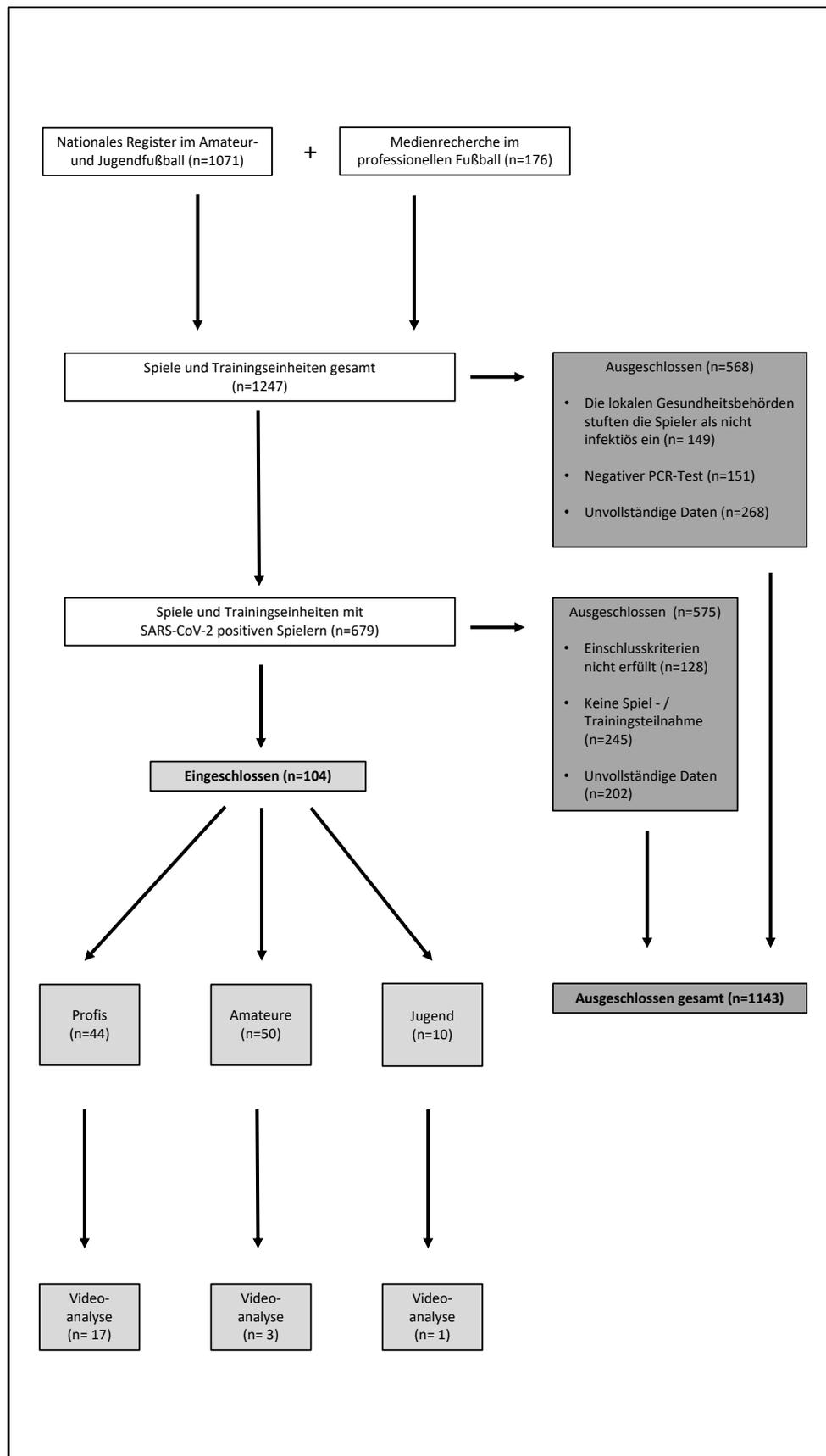
Die Statistik erfolgte rein deskriptiv. Lag Normalverteilung vor (Kolmogorov-Smirnov-Test), wurden die Daten als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung oder bei fehlender Normalverteilung als Median mit Interquartilsabstand angegeben. Für die statistischen Analysen wurde die Statistik-Software IBM SPSS Statistics (Version 29, Armonk, New York, USA) benutzt.

## 4 Ergebnisse

Es wurden insgesamt 1247 primäre Verdachtsfälle (Spiele oder Trainingseinheiten) geprüft, bei denen ein mutmaßlich infektiöser SARS-CoV-2-positiver Spieler teilnahm. Hiervon wurden 1071 (86%) Fälle durch das deutschlandweite Register im Amateur- und Jugendfußball erfasst. Die übrigen 176 Fälle (14%) wurden durch eine tägliche Medienrecherche detektiert und stammten aus dem nationalen und internationalen Profifußball. Abbildung 4 stellt den Prozess der Fallrekrutierung anhand eines Flussdiagrammes dar. Die Gründe für einen Fallausschluss werden ebenso ersichtlich wie die Anzahl der durchgeführten Videoanalysen auf dem jeweiligen Spielniveau. Insgesamt wurden 568 der 1247 Verdachtsfälle (46%) von der vorliegenden Studie ausgeschlossen, da betroffene Spieler nach Evaluation durch die lokalen Gesundheitsbehörden als nicht infektiös eingestuft wurden ( $n=149$ ), ein negativer PCR-Test den Verdacht nicht bestätigte ( $n=151$ ) oder die Informationen bezüglich PCR-Ergebnis fehlten bzw. unvollständig waren ( $n=268$ ). Somit verblieben 679 Spiele und Trainingseinheiten, bei denen per PCR-Test bestätigte, asymptomatische oder präsymptomatische SARS-CoV-2-positive Spieler unabsichtlich an Trainingseinheiten oder Spielen teilnahmen. Nach genauerer Untersuchung dieser Fälle wurden weitere 575 Fälle ausgeschlossen, da die Einschlusskriterien für eine akute Infektiosität nicht erfüllt wurden ( $n=128$ ), de facto keine Spiel- oder Trainingsteilnahme erfolgte ( $n=245$ ) oder die Informationen zu den Testzeitpunkten unvollständig waren ( $n=202$ ). Insgesamt wurden 1143 der 1247 Verdachtsfälle (92%) aufgrund der oben genannten Gründe aus der Studie ausgeschlossen. Schließlich wurden 104 Fälle (38 Trainingseinheiten, 66 Spiele) mit insgesamt 165 potenziell infektiösen Spielern aus 14 Ländern eingeschlossen. Demnach wurden pro Spiel oder Trainingseinheit mehrere Spieler (1-12) eingeschlossen. Die demografischen Daten dieser Spieler sind in Tabelle 2 dargestellt. Das Alter der Spieler reichte von 14 bis 50 Jahren, wobei die Altersgruppe zwischen 21 und 25 Jahren am häufigsten vertreten war ( $n=64$ ). Die 26-bis 30-jährigen Spieler ( $n=62$ ) waren am zweithäufigsten vertreten, gefolgt von den 16- bis 20-Jährigen ( $n=20$ ). Mit 8 bzw. 4 Spielern waren die Altersgruppen der 31- bis 35-Jährigen und der 10- bis 14-Jährigen noch seltener vertreten. Bei den 46- bis 50-Jährigen gab es einen Spieler. Kein Spieler war zwischen 36 und 45 Jahre alt.

Alter bekannt (n)	Alter unbekannt (n)	Gesamt (n)		Alter gesamt [Jahre]
159	6	165		25 ± 5
Altersbereiche [Jahren]		n		
11-15		4		
16-20		20		
21-25		64		
26-30		62		
31-35		8		
36-40		0		
41-45		0		
46-50		1		
Spielniveau	Alter [Jahre]	Männlich (n)	Weiblich (n)	Gesamt (n)
Profispieler	26 ± 3	84	1	85
Amateurspieler	26 ± 4	58	1	59
Jugendspieler	16 ± 1	19	2	21

**Tabelle 2:** Demografische Daten der 165 eingeschlossenen potenziell infektiösen Spieler. Altersangaben des Spielniveaus in Mittelwert und Standardabweichung.



**Abbildung 4:** Flussdiagramm der Fallrekrutierung unter Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien. Die angegebenen Fallzahlen (n) stellen die Anzahl der Spiel- bzw. Trainingseinheiten dar, bei denen der initiale Verdacht bestand, dass mindestens ein SARS-CoV-2-positiver Spieler teilnahm.

In 44 dieser 104 eingeschlossenen Spiele oder Trainingseinheiten waren professionelle Spieler involviert. Die Vereine gaben in diesen Fällen öffentlich bekannt, dass die betroffenen Spieler innerhalb von 48 Stunden (75%), oder bei Folgetestungen symptomatischer Spieler am dritten Tag (18%) bzw. am vierten Tag (7%) nach dem Training oder Spiel SARS-CoV-2-positiv getestet wurden. Darüber hinaus wurde in 11 der 44 Fälle (25%) aus dem Profibereich ein direktes Gespräch mit dem jeweilig zuständigen Mannschaftsarzt geführt, der die Medienberichte bestätigte. Zusätzliche 50 Spiele oder Trainingseinheiten stammten aus dem Amateurbereich und weitere 10 Spiele oder Trainingseinheiten aus dem Jugendbereich. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Wettbewerbe der 104 eingeschlossenen Spiele oder Trainingseinheiten, aufgeteilt nach Spielniveau. Zudem wird hierin ersichtlich, welche Wettbewerbe in welcher Häufigkeit bei den 21 durchgeführten Videoanalysen vertreten waren.

Professioneller Bereich (international)	n	Amateurbereich (national)	n	Jugendbereich (national)	n	Videoanalysen (international)	n
1. Bundesliga	9	4. Liga	5	U19-Verbandsliga	1	1. Bundesliga	2
2. Bundesliga	4	5. Liga	2	U19-Kreisklasse	1	2. Bundesliga	1
3. Liga	5	6. Liga	2	U17-Nationalmannschaft	1	3. Liga	3
UEFA Nations League	8	7. Liga	10	U17-Bayernliga	1	UEFA Nations League	9
La Liga	3	8. Liga	12	U-17-Kreisliga	2	UEFA Champions League	2
Freundschaftsspiele Nationalmannschaften	3	9. Liga	11	U15-Oberliga	1	UEFA Europa League	1
Serie A	2	10. Liga	6	U-15-Kreisoberliga	1	Regionalliga	2
UEFA Champions League	2	11. Liga	1	U15-Sonderliga*	1	U17-Bayernliga	1
UEFA Europa League	2	AH-Liga	1	U13-Kreisklasse	1		
FIFA WM-Qualifikation	1						
UEFA U-21 EM-Qualifikation	1						
Africa Cup of Nations Qualifikation	1						
Premier League	1						
Eredivisie	1						
Premjer-Liha	1						
Gesamt	44		50		10		21

**Tabelle 3:** Übersicht der Wettbewerbe unterschiedlicher Leistungsniveaus sowie der durchgeführten Videoanalysen mit insgesamt 104 Spiel- oder Trainingseinheiten mit Teilnahme von mindestens einem SARS-CoV-2-positiven, potenziell infektiösen Spieler. UEFA=Union of European Football Associations, AH=Alte Herren, FIFA=Fédération Internationale de Football Association, WM=Weltmeisterschaft, EM=Europameisterschaft, \* Kreisübergreifende Liga im U15- bis U19-Bereich mit dem Ziel, zu große Leistungsgefälle auszugleichen.

## 4.1 SARS-CoV-2-Übertragung während Trainingseinheiten und Spielen

In keinem der 44 Fälle im Profibereich (6 Trainingseinheiten, 38 Spiele) mit insgesamt 85 potenziell infektiösen Spielern kam es zu einer SARS-CoV-2-Infektion auf dem Spielfeld. Dies konnte durch wiederholt stattfindende PCR-Tests ( $\geq 2x$  pro Woche) innerhalb von 14 Tagen nach der jeweiligen Aktivität nachgewiesen werden.

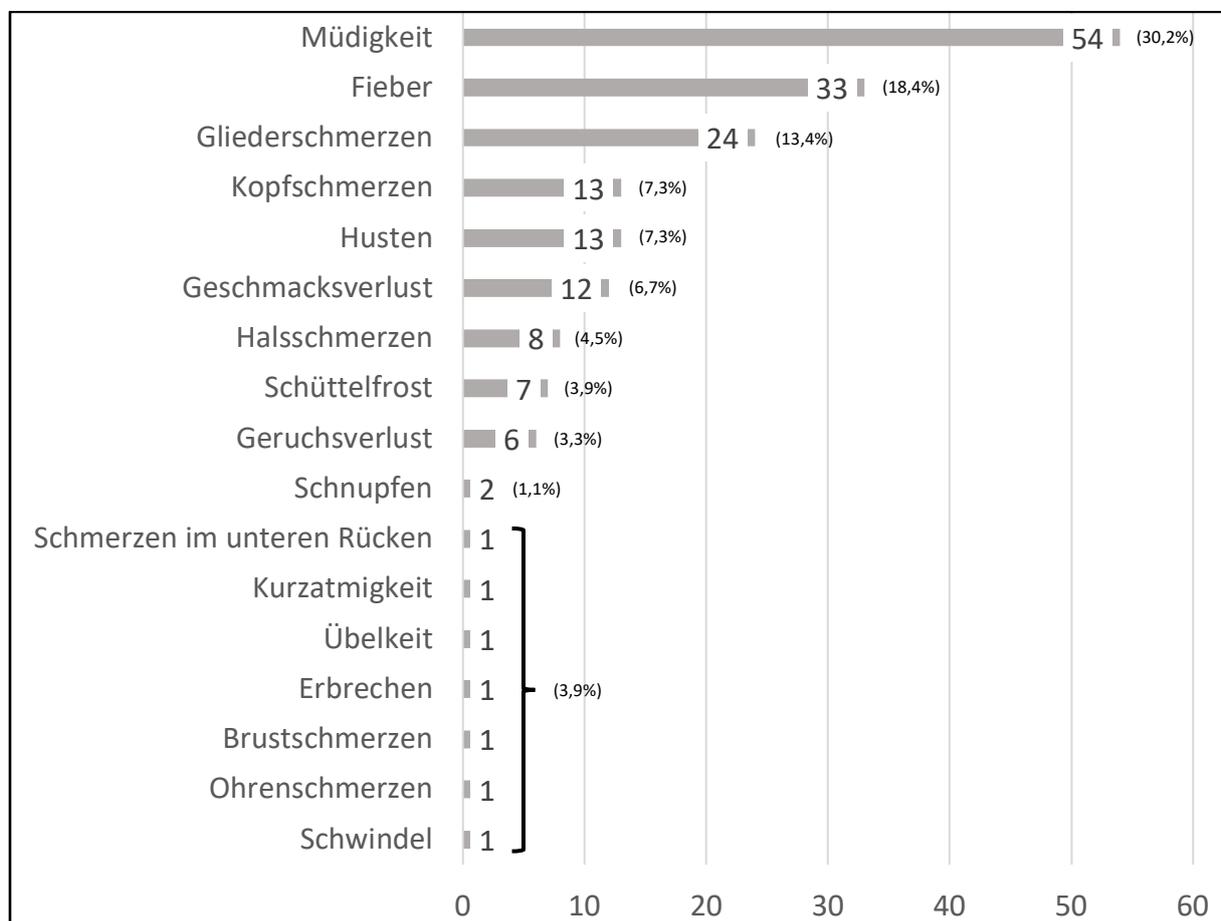
Im Amateur- und Jugendfußball wiesen aus den eingeschlossenen 32 Trainingseinheiten und 28 Spielen alle 80 potenziell infektiösen Spieler (Indexpersonen) einen positiven PCR-Test auf. Darüber hinaus unterzogen sich in 31 von 60 Fällen (14 Trainingseinheiten, 17 Spiele) auch alle exponierten Spieler (Mit- und Gegenspieler) freiwilligen PCR-Tests. In 29 dieser 31 Fälle (94%) blieben alle exponierten Spieler SARS-CoV-2-negativ in einem Abstand von  $5,7 \pm 3,1$  Tagen nach dem jeweiligen Spiel oder Training. Lediglich in 2 Spielen konnte eine Neuinfektion auf dem Spielfeld nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden:

In einem Spiel aus der 7. Liga wurden 9 Spieler (darunter 7 Spieler der gegnerischen Mannschaft) innerhalb von 3 bis 5 Tagen nach Exposition gegenüber einem infizierten Spieler, der am ersten Tag nach dem Spiel COVID-19-typische Symptome zeigte, positiv auf SARS-CoV-2 getestet. Beide beteiligten Mannschaften meldeten bereits vor dem Spiel ein Übertragungsereignis, sowohl im privaten Umfeld (2 Spieler aus der Mannschaft des Indexspielers) und im Rahmen eines COVID-19-Ausbruchs im Verein (7 Spieler aus der gegnerischen Mannschaft).

In einem weiteren Fall aus der 4. Liga wurden 11 Spieler (darunter ein Spieler der gegnerischen Mannschaft) innerhalb von 4 bis 7 Tagen nach Kontakt mit einem infizierten Spieler positiv auf SARS-CoV-2 getestet. Auch in diesem Fall gaben die jeweiligen Vereine auf Rückfrage potenzielle Infektionsquellen außerhalb des Spielfeldes an. So wurde eine gemeinsame Busfahrt (ohne Tragen einer Maske) zum Spiel angegeben, bei der sich mutmaßlich 10 Spieler und mehrere Mitarbeiter aus der Mannschaft des Indexspielers infiziert hatten. Der Spieler der gegnerischen Mannschaft berichtete von einem Übertragungsereignis in seinem beruflichen Umfeld.

## 4.2 COVID-19-assoziierte Symptome

Dreiundsechzig der 165 eingeschlossenen SARS-CoV-2-positiven Spieler (38%) berichteten über das Auftreten milder bis moderater Symptome. Abbildung 5 stellt die Häufigkeit der beobachteten Symptome grafisch dar. Zu erkennen ist, dass Müdigkeit (30,2%), Fieber (18,4%) und Gliederschmerzen (13,4%) die führenden Beschwerden waren. Mit Ausnahme von 4 (von 63) Spielern wurden bei jedem symptomatischen Spieler mindestens 2 verschiedene Erkältungssymptome angegeben, sodass die aufgeführte Müdigkeit eher infektiöser Genese ist und weniger wahrscheinlich einer belastungsinduzierten Müdigkeit entspricht.



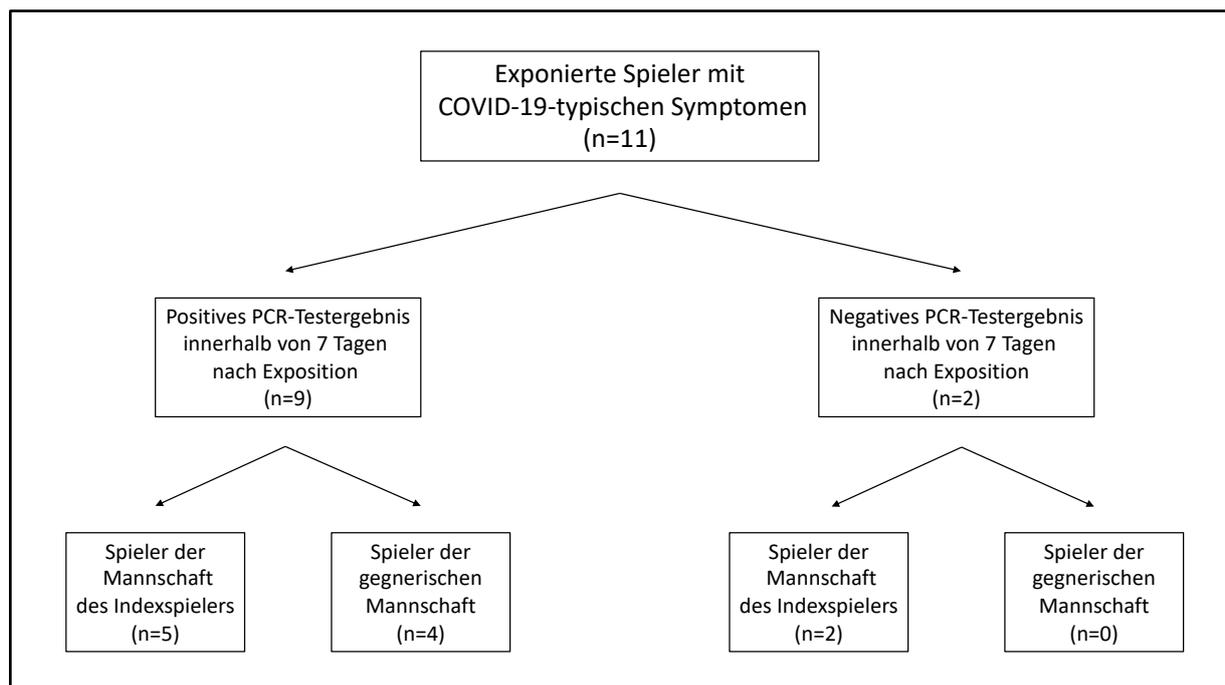
**Abbildung 5:** Fußballspieler (n=63) mit COVID-19-typischen Symptomen ( $\geq 2$  pro Spieler) während der akuten Phase der Erkrankung. Anteil des jeweiligen Symptoms an allen genannten Symptomen in Prozent.

Die meisten der symptomatischen Spieler waren Amateurspieler (n=35), gefolgt von Jugendspielern (n=19) und professionellen Spielern (n=9). Der jüngste Spieler war 14 Jahre alt, der älteste 33 Jahre alt. Insgesamt war der Altersbereich zwischen 21 und 25 Jahren mit

19 Spielern am häufigsten vertreten. Es folgen die Bereiche zwischen 16 und 20 Jahren (n=18) und 26 bis 30 Jahre (n=18). Sowohl die 11- bis 14-jährigen (n=3) als auch die 31- bis 35-jährigen (n=2) waren deutlich seltener vertreten. Bei 3 Fällen war das Alter aufgrund mangelnder Informationen unbekannt. Aufgrund der gegebenen Altersverteilung ist Abbildung 5 für aktive Fußballer repräsentativer als für solche im AH-Bereich.

#### 4.2.1 Symptom-Monitoring

Das Symptom-Monitoring im Jugend- und Amateurbereich (32 Trainingseinheiten, 28 Spiele; insgesamt 88 Mannschaften betreffend) erfolgte innerhalb von 14 Tagen nach der Exposition gegenüber einem potenziell infektiösen SARS-CoV-2-positiven Spieler. Die Antwortquote aller 88 befragten Mannschaften lag bei 77%. Insgesamt zeigten 11 exponierte Spieler COVID-19-typische Symptome (Abbildung 6).



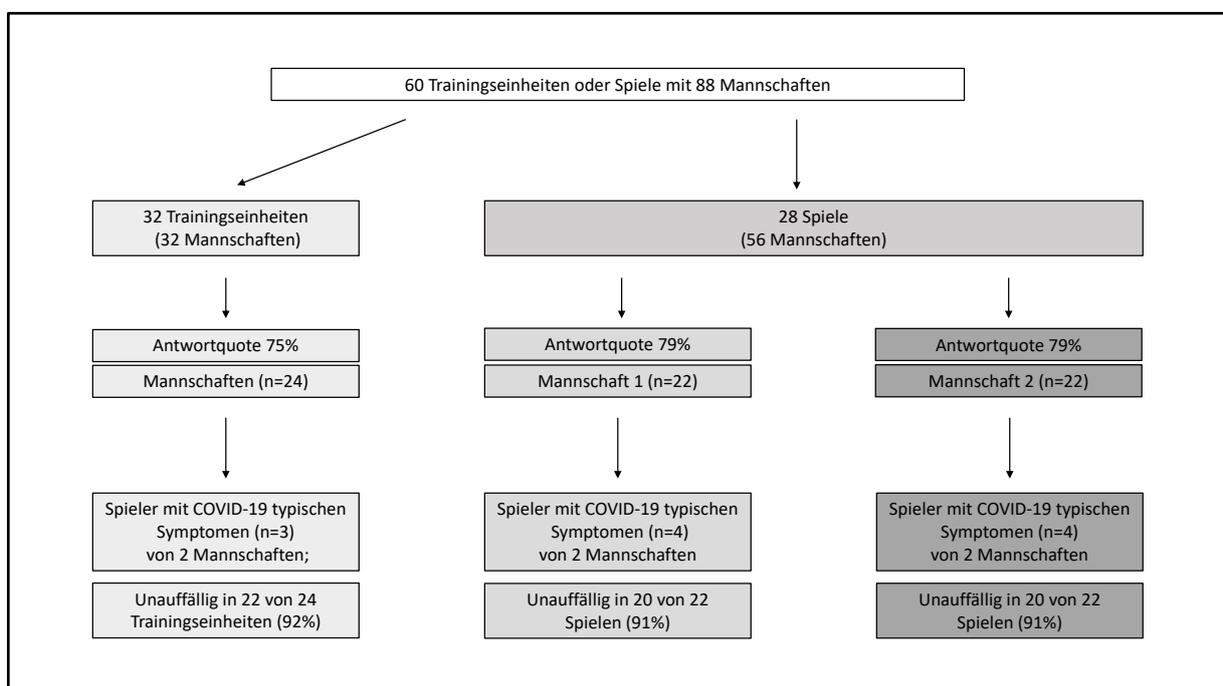
**Abbildung 6:** Darstellung der Testergebnisse der exponierten Spieler mit COVID-19-typischen Symptomen und ihrer Mannschaftszugehörigkeit (n=11).

Neun dieser 11 Spieler wurden innerhalb von 7 Tagen nach dem jeweiligen Spiel oder Training mittels PCR positiv auf SARS-CoV-2 getestet. Als wahrscheinlichste Infektionsquelle wurde hier ein privates Treffen mehrerer Spieler 3 bis 6 Tage vor dem Spiel bzw. Training angegeben.

Weitere 2 der oben erwähnten 11 Spieler wurden innerhalb von 6 Tagen nach dem jeweiligen Ereignis mittels PCR negativ auf SARS-CoV-2 getestet.

Vier der 11 Spieler stammten aus zwei gegnerischen Mannschaften. Sie wurden zwischen 3 und 7 Tagen nach dem Spiel mittels PCR positiv auf SARS-CoV-2 getestet. Alle Spieler führten ihre Infektion mit hoher Wahrscheinlichkeit auf ein Übertragungsereignis aus dem beruflichen oder privaten Umfeld zurück.

Die Antwortquote aller 88 befragten Mannschaften war 77%. Abbildung 7 gibt die Ergebnisse des Symptom-Monitorings grafisch in Form eines Flussdiagrammes wieder.



**Abbildung 7:** Symptom-Monitoring (innerhalb von 14 Tagen) von Amateur- und Jugendspielern (Teilnahme an 60 Trainingseinheiten oder Spielen), die gegenüber einem potenziell infektiösen SARS-CoV-2-Spieler exponiert waren. Mannschaft 1=Heimmannschaft, Mannschaft 2=Auswärtsmannschaft.

### 4.3 Quarantänemaßnahmen

In 82 von 104 Trainingseinheiten oder Spielen wurden von den lokalen Gesundheitsbehörden die angeordneten Quarantänemaßnahmen gemeldet. In 52 der 82 Fälle (63%) wurde eine zeitweilige Isolierung nur für die Infizierten angeordnet und in 29 Spielen der genannten 82 Fälle (35%) wurde die gesamte Mannschaft unter Quarantäne gestellt. In 4 dieser 29 Spiele

(14%) wurde zusätzlich die komplette gegnerische Mannschaft isoliert, wobei jeweils ein Spieler während dieser Spiele als potenziell infektiös eingeschätzt wurde. Ein Symptom-Monitoring ohne Isolation im Sinne einer „wait-and-watch“ – Strategie kam in nur einem Fall (2%) zum Einsatz. In 22 Fällen blieben die angeordneten Quarantänemaßnahmen unbekannt. Die durchschnittliche Dauer der Isolierungsmaßnahmen pro Spieler betrug im Amateurbereich 10; 1 (Median; Interquartilsabstand) Tage, im professionellen Bereich 10; 0 (Median; Interquartilsabstand) und im Jugendbereich  $11,7 \pm 2,2$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) Tage. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die von den Gesundheitsämtern getroffenen Quarantänemaßnahmen in allen 104 Trainingseinheiten oder Spielen unter Berücksichtigung des Spielniveaus sowie der Anzahl der involvierten Spieler und Mannschaften.

Art der Quarantäne	Amateur (n=50)	Profis (n=44)	Jugend (n=10)	Anzahl involvierter Spieler
Einzel	21(42%), 25	26 (59%), 35	5 (50%), 5	65
1 Mannschaft	14 (28%), 14	8 (18%), 19	3 (30%), 14	47
2 Mannschaften	4 (8%), 4	-	-	4
Unbekannt	10 (20%), 14	10 (23%), 31	2 (20%), 2	47
„wait-and-watch“	1 (2%), 2	-	-	2

**Tabelle 4:** Entscheidungen der lokalen Gesundheitsämter bezüglich Quarantänemaßnahmen im Profi-, Amateur- und Jugendfußball (n=104). In roter Farbe: Anzahl der involvierten Spieler, in schwarzer Farbe: Anzahl der Spiele oder Trainingseinheiten, in Prozent: Anteil der jeweiligen Quarantänemaßnahme an allen Spielen oder Trainingseinheiten des jeweiligen Spielniveaus.

In 16 von 104 Spielen oder Trainingseinheiten wurden Informationen hinsichtlich eines unvorsichtigen Kontaktverhaltens der Indexspieler vor dem Spiel oder Training berichtet. In 3

(dieser 16) Fällen aus dem professionellen Bereich wurden die Ergebnisse zuvor durchgeführter Tests, die sich im Nachhinein als SARS-CoV-2-positiv erwiesen, nicht abgewartet. Bezüglich dieses unvorsichtigen Kontaktverhaltens lagen Spiele oder Trainingseinheiten aus dem Amateurbereich (n=9) vor denjenigen aus dem professionellen (n=6) und dem Jugendbereich (n=1). In der Mehrzahl dieser 16 Spiele oder Trainingseinheiten wurden private Veranstaltungen unter Missachtung der AHA (Abstand, Hygiene, Alltagsmaske)-Regeln (n=6) als Infektionsquelle angegeben. Auch Teamsitzungen (n=4) oder ein gemeinsames Essen (n=3) auf engem Raum ohne das Tragen von Masken wurden hierbei als unvorsichtiges Kontaktverhalten eingestuft.

#### **4.4 Videoanalyse**

Es wurden insgesamt 17 Spiele aus dem professionellen Bereich, 3 Spiele aus dem Amateurbereich und ein Spiel aus dem Jugendbereich analysiert. In diesen Spielen wurden 34 potenziell infektiöse SARS-CoV-2-positive Spieler beobachtet. Hierbei handelte es sich um 2 Torwarte, 10 Verteidiger, 12 Mittelfeldspieler sowie 10 Stürmer. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die intra- und interindividuellen Kontakte dieser Spieler sowie über die Gespräche zwischen Spielern und über die Ballkontakte. Alle Angaben sind als Kontakte pro Spielerstunde aufgeführt. Die durchschnittliche Spielzeit pro analysiertem Spieler belief sich auf  $71,1 \pm 26$  Minuten, wobei die kürzeste Einsatzzeit 15 Minuten und die längste 90 Minuten betrug.

Spiel	Infizierte Spieler	Intraindividuelle Kontakte		Interindividuelle Kontakte							Gespräche		Ballkontakte		
		n=34	Gesichtsberührungen (Schleimhaut)	Kopfberührungen (keine Schleimhaut)	Zweikampf (Schulter-Schulter)	Zweikampf (Arm-Arm)	Zweikampf (Bauch-Rücken)	Zweikampf (frontal)	Zweikampf (Hand-Trikot)	Abklatschen (Hand-Hand)	Rudelbildung	frontal	seitlich	Hand-Ball	Kopfball
1	1		21,7	38,9	4,9	6,5	6,5	1,6	13,0	4,9	1,6	0	1,6	6,5	6,5
2	1		9,0	8,0	4,0	11,0	7,0	0	12,0	0	0	3,0	2,0	7,0	2,0
3	1		9,7	8,0	6,7	9,3	2,7	1,3	8,0	1,3	5,3	2,7	5,3	0	2,7
4	1		6,7	4,0	4,0	9,6	3,3	0	6,0	0	2,0	0	0,7	1,3	7,3
5	1		5,1	1,7	2,6	4,3	1,7	0,9	8,6	0,9	2,6	0	0	0	2,6
6	1		0,7	0	0,7	4,7	1,3	0,7	8,0	1,3	0,7	0	0	0	4,7
7	4		1,0	3,1	1,0	10,3	4,1	1,0	10,2	0	0	1,0	2,0	4,1	3,1
			8,0	3,3	2,0	3,3	6,0	0	5,3	0,7	2,0	0,7	0	1,3	4,0
			1,3	2,7	1,3	2,0	2,0	0	5,3	0,7	0	1,3	0,7	2,0	1,3
			2,0	0,7	3,3	5,3	1,3	0	9,3	1,3	0,7	0,7	2,0	5,3	2,7
8	4		5,3	2,0	0,7	8,7	0	0	8,0	0	0	0	0	2,7	0,7
			9,7	2,0	1,3	8,0	0	0	4,7	0	0,7	0	0	1,3	3,3
			0	0	5,7	8,6	2,9	0	28,6	2,9	0	0	0	0	0
			0	0	4,0	20,0	0	0	12,0	8,0	0	4,0	0	0	0
9	2		3,3	2,0	1,3	6,0	2,0	0	10,0	0	2,0	0	0	0	6,0
			9,0	2,5	5,0	12,5	7,5	0	7,5	2,5	2,5	0	0	0	2,5
10	1		1,3	0,7	2,7	7,3	1,3	0	6,0	0,7	0,7	0	0	0,7	2,7
11	1		4,0	1,3	2,7	6,0	0,7	0	4,0	0	1,3	1,3	0	0,7	3,3
12	1		8,0	7,3	2,0	7,3	6,7	0,7	4,0	0	6,7	0	0	0,7	4,7
13	1		5,5	4,7	2,3	9,4	2,3	0	17,9	0,8	0	1,6	0,8	0	7,0
14	2		6,0	2,7	3,3	5,0	0,7	0	8,0	0	1,3	0,7	0	11,3	3,3
			0	1,3	2,0	7,3	4,0	0	5,3	0	0	0	0	2,0	4,7
15	2		9,5	1,1	1,1	6,3	0	0	2,1	3,2	3,2	0	1,1	4,2	3,2
			12,0	16,0	0	16,0	0	0	12,0	8,0	8,0	0	4,0	8,0	4,0
16	1		5,5	1,6	1,6	7,9	0,8	0	2,4	1,6	0,8	0,8	0,8	0	0,8
17	1		9,7	0,7	3,5	10,2	2,8	1,4	16,2	1,4	0	0	0,7	2,8	2,1
18	2		6,0	1,3	2,0	13,3	0,7	0,7	8,0	0	0	0,7	0	3,3	3,3
			4,7	0,7	0	0,7	0	0	1,3	0	0	0	2,7	15,3	0,7
19	1		4,9	4,9	0,7	9,1	0,7	0	13,3	1,4	2,8	1,4	0,7	2,8	1,4
20	1		8,0	0,7	2,0	12,0	2,0	0	16,0	0,7	0,7	0	1,3	2,7	0
21	4*		0	0,7	2,0	0	0	0	0	0,7	0,7	0	0	17,3	0
			3,8	6,0	3,0	5,3	5,3	0	3,8	1,5	1,5	0	0	5,3	0
			0,9	0	2,7	4,5	0	0,9	4,5	1,8	2,7	0	1,8	3,6	0,9
			0	2,2	0	11,1	6,7	0	6,7	0	0	0	0	0	4,4
Median			5,2	2,0	2,0	7,6	1,9	0	8,0	0,7	0,7	0	0	2,0	2,7
IQR			6,7	3,2	2,0	4,8	3,2	0,5	6,7	1,5	2,0	0,8	1,3	4,2	3,0

**Tabelle 5:** Anzahl der übertragungsrelevanten Kontakte pro Spielerstunde analysiert von 2 unabhängigen Gutachtern. Angabe der Werte als Median mit IQR. \* = infiziert mit SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7.

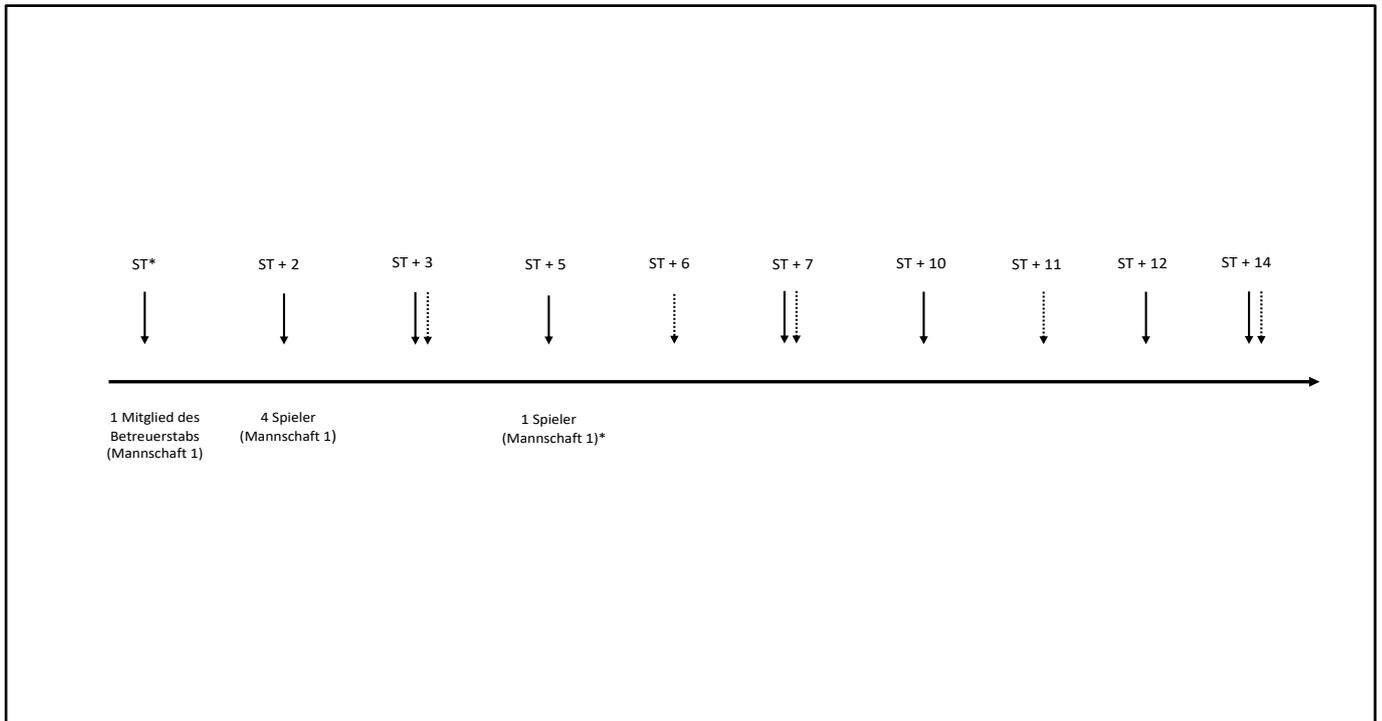
Bezüglich der frontal geführten Zweikämpfe (wie sie typischerweise bei unbeabsichtigten Zusammenstößen oder im Zusammenhang mit Zweikämpfen bei Eckbällen und Freistößen auftreten) wird ersichtlich, dass in der überwiegenden Mehrheit (88%, 30 von 34 Spieler) weniger als ein solcher Risikokontakt pro Spielerstunde auftrat. Zudem dauerte keiner dieser Kontakte länger als 3 Sekunden. Gespräche und Diskussionen zwischen Spielern in frontaler Ausrichtung traten in allen Spielen weniger als 5-mal pro Spielerstunde auf und dauerten nie länger als 6 Sekunden. Das längste Gespräch zwischen zwei Spielern in seitlicher Ausrichtung dauerte 10 Sekunden. Insgesamt traten Gespräche und Diskussionen in seitlicher Ausrichtung in allen Spielen weniger als 6-mal pro Spielerstunde auf. Intraindividuelle Schleimhautkontakte mit Beteiligung von Mund, Nase oder Augen traten in 94% (32 von 34 Spielern) weniger als 10-mal auf. Rudelbildungen während des Spiels, die beispielsweise im Rahmen von Eckball- oder Torjubelsituationen auftraten, dauerten maximal 16 Sekunden (=längste Kontaktzeit der gesamten Analyse) und traten in 91% (31 von 34 Fällen) weniger als 4-mal pro Spielerstunde auf. Hand-Ball-Kontakte waren in 91% (31 von 34 Fällen) weniger als 9-mal pro Spielerstunde zu beobachten. Bei 3 Spielern (Torwart n=2, Außenverteidiger n=1) traten jeweils 11, 15, und 17 Hand-Ball-Kontakte (Berührungen der Hand mit dem Ball) auf.

In einem Profispiel in Deutschland (Februar 2021) waren nachweislich 4 Spieler einer Mannschaft mit der SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7 infiziert. Insgesamt gab es einen frontalen Kontakt (Dauer: 1 Sekunde). Tabelle 6 gibt einen Überblick über die wichtigsten fußballspezifischen Kontakte dieser Spieler.

Infizierte Spieler	Position	Spielminuten	Intraindividuelle Kontakte		Interindividuelle Kontakte				Gespräche Frontal oder seitlich	Ballkontakte	
			Gesichtsberührungen (Schleimhaut)	Kopfberührungen (keine Schleimhaut)	Zweikampf (frontal)	Abklatschen (Hand- Hand)	Rudelbil- dung	Längste Kontaktdauer [s]		Hand- Ball	Kopfball
1	Torwart*	90	0	1	0	1	1	1	0	26	0
2	Stürmer	80	5	8	0	2	2	4	0	7	0
3	Mittelfeldspieler*	67	1	0	1	2	3	2	2	4	1
4	Verteidiger	22	0	1	0	0	0	4	0	0	2

**Tabelle 6:** Übersicht über infektionsrelevante Kontakte von 4 potenziell infektiösen SARS-CoV-2 (B.1.1.7) – positiven Spielern einer deutschen Profimannschaft während eines Spiels im Februar 2021. Am Spieltag lag die Reproduktionszahl laut RKI bei 0,95 und die Temperatur betrug bei bewölkten klimatischen Bedingungen zur Anstoßzeit 12,8° Celsius. \* = Milde COVID-19-typische Symptome 2 Tage nach dem Spiel.

Abbildung 8 zeigt den zeitlichen Verlauf wiederholter PCR-Testungen beider Mannschaften innerhalb von 14 Tagen nach dem Spiel und hebt dabei nur die positiven Testresultate hervor.



**Abbildung 8:** PCR-Testreihen beider Mannschaften innerhalb von 14 Tagen nach dem Spiel. ST=Spieltag, \* keine Spielteilnahme, durchgezogener Pfeil=PCR-Test bei Mannschaft 1, gestrichelter Pfeil=PCR-Test bei Mannschaft 2. Mannschaft 1 weist 4 potenziell infektiöse SARS-CoV-2-positive Spieler auf, die am Spiel gegen Mannschaft 2 teilnahmen. Ein weiterer Spieler von Mannschaft 1 wurde an Tag 5 nach dem Spiel (ST+5) ebenfalls positiv auf SARS-CoV-2 getestet, nahm jedoch nicht am Spiel teil. Nach dem Spiel unterzog sich Mannschaft 1 insgesamt 7 und Mannschaft 2 insgesamt 5 PCR-Testungen. Außer den in der Abbildung dargestellten positiven Testergebnissen blieben alle weiteren negativ.

## 5 Diskussion

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko auf dem Spielfeld während eines Fußballspiels oder -trainings als sehr gering einzuschätzen ist. Gestützt wird diese Beobachtung auf die zum Studienzeitpunkt durchgeführte engmaschige PCR-Testung im Profifußball und die Testung im Amateur- und Jugendfußball (teilweise PCR und/oder Symptom-Monitoring). Dies ist die erste Studie, die das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko von Fußballspielern während eines Spiels oder Trainings umfangreich mittels Videoanalyse unter Einschluss infizierter Spieler aus dem Profi-, Amateur- und Jugendbereich untersucht hat.[88]

### 5.1 SARS-CoV-2-Übertragung auf dem Spielfeld

Nach der Analyse von 104 Spielen/Trainingseinheiten mit 165 potenziell infektiösen SARS-CoV-2-positiven Spielern konnte in 102 Fällen eine SARS-CoV-2-Übertragung auf dem Spielfeld mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Das Übertragungsrisiko auf dem Spielfeld ist demnach sehr gering. Lediglich in 2 Spielen konnte eine Übertragung auf dem Spielfeld nicht in Gänze ausgeschlossen werden, allerdings waren alternative Übertragungswege außerhalb des Fußballplatzes deutlich wahrscheinlicher. Hierauf deuteten die konkreten Angaben der jeweils betroffenen Vereine hin. Bereits im Vorfeld der genannten 2 Spiele kam es bei allen 4 Mannschaften nachweislich zu Übertragungsereignissen (im Verein, im beruflichen und privaten Umfeld, auf einer Busfahrt ohne Tragen von Masken).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Untersuchungen aus dem Rugby, die einen vergleichbaren Ansatz verfolgten.[44] In 4 Spielen mit der Teilnahme von 8 SARS-CoV-2-positiven Spielern (von insgesamt 136 Spielern) evaluierten die Autoren Risikokontakte auf dem Spielfeld und neu aufgetretene SARS-CoV-2-Fälle innerhalb von 14 Tagen nach dem Spiel. Von 128 exponierten Spielern wurden im 14-tägigen Verlauf 6 Spieler (5%) positiv getestet. Die übrigen 122 (95%) exponierten Spieler blieben SARS-CoV-2-negativ. Mit Hilfe GPS-gestützter Videoanalysen konnte gezeigt werden, dass trotz intensiver Zweikämpfe und engen Interaktionen auf dem Spielfeld eine Virusübertragung äußerst unwahrscheinlich erschien. Spieler mit erhöhtem Risiko (Distanz  $\leq 1\text{m}$ , Kontaktdauer  $\geq 3\text{s}$ , Ausrichtung: frontal,  $n=28$ ) hielten sich ca. 10-mal innerhalb von 2 Metern von SARS-CoV-2-positiven Spielern auf, (im Mittel ca. 66s) und waren in ca. 11 Zweikämpfe involviert. Die übrigen Spieler ( $n=100$ )

hielten sich ca. 13-mal innerhalb von 2 Metern von SARS-CoV-2-positiven Spielern auf (im Mittel ca. 90s) und waren in ca. 4 Zweikämpfe involviert.[44] Es konnten alle 6 positiven SARS-CoV-2-Tests nach dem Spiel konkreten vereinsinternen COVID-19-Ausbrüchen, sozialen Interaktionen und einer Übertragung in der Gemeinschaft zugeordnet werden. Zusammenfassend wurde eine SARS-CoV-2-Übertragung auf dem Spielfeld aufgrund der sehr geringen Anzahl positiver Tests und einer passenden Risikoanamnese bei den positiv getesteten Spielern als sehr unwahrscheinlich angesehen.[44] Auch in einer Fallstudie im Fußball wurden 18 positive PCR-Tests nach 3 Spielen eher mit fahrlässigem Verhalten im Vorfeld, wie etwa dem Besuch einer Party oder einer Sauna, in Verbindung gebracht.[29] Diese auf Videoanalysen basierende Untersuchung zeigte, dass adäquate Risikosituationen, die während des Spiels zu einer SARS-CoV-2-Übertragung hätten führen können, nicht nachgewiesen wurden. Kein Kontakt zwischen einem infizierten Spieler und einem nicht infizierten Spieler dauerte länger als 3 Sekunden. Darüber hinaus war die Ausrichtung bei Zweikämpfen fast ausschließlich seitlich oder hintereinander.[29] Weiterhin zeigte eine amerikanische Studie[27] mit mehr als 15.000 Jugendspielern des Vereins aus dem King County im US-Bundesstaat Washington hinsichtlich eines SARS-CoV-2 Prävalenz-Monitorings während eines Kleingruppentrainings, dass sich im Beobachtungszeitraum (Juni 2020 bis August 2020) lediglich 2 Spieler (ca. 0,01%) infizierten. Die beiden Spieler infizierten sich nachweislich außerhalb des Fußballtrainings. Eine Übertragung während des Trainings galt aufgrund eines täglichen Symptom-Monitorings, strengen Distanzregeln, verschärften Testmaßnahmen und konsequenten Quarantänemaßnahmen als unwahrscheinlich.[27] Die Inzidenz unter den Jugend-Fußballspielern war im Studienzeitraum um etwa 57% niedriger als die Inzidenz der Population im County. Die Autoren verglichen hierbei die durchschnittliche Gesamtanzahl der neuen SARS-CoV-2-Fälle der letzten 14 Tage pro 100.000 Einwohner im County (81,8) mit einem geschätzten Wert (35,0) des Vereins. Diese Tatsache unterstreicht den positiven Effekt von Symptom-Monitoring, Distanzregeln und Teststrategien auf das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko. Es ist zu beachten, dass der R-Wert (gemeint ist  $R_{\text{eff}}$ ) zum Zeitpunkt der amerikanischen Studie bei 1,4 lag. Das bedeutet, dass eine infizierte Person im Durchschnitt 1,4 weitere Personen ansteckte. Während die Basisreproduktionszahl  $R_0$  (etwa 2,24-3,58 bei der Ursprungsvariante; variiert je nach SARS-CoV-2-Variante) voraussetzt, dass keine Immunität in der betrachteten Gruppe besteht und keine Maßnahmen zur Infektionsprävention ergriffen wurden, ergibt sich  $R_{\text{eff}}$  nach Etablierung ebendieser. Im Vergleich zu  $R_0$  handelt es sich bei  $R_{\text{eff}}$  (hier 1,4) also um einen erwartungsgemäß geringeren Wert, der die Effektivität der Eindämmungsmaßnahmen erkennen lässt. Dennoch ist von steigenden Fallzahlen in der Bevölkerung auszugehen, da (in der Theorie) die Inzidenzen erst ab einem R-Wert  $<1$  sinken. Es wird deutlich, dass Maßnahmen zur Eindämmung der SARS-

CoV-2-Übertragung rund um das Fußballtraining auch bei vergleichsweise hohem infektiologischen Geschehen in der Bevölkerung wirksam sind.

Die SARS-CoV-2-Übertragungen sind im Umkehrschluss eher in Situationen zu vermuten, in denen Spieler über längere Zeit in geringem Abstand in Innenräumen zusammengekommen sind.

## 5.2 Videoanalyse und infektionsrelevante Kontakte

Im Gegensatz zu den oben bereits erwähnten Studien aus Fußball und Rugby, die 3-4 Spiele mit 8 bis 18 SARS-CoV-2-positiven Spielern einschlossen und per Video analysierten[29,44], verfolgte die vorliegende Studie einen umfassenderen Ansatz. Es wurden 21 Spiele mit 34 SARS-CoV-2-positiven Spielern von zwei Personen unabhängig voneinander per Video analysiert. Weiterhin wurde im Gegensatz zu den erwähnten Studien neben professionellen Spielern zusätzlich auch Amateur- und Jugendspieler in Trainings- und Spielsituationen eingeschlossen. Es ist bekannt, dass neben den Aerosolen, die insbesondere in geschlossenen Räumen den Hauptübertragungsweg darstellen, Tröpfcheninfektionen und enge Kontakte in Abhängigkeit von der Zeit die primären Übertragungswege für SARS-CoV-2 sind.[13,83] Demnach lag der Schwerpunkt der Videoanalyse vor allem auf frontalen und anderen infektionsrelevanten Kontakten. Alle potenziellen Übertragungswege wurden berücksichtigt.

Sowohl frontale Zweikämpfe (<1 pro Spielerstunde) als auch frontale Unterhaltungen (≤4 pro Spielerstunde) kamen sehr selten vor und waren von sehr kurzer Dauer (Maximalwerte: Zweikämpfe: 3 Sekunden, Unterhaltungen: 6 Sekunden). Diese Erkenntnisse stützen in besonderer Form die Vermutung, dass das Risiko einer SARS-CoV-2-Übertragung, welches eine direkte Funktion der Zeit ist[14], als äußerst gering anzusehen ist. Andere Untersuchungen kamen diesbezüglich zu ähnlichen Ergebnissen.[29,32] Bei Videoanalysen von 50 Fußballspielen aus dem Amateur-, Jugend- und Profifußball kamen die Autoren zu der Erkenntnis, dass mit Aerosol- und Tröpfchenbildung einhergehende Aktivitäten (Sprechen, Schreien, Spucken) und direkte Kontakte zu Schleimhäuten bei Fußballspielen selten sind.[32] Alle beobachteten Kontakte überschritten eine Dauer von 3 Sekunden nur selten. Insbesondere direkte frontale Kontakte, die mit einem besonders hohen Risiko für eine Übertragung einhergehen[110], waren sehr selten (frontaler Kontakt mit einem Gegenspieler: im Durchschnitt alle 18 Minuten).[30] In einer Fallstudie von Egger et al.(2021)[29] wurden

Videoanalysen von 3 Spielen mit 18 SARS-CoV-2-positiven Spielern durchgeführt. Abgesehen von einer 9-sekündigen Diskussion zwischen einem Spieler und dem Schiedsrichter überschritten die Zweikämpfe und Gespräche eine Dauer von 3 Sekunden nie. Mit Ausnahme eines frontalen Kontaktes nach einer Kollision war die Ausrichtung der Zweikämpfe in allen analysierten Spielen am häufigsten (99,6%) seitlich oder hintereinander.[29] Laut Angaben der Gesundheitsbehörden WHO und RKI steigt das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko in geschlossenen Räumen nach 10 Minuten im Umkreis ( $\leq 1,5\text{m}$ ) einer infizierten Person deutlich.[79] Da Fußball selten in Innenräumen gespielt wird (Ausnahme: Hallenfußball) und Zeiten von 10 Minuten in so engem Umkreis auf Basis der vorliegenden Studie nicht erreicht werden, sollte das Übertragungsrisiko bei Freiluftsportarten wie Fußball entsprechend bewertet werden. Dies könnte auch bei der Entscheidungsfindung von potenziellen Quarantänemaßnahmen für gegnerische Spieler nach Exposition mit SARS-CoV-2-positiven Fußballspielern auf dem Platz Berücksichtigung finden.

Die vorliegende Studie schloss erstmalig 4 mit der SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7 (Alpha-Variante) infizierte Fußballspieler in die Videoanalyse ein. Schätzungen zufolge hat diese Virusvariante eine etwa 1,5-fach größere Reproduktionszahl.[20] Auch wenn nur bei einer sehr geringen Anzahl ( $n=4$ ) aller untersuchten SARS-CoV-2-positiven Spieler ( $n=165$ ) eine Infektion mit der Alpha-Variante bekannt war (Genom-Sequenzierung keine Standardanalyse, 1-10% der positiven Tests entsprechend der jeweiligen 7-Tagesinzidenz[80]), bleibt festzuhalten, dass es zu keiner Übertragung der Alpha-Variante auf dem Spielfeld kam. Diese Tatsache liegt möglicherweise auch darin begründet, dass lediglich einer der vier infizierten Spieler einen frontalen Kontakt (Dauer: 1 Sekunde) während des Spiels hatte.

Die weitere Auswertung der durchgeführten Videoanalysen zeigte, dass die Häufigkeit von intraindividuellen Schleimhautkontakten (die eigene Hand geht zu Mund-, Nasen- oder Augenschleimhaut) auf dem Spielfeld ähnlich wie in alltäglichen Situationen in Innenräumen war.[51,65] Demnach scheint während des Fußballspiels keine erhöhte Übertragungsgefahr durch intraindividuelle Kontakte zu bestehen. Einige der wenigen Situationen, bei denen theoretisch eine Virusübertragung vorstellbar wäre, sind Rudelbildungen wie sie beispielsweise im Rahmen von Torjubeln, Diskussionen oder schweren Verletzungen auftreten. Dabei ist häufig zu beobachten, wie Spieler in frontaler Ausrichtung zueinander jubeln und schreien, was die Gefahr für eine relevante Tröpfchenübertragung steigen lässt.[4] Beobachtete Rudelbildungen während des Spiels überschritten eine maximale Dauer von 16 Sekunden nicht. Umfangreichere Analysen hinsichtlich übertragungsrelevanter Kontakte im Fußball beobachteten bei den meisten Rudelbildungen eine Dauer von unter 10 Sekunden.[32] Für die deutsche Bundesliga konnte anhand von Videoanalysen gezeigt werden, dass die Anzahl der Spieler bei Rudelbildungen sowie deren Dauer nach dem Lockdown deutlich reduziert waren. So waren beispielsweise nach dem Lockdown nur noch ein Drittel der Spieler

in den Torjubel involviert. Auch die Dauer des Torjubels war deutlich kürzer (2 Sekunden) als vor dem Lockdown (8 Sekunden). Dennoch scheint dies nur ein vorübergehender Effekt gewesen zu sein, da sich die Werte in der Folge wieder an ursprüngliche Situationen vor dem Lockdown anpassten.[32]

Mit Hilfe von GPS-gestützten Daten wurde bei Kleinfeldspielen im Jugend- und Erwachsenenfreizeitfußball die Zeit evaluiert, die ein Spieler in einer Risikozone (1,5 Meter) zu einem anderen Spieler verbrachte.[72] Darüber hinaus wurde die Anzahl der Kontakte sowie deren jeweilige Dauer gemessen. 53-65% aller Kontakte dauerten weniger als 1 Sekunde und 77-85% aller Kontakte waren kürzer als 2 Sekunden.[72] Diese Ergebnisse von Randers et al. (2021)[72] stehen im Einklang mit den kurzen Kontaktzeiten, die in der vorliegenden Studie ermittelt wurden. Mit Hilfe eines Trackingsystems konnten Gonçalves et al. (2020)[35] bei einem Profifußballspiel die durchschnittliche Expositionszeit pro Spielerpaar analysieren, welche bei 32 Sekunden lag. Die Zusammenschau dieser Studien zeigt, dass Art und Dauer fußballspezifischer Kontakte eine SARS-CoV-2-Übertragung auf dem Spielfeld unwahrscheinlich machen. Auch die Einordnung von Fußball als Kontaktsportart ist aus infektologischer Sichtweise angesichts dieser Ergebnisse zu überdenken. Für die initial in der Fußballwelt verbreitete Vermutung, der Ball fungiere als Vektor für respiratorische Virusinfektionen, ergaben sich in den vorliegenden Videoanalysen keine Hinweise. Hand-Ball-Kontakte traten  $\leq 18$ -mal pro Spielerstunde auf (Median: 2, IQR: 4,2) und Hand-Gesichtsschleimhaut-Kontakte  $\leq 22$ -mal pro Spielerstunde. Unabhängig hiervon wird die Oberflächenübertragung von SARS-CoV-2 als gering eingeschätzt.[28,39,64] Edwards et al. (2022)[28] untersuchten in einer Laborstudie die Überlebensfähigkeit von SARS-CoV-2 u.a. auf verschiedenen Spielbällen (z.B. Fußball, Tennisball, Golfball, Rugbyball). Selbst bei Testung mit einem Hochdosis-Inokulum waren nach einer Minute im Mittel nur noch 0,74% der Viren überlebensfähig (0,39% nach 15 Minuten, 0,003% nach 90 Minuten). Diese Untersuchungen deuten darauf hin, dass eine SARS-CoV-2-Übertragung über das Spielgerät (der Fußball als potenzieller Vektor) als sehr gering anzusehen ist.

Es ist zu erkennen, dass verschiedene Studien zu ähnlichen Ergebnissen kommen. Daher lässt sich zusammenfassen, dass relevante Kontakte für eine SARS-CoV-2-Infektion auf dem Spielfeld sehr selten auftreten und von kurzer Dauer sind. Dies steht im Einklang mit der geringen Übertragungsrate während der Spiele respektive während des Trainings.

### 5.3 Evaluation von Quarantänemaßnahmen

Anhand der vorliegenden Studie kann retrospektiv über die Sinnhaftigkeit der zum Studienzeitraum durch die verschiedenen Gesundheitsämter verordneten Quarantänemaßnahmen diskutiert werden. Die Beobachtungen zeigten, dass in 14% der angeordneten Quarantänen für eine ganze Mannschaft gleichzeitig auch die gesamte gegnerische Mannschaft isoliert wurde, auch wenn in der betroffenen Mannschaft nur ein potenziell infektiöser Spieler am Spiel teilnahm. Obwohl in der vorliegenden Studie keine detaillierten Untersuchungen zu Verhalten und Gegebenheiten unmittelbar vor und nach einem Training oder Spiel erfolgten (Analyse außerhalb des Fußballplatzes), sollten solche Quarantäneanordnungen im Zusammenhang mit den hier gefundenen Ergebnissen reevaluiert werden. Möglicherweise wäre es ausreichend, den einzelnen betroffenen Indexspieler von der eigenen Mannschaft zu trennen, solange kein längerer Kontakt auf engem Raum mit Mitspielern, Trainern oder Betreuern auszumachen ist. Falls jedoch ein Risikokontakt mit erhöhter Übertragungsgefahr innerhalb der Mannschaft verdächtig wird, wäre es gerechtfertigt, größere Teile der Mannschaft zu isolieren, um einen Ausbruch zu verhindern. Eine Infektionsgefahr für die gegnerische Mannschaft durch Kontakte auf dem Spielfeld ist auf Basis der vorliegenden Studienergebnisse äußerst unwahrscheinlich. Somit ist eine Quarantäneanordnung für gegnerische Mannschaften, die während einem Fußballspiel gegenüber einem oder mehreren SARS-CoV-2-positiven Spielern exponiert waren und selbst keine infektiösen Spieler in ihren Reihen haben, möglicherweise vermeidbar.

Aus den bisherigen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass während des Studienzeitraums Maßnahmen wie Maskentragen bei Busfahrten oder gemeinsamen Autofahrten, Verlagerung der Mannschaftssitzungen/Einzelgespräche nach außen oder die Verkürzung der Verweilzeiten in den Umkleidekabinen sinnvoll waren. Allerdings ist in der Zwischenzeit die Relevanz dieser Maßnahmen dank hoher Impfraten seit dem Impfstart (Dezember 2020) in den Jahren 2020-2022 (Impfquote der Grundimmunisierung: 2020: 0%, 2021: ca. 71%, 2022: ca. 76%<sup>[34]</sup>) und weniger aggressiven SARS-CoV-2-Varianten zum aktuellen Zeitpunkt nur noch von geringer Relevanz.

### 5.4 Methodische Überlegungen und Limitationen

Im internationalen professionellen Fußball (Deutschland, Dänemark und Katar) konnte die Effektivität regelmäßig durchgeführter PCR-Testungen ( $\geq 2$  pro Woche) hinsichtlich

Fortführung eines sicheren, risikoarmen Spielbetriebs nach dem Lockdown beobachtet werden.[63,69,89] Basierend auf diesen Erkenntnissen und unter Anwendung strenger Einschlusskriterien der vorliegenden Studie (SARS-CoV-2-negativ 48 Stunden vor dem Spiel und entweder SARS-CoV-2-positiv <48 Stunden nach dem Spiel oder Training bei asymptomatischen Infektionen oder Bestätigung <48 Stunden nach dem Spiel neu aufgetretener COVID-19-typischer Symptome durch nachfolgenden SARS-CoV-2-positiven PCR-Test) konnten die eingeschlossenen professionellen Fußballspieler (Deutsche 1.–3. Liga, europäische 1. Ligen, Nationalmannschaften) als infektiös angesehen werden, da das maximale Übertragungsrisiko im Zeitraum von 2 Tage vor bis 2 Tage nach dem Auftreten von Symptomen zu erwarten ist.[40]

Eine Limitation der Studie ist, dass aufgrund der strengen Einschlusskriterien, die sicherstellen sollten, dass infektiöse Spieler detektiert werden, möglicherweise auch Spieler, die 48 Stunden nach dem Spiel positiv getestet wurden, noch infektiös waren (statistisch möglich, jedoch deutlich seltener) und daher nicht berücksichtigt wurden. Somit wurden nur solche Spieler, die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt des Spiels oder Trainings infektiös waren, in die Studie eingeschlossen (zu Ungunsten einer geringeren Fallzahl tatsächlich infektiöser Spieler). Es sollte erwähnt werden, dass eine Virusübertragung bis zum 9. Tag nach der Infektion denkbar ist.[13,114] Bei schweren Krankheitsverläufen oder Vorliegen einer Immunschwäche sind die betroffenen Personen unter Umständen auch länger als 10 Tage infektiös.[6,98] Dem sollte gegenübergestellt werden, dass gesunde junge, sportliche Menschen i.d.R. ein kompetenteres Immunsystem haben als ältere, kranke Menschen. Daher kann bei den Fußballspielern der vorliegenden Studie von einer relativ kurzzeitigen Infektiosität ausgegangen werden, die durch die zur Anwendung gekommenen Einschlusskriterien möglichst präzise abgedeckt wurden.

Weiter kommt einschränkend hinzu, dass sowohl Antigen-Schnelltests als auch PCR-Tests keine Sensitivität und Spezifität von 100% vorweisen. Während man bei PCR-Tests von einer Sensitivität von bis zu 98% und einer Spezifität von bis zu 99,5% ausgehen kann, liegt die Spezifität bei den Antigen-Schnelltests zwar bei etwa 99,5%[10,26,94], die Sensitivität der Antigen-Schnelltests variiert aber je nach Hersteller. Bei einer Untersuchung von 122 verschiedenen Antigen-Schnelltests wurde in 79% der Fälle eine Sensitivität von mindestens 75% erreicht.[85] Diese Daten erklären, dass sowohl falsch positive als auch falsch negative Testergebnisse auftreten können, wenn auch selten. Im Rahmen der vorliegenden Studie kamen Antigen-Schnelltests verhältnismäßig deutlich seltener zum Einsatz, da Bund und Länder erst am Ende des Studienzeitraums (März 2021) beschlossen, breitflächig kostenlose Antigen-Schnelltests anzubieten. Die ct-Werte wurden in dieser Studie nicht zur Abschätzung der Ansteckungsgefahr verwendet, da sie nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung standen, um eine Analyse durchzuführen. Generell besteht eine reziproke Beziehung

zwischen ct-Wert und Viruslast: Je höher die Viruslast, desto niedriger der ct-Wert und umgekehrt. Dieser Wert stellt jedoch lediglich einen semi-quantitativen Messwert dar, der aufgrund fehlender Standardisierung und bestehender Variationen bezüglich der jeweiligen cut-off Werte nicht zwischen den einzelnen Laboren, Ländern und Regionen verglichen werden kann.[77]

Abschließend bleibt zu erwähnen, dass die Ausschlusskriterien der vorliegenden Studie zu keiner Verzerrung bei der Erkennung von Infektionen geführt haben. Es ist zu beachten, dass die vorliegende Studie zwei Monate vor der Einstufung der hochgradig übertragbaren Delta-Variante (B.1.617.2) als VOC im Mai 2021 endete, als diese weltweit immer häufiger auftrat.[111] Daher sind die Ergebnisse möglicherweise nur begrenzt auf die Delta-Variante übertragbar.

#### **5.4.1 Limitationen im Jugend- und Amateurfußball**

Eine Limitation im Jugend- und Amateurbereich war, dass im Gegensatz zum Profifußball PCR-Tests nicht regelmäßig durchgeführt wurden, sondern lediglich auf freiwilliger Basis oder als Reaktion auf verdächtige oder positiv getestete Kontakte erfolgten. Daher ist es denkbar, dass asymptomatische Infektionen nicht entdeckt wurden. Der Anteil asymptomatischer Infektionen wird in der Allgemeinbevölkerung auf 20-40% geschätzt, wobei insbesondere Kinder hier im oberen Bereich zu liegen scheinen.[11,47,68] Nichtsdestotrotz hatten asymptomatische Amateur- und Jugendspieler, die innerhalb der durchschnittlichen Inkubationszeit von 5 Tagen[61] vor einem Spiel oder Training Teil eines COVID-19-Ausbruchs waren, eine erhebliche Wahrscheinlichkeit infektiös zu sein, wenn sie SARS-CoV-2-positiv getestet wurden. Diese Überlegungen wurden bei der Wahl der Einschlusskriterien (Punkt IV) berücksichtigt, um mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit einen zum Zeitpunkt des Spiels oder Trainings infektiösen Amateur- oder Jugendspieler in die Studie einzuschließen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass ein PCR-Test auch Monate nach der Infektion noch positiv sein kann (Detektion von nicht vermehrungsfähigen Virus-RNA-Resten)[57], ist es schwierig, einen singulären positiven Test ohne seriell durchgeführte Testreihen einer akuten Infektion zuzuordnen. Die Frage, ob Infektiosität und somit eine Infektionsgefahr für Kontaktpersonen vorliegt, kann durch einen einzigen positiven Test nicht geklärt werden. Daher wurden alle zur Indexperson exponierten Spieler der in die Studie eingeschlossenen Vereine nach dem Auftreten SARS-CoV-2-typischer Symptome bis zu 14 Tage nach dem Spiel oder Training befragt, um das Übertragungsrisiko trotz nicht vorhandener serieller PCR-Testprotokolle möglichst genau erfassen zu können. Da in den Vereinen nur zum Teil

anschließende PCR-Testungen durchgeführt wurden, musste bei Auftreten neuer Symptome im Einzelfall erneut eruiert werden, ob und wann ein PCR-Test bei den exponierten Spielern stattfand, und welches Ergebnis vorlag. Hierbei ist kritisch anzumerken, dass nicht immer alle exponierten Spieler einzeln befragt werden konnten. Daher wurden die entsprechenden Antworten oftmals stellvertretend durch die Mitspieler gegeben. Dieser Umstand könnte zu einer Verzerrung der Berichterstattung (reporting bias) beigetragen haben. Weiterhin waren eine retrospektiv mangelnde Erinnerung hinsichtlich des Auftretens erster Symptome und des Testdatums sowie unvollständige oder abgelehnte Fragebögen mögliche Gründe für den Ausschluss einiger Fälle aus der Studie.

#### **5.4.2 Limitationen im Profifußball**

Die Medienrecherche zur Detektion SARS-CoV-2-positiver Spieler im Profibereich war sehr wahrscheinlich mit einer gewissen Unterberichterstattung verbunden, weshalb diese Methodik eine Einschränkung in der Bestimmung der Gesamtfallzahl darstellt. Eine öffentliche Meldung infizierter Spieler seitens der Vereine ist keineswegs verpflichtend, sodass einige Informationen, die für die Prüfung der Einschlusskriterien unabdingbar wären, nicht an die Öffentlichkeit kamen. Die Presseberichte der Profivereine hinsichtlich der bestätigten SARS-CoV-2-positiven Spieler erfolgten in der Mehrzahl der Fälle innerhalb von 48 Stunden nach Testung. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass der Testzeitpunkt und das Auftreten der Symptome zuverlässig waren und nicht falsch berichtet wurden. Lediglich in einer kleinen Fallzahl verzögerten sich die Presseberichte um maximal zwei Tage.

Es war nicht Ziel der vorliegenden Studie, Inzidenzen im epidemiologischen Sinn zu berechnen. Vielmehr galt es, Spiele und Trainingseinheiten zu ermitteln, in denen potenziell infektiöse Spieler auf dem Spielfeld waren. Dass möglicherweise nicht alle SARS-CoV-2-Fälle während des Studienzeitraums berücksichtigt wurden, hat die Ergebnisse der vorliegenden Studie daher höchst wahrscheinlich nicht beeinflusst. Des Weiteren wurden die aus den Presseartikeln stammenden Informationen durch zusätzliche Gespräche mit Mannschaftsärzten verifiziert.

## 5.5 Vergleichbarkeit mit Studien ähnlicher Fragestellungen

In der aktuellen Literatur existieren mehrere Arbeiten, die sich mit dem SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko im Fußball, der Wiederaufnahme des Spielbetriebes in der Pandemie oder auch der Effektivität von Hygienemaßnahmen und Testprotokollen beschäftigen. Egger et al. (2021)[29] untersuchten im August und September 2020 3 Fußballspiele aus dem deutschen Profi-, Amateur- und Jugendfußball mit insgesamt 18 SARS-CoV-2-positiven Spielern. Anhand einer videobasierten Kontaktanalyse und der Auswertung durchgeführter PCR-Testungen wurde das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko im Fußball als gering eingeordnet.[29] Eine Studie von Drezner et al. (2021)[27] legte den Fokus auf die Bewertung der Effektivität von Hygienemaßnahmen und Abstandsregeln zur Infektionsprävention im Jugendfußball. Während des 6-wöchigen Studienzeitraums (Juni-August 2020) untersuchten die Autoren den Trainingsbetrieb von 15.494 Jugendspielern im Alter von 7-18 Jahren im US-Bundesstaat Washington. Die SARS-CoV-2-Übertragungswahrscheinlichkeit wurde durch Prävalenzvergleiche zwischen Normalbevölkerung und Trainingskohorte ebenfalls als äußerst gering eingeschätzt.[27] Meyer et al. (2020)[63] evaluierten die Wiederaufnahme des Spielbetriebes in der Fußball-Bundesliga. Während des Studienzeitraums (Mai-Juli 2020) unterzogen sich die 1079 professionellen Spieler wie auch 623 Offizielle strengen Symptom-Monitorings, 2-mal wöchentlich stattfindenden PCR-Testungen und Antikörper-Tests. Die Autoren konnten zwar eine sichere Wiederaufnahme des Spielbetriebes in der Fußball-Bundesliga bestätigen, eine Aussage zum SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko auf dem Spielfeld konnte jedoch nicht getroffen werden.[63] Es lässt sich erkennen, dass die bereits existierenden Arbeiten das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko auf dem Spielfeld als gering einschätzen und die Effektivität von Abstandsregeln, Hygienemaßnahmen und regelmäßigen Testungen hervorheben. Während die oben erwähnten Studien einen vergleichsweise kurzen Studienzeitraum wählten und sich meist nur auf ein Spielniveau oder Land konzentrierten, verfolgte die vorliegende Studie einen umfassenderen Ansatz. Im 8-monatigen Studienzeitraum (August 2020–März 2021; drei Monate für Mannschaften der unteren Ligen bzw. acht Monate für Profimannschaften) wurden sowohl Spiele als auch Trainingseinheiten aus insgesamt 14 verschiedenen Ländern untersucht. Wie auch bei Egger et al. (2021)[29] erfolgte bei der vorliegenden Studie eine videobasierte Kontaktanalyse, jedoch in deutlich größerem Umfang. Insgesamt wurden 21 Videoanalysen mit 34 infizierten Spielern durchgeführt. Die Tatsache, dass fußballspezifische Kontakte von kurzer Dauer sind und infektionsrelevante Situationen selten auftreten, stehen nicht nur im Einklang mit den Studienergebnissen von Egger et al. (2021)[29], sondern auch mit einer umfangreichen Videoanalyse von 50 Spielen zur Ermittlung infektionsrelevanter Kontakte im Fußball.[32] Im Unterschied zu den Untersuchungen von Meyer et al. (2020)[63], lassen sich daher auch Rückschlüsse auf das SARS-CoV-2-

Übertragungsrisiko auf dem Spielfeld ziehen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den bereits vermuteten Erkenntnissen der Fallstudie.[29] Als Limitation der Studie muss in diesem Zusammenhang angemerkt werden, dass eine Power-Berechnung angesichts der geringen Anzahl von nur zwei gefundenen potenziellen Übertragungseignissen nicht durchführbar war.

## 5.6 Ausblick

Von Oktober 2020 bis Mai 2021 lagen der Amateur- und Jugendfußball weitestgehend still, was für die schätzungsweise sieben Millionen Mitglieder und die etwa 24.500 Vereine des DFB eine große Beeinträchtigung darstellte. Schritt für Schritt waren im Rahmen bundesweiter Lockerungen im Mai 2021 auch erste Trainingseinheiten im Amateur- und Jugendbereich wieder möglich. Beschlüsse der Bund-Länder-Konferenzen zeigten in Abhängigkeit der 7-Tages-Inzidenzen verschiedene Öffnungsschritte für den Amateur- und Jugendfußball auf.[23] Die Details dieser Umsetzungen oblag jedoch den Ländern und Kommunen. Darüber hinaus entwarf die Task Force Sportmedizin/Sonderspielbetrieb des DFB das Muster-Hygienekonzept „Zurück auf den Platz“ als Leitfaden für den Trainings- und Spielbetrieb im Amateur- und Jugendfußball. Neben allgemeinen Hygieneregeln und dem Umgang mit COVID-19-(Verdachts-)Fällen, enthält diese Orientierungshilfe für die Vereine unter anderem auch Trainingstipps.[24] Von besonderer Wichtigkeit ist das Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes überall dort, wo ein Mindestabstand von 1,5m nicht eingehalten werden kann. Darüber hinaus soll auf Begrüßungsrituale (Umarmen, Handschlag etc.) verzichtet werden. Bei Verdacht möglicher SARS-CoV-2-positiver Spieler bei der gegnerischen Mannschaft sollten generell keine direkten Kontakte gesucht werden und der Informationsaustausch (kontaktlos) auf das mögliche Minimum beschränkt werden. Im Einklang mit den Ergebnissen vorliegender Studie ist ein Aussetzen des Trainings- oder Spielbetriebes oder auch eine „Pauschalquarantäne“ für beide Mannschaften (sofern alle Hygieneregeln außerhalb des Spielfeldes eingehalten wurden) diskutabel. Darüber hinaus wird die Wichtigkeit der Impfung betont. Zu Beginn des Studienzeitraums (August 2020) lag die Impfquote bei 0%, denn erst seit Dezember 2020 kamen Impfstoffe zum Einsatz. Am Ende des Studienzeitraums (März 2021) waren 12% der deutschen Bevölkerung mindestens einmal geimpft (Impfquote der Grundimmunisierung: ca. 5%). Bis Ende März 2023 stieg der Anteil der Bevölkerung, der mindestens eine Impfung erhielt, auf 78% (Impfquote der Grundimmunisierung: ca. 76%).[34] Diese Entwicklung zeigt, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie nur noch bedingt auf

die aktuelle Situation übertragbar sind. Es ist jedoch hervorzuheben, dass Erkenntnisse bezüglich einer generellen Übertragbarkeit respiratorischer Viren im Fußball gewonnen werden können. Obwohl direkte Schlussfolgerungen auf ein potenzielles Übertragungsrisiko aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abzuleiten sind, ist es naheliegend, dass andere stark infektiöse respiratorische Viren während des Fußballspielens ebenfalls zu keiner Neuinfektion führen. Das SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko auf dem Spielfeld ist gemäß den Ergebnissen vorliegender Studie als besonders gering anzusehen. Durch die steigende Impfquote einerseits und die steigende Immunität nach durchgemachter Infektion andererseits kann das ohnehin schon geringe SARS-CoV-2-Übertragungsrisiko noch weiter gesenkt werden.

Im Rahmen des sog. Amateurfußball-Barometers ermöglicht der DFB in Zusammenarbeit mit den 21 FLVs allen Fußballspielern, Trainern, Schiedsrichtern und Ehrenamtlichen die Teilnahme an regelmäßigen Umfragen zu Themen des Amateurfußballs. In diesem Zusammenhang beantworteten mehr als 101.000 Personen, die mindestens 14 Jahre alt sind und einen Bezug zum Amateurfußball haben, die Frage „Wie geht es dem Amateurfußball?“.[25] Die Ergebnisse dieser vom 19. bis 27. Februar 2021 durchgeführten Umfrage legen dar, dass 85% der Befragten die Aktivität im Fußballverein außerordentlich vermissen. Gegenüberstellend zeigte die Studie ferner, dass 4717 Personen (5%) nach dem Lockdown möglicherweise nicht mehr zum Amateurfußball zurückkehren. Als Gründe für diese Unsicherheit wurde u.a. angegeben die Lust am Fußball verloren zu haben (34%) andere Hobbies gefunden zu haben (24%) oder auch Angst vor einer Corona-Infektion gehabt zu haben (17%).[25] Eltern, die zur Zeit des Lockdowns noch unsicher waren, ob ihr Kind wieder im Verein aktiv werde, gaben in 10% der Fälle an, sie hätten Angst vor einer Corona-Infektion. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie könnten den betroffenen Personen diese Angst möglicherweise nehmen. Auf die Frage, welche Gruppe (Kinder-/Jugendfußball oder Erwachsenenfußball) zuerst wieder auf den Fußballplatz zurückkehren solle, antworteten 55% der Befragten „beide gleichberechtigt“. 39% der Befragten waren der Meinung, dass der Kinder- und Jugendfußball gegenüber dem Erwachsenenfußball (5%) bevorzugt werden sollte. Ein möglicher Grund für diese Bevorzugung könnte die psychosoziale Belastung sein, die nicht nur Erwachsene, sondern vor allem Kinder und Jugendliche erleben.

### **5.6.1 Psychosoziale Aspekte**

Die bisherige Diskussion der Ergebnisse vorliegender Studie hat verdeutlicht, dass teilweise unverhältnismäßige Quarantänemaßnahmen getroffen wurden. Dies hat durch entsprechende Ausfallzeiten nicht nur Auswirkungen auf der sportlichen, sondern unter Umständen auch auf

der beruflichen und psychosozialen Ebene. Ein besonderes Augenmerk sollte auf den Jugendfußball gerichtet werden, da vor allem Kinder unter der COVID-19-Pandemie und der dadurch bedingten Isolation zu leiden scheinen. Die von Forschern des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf initiierte COPSY (Corona und Psyche)-Längsschnittstudie untersuchte im Rahmen einer umfangreichen Online-Befragung die Auswirkungen und Folgen der Pandemie, wobei der Fokus hier insbesondere auf der psychischen Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (7-17 Jahre) aus Deutschland lag.[74] Nach einer Hauptbefragung von Mai bis Juni 2020 fanden bis zum Herbst 2022 noch drei Folgebefragungen (12/2020-01/2021; 09-10/2021; 02/2022) statt. Gegenstand der Fragen waren u.a. die Themengebiete Schule, Freunde, Familie und psychische Probleme wie Ängste oder Depressionen. Insgesamt nahmen über 2000 Familien an der Befragung teil. Mit Hilfe des KIDSCREEN-10-Index wurde die geminderte Lebensqualität gemessen. Während der Anteil der Kinder mit geminderter Lebensqualität vor der Pandemie mit 15,3% angegeben wurde, stieg der Wert während der Pandemie auf bis zu 47,7%. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch die Untersuchung von psychischen Auffälligkeiten (Strengths and Difficulties Questionnaire, SDQ). Hierbei werden u.a. emotionale Probleme, Verhaltensprobleme, Hyperaktivität sowie ein Gesamtproblemwert ermittelt. Der Anteil der Kinder und Jugendlichen mit psychischen Auffälligkeiten lag vor der COVID-19-Pandemie bei 17,6% und erreichte zum Zeitpunkt der zweiten Befragung (12/2020-01/2021) den Höchstwert von 30,9%. Zum Zeitpunkt der letzten Befragung lag der Wert nur unwesentlich niedriger bei 28,5%. Psychische Erkrankungen der Eltern, eine starke Belastung der Eltern durch die Pandemie sowie eine geringe Bildung der Eltern und ein geringer Wohnraum (<20 Quadratmeter/Person) bzw. Migrationshintergrund scheinen sich ungünstig auf das psychische Wohlbefinden der Kinder ausgewirkt zu haben. Es lässt sich in diesem Zusammenhang vermuten, dass wiederholte, unverhältnismäßige Quarantäneanordnungen für erwachsene Fußballspieler und Eltern zu Belastungen oder gar zu beruflichen Existenzängsten geführt haben könnten. Auch wenn die Ergebnisse der COPSY-Studie keine kausalen Zusammenhänge zwischen COVID-Erkrankungen und psychischer Gesundheit von Kindern und Jugendlichen erlauben, ist doch festzustellen, dass ein hoher Anteil an Kindern psychisch belastet zu sein scheint.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die Wiederaufnahme des Spielbetriebes nicht nur aus Sicht der wirtschaftlich angeschlagenen Vereine als positiv gewertet werden sollte. Denn die Unterbrechung des Spielbetriebes hatte und hat auch immer noch weitreichende gesundheitliche Aspekte, die insbesondere die psychische Gesundheit von Kindern und Jugendlichen betrifft. Über das langfristige Ausmaß dieser psychischen Belastungen kann aktuell nur gemutmaßt werden.

## 5.7 Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung der wichtigsten Erkenntnisse lassen sich die Ergebnisse dieser Studie wie folgt zusammenfassen:

Das SARS-CoV-2 (inklusive Variante B.1.1.7)-Übertragungsrisiko auf dem Fußballplatz kann während eines Spiels oder Trainings als sehr gering eingeschätzt werden. Basierend auf den vorliegenden Daten im Amateur- und Jugendfußball kann weiterhin festgehalten werden, dass diese Einschätzung nicht nur für den professionellen Fußball, sondern auch für den Amateur- und Jugendfußball gilt. Durch umfassende Videoanalysen, PCR-Tests und zweiwöchige Symptomüberwachungen werden die wesentlichen Ergebnisse gestützt und stimmen mit aktuellen Erkenntnissen aus dem Profifußball überein.

Hinsichtlich fußballspezifischer Kontakte mit übertragungsrelevanter Komponente kann festgehalten werden, dass diese selten und von kurzer Dauer waren. Die Nähe zu anderen Spielern während des Spiels oder Trainings scheint somit nicht ausreichend für eine Virustransmission (inklusive SARS-CoV-2-Variante B.1.1.7) zu sein. Eine Einstufung von Fußball als Kontaktsportart ist folglich in Frage zu stellen.

In der Mehrzahl der Fälle wurde die Infektionsquelle bei den betroffenen Spielern im privaten und beruflichen Umfeld gefunden und wurde in einigen Fällen auch auf fahrlässiges Kontaktverhalten zurückgeführt.

Des Weiteren können diese Ergebnisse den lokalen Gesundheitsbehörden als Grundlage dienen, um inadäquate Quarantänemaßnahmen und möglicherweise nicht zu unterschätzende negative psychosoziale Auswirkungen zu vermeiden. Die vorliegende Studie hat sich ausdrücklich nicht mit den Gegebenheiten rund um das Training oder Spiel beschäftigt. Es sollten weiterführende Überlegungen hinsichtlich Anreise zum Spiel, Verhalten in der Kabine oder auch Mannschaftsbesprechungen angestellt werden, um das Infektionsrisiko gering zu halten.

Die Entwicklungen der vergangenen Jahre hinsichtlich steigender Impfquoten und einer schrittweisen Rückkehr zu einem Alltag, der demjenigen vor der COVID-19-Pandemie nahekommt, verdeutlichen, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie nur bedingt auf die heutige Situation übertragbar sind. Es lassen sich dennoch wichtige Erkenntnisse für den Umgang mit anderen respiratorisch übertragbaren Viruserkrankungen im Fußball gewinnen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Aguiar M, Rocha F, Pessanha JEM, Mateus L, Stollenwerk N (2015) Carnival or football, is there a real risk for acquiring dengue fever in Brazil during holidays seasons? *Sci Rep* 5:8462
2. Al-Salem W, Moraga P, Ghazi H, Madad S, Hotez PJ (2021) The emergence and transmission of COVID-19 in European countries, 2019–2020: a comprehensive review of timelines, cases and containment. *Int Health* 13:383–398
3. Arnemann J (2019) *Reverse Transkriptase-PCR*. Springer, Berlin, Heidelberg. verfügbar: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-48986-4\\_3573](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48986-4_3573)
4. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD (2019) Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep* 9:2348
5. AWMF S1-Leitlinie Long/Post-COVID, verfügbar: [https://register.awmf.org/assets/guidelines/020-0271\\_S1\\_Post\\_COVID\\_Long\\_COVID\\_2022-08.pdf](https://register.awmf.org/assets/guidelines/020-0271_S1_Post_COVID_Long_COVID_2022-08.pdf)
6. Aydilto T, Gonzalez-Reiche AS, Aslam S, van de Guchte A, Khan Z, Obla A, Dutta J, van Bakel H, Aberg J, García-Sastre A, Shah G, Hohl T, Papanicolaou G, Perales M-A, Sepkowitz K, Babady NE, Kamboj M (2020) Shedding of Viable SARS-CoV-2 after Immunosuppressive Therapy for Cancer. *N Engl J Med* 383:2586–2588
7. Belosi F, Conte M, Gianelle V, Santachiara G, Contini D (2021) On the concentration of SARS-CoV-2 in outdoor air and the interaction with pre-existing atmospheric particles. *Environ Res* 193:110603
8. Bermejo-Martin JF, Almansa R, Menéndez R, Mendez R, Kelvin DJ, Torres A (2020) Lymphopenic community acquired pneumonia as signature of severe COVID-19 infection. *J Infect* 80:e23–e24
9. Bischoff WE, Swett K, Leng I, Peters TR (2013) Exposure to influenza virus aerosols during routine patient care. *J Infect Dis* 207:1037–1046
10. Brihn A, Chang J, OYong K, Balter S, Terashita D, Rubin Z, Yeganeh N (2021) Diagnostic Performance of an Antigen Test with RT-PCR for the Detection of SARS-CoV-2 in a Hospital Setting - Los Angeles County, California, June-August 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 70:702–706
11. Buitrago-Garcia D, Egli-Gany D, Counotte MJ, Hossmann S, Imeri H, Ipekci AM, Salanti G, Low N (2020) Occurrence and transmission potential of asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections: A living systematic review and meta-analysis. *PLOS Med* 17:e1003346
12. Bulfone TC, Malekinejad M, Rutherford GW, Razani N (2020) Outdoor Transmission of SARS-

CoV-2 and Other Respiratory Viruses, a Systematic Review. *J Infect Dis*

13. Cevik M, Kuppalli K, Kindrachuk J, Peiris M (2020) Virology, transmission, and pathogenesis of SARS-CoV-2. *BMJ* 371:m3862
14. Cevik M, Tate M, Lloyd O, Maraolo AE, Schafers J, Ho A (2021) SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-CoV viral load dynamics, duration of viral shedding, and infectiousness: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Microbe* 2:e13–e22
15. Challen R, Brooks-Pollock E, Read JM, Dyson L, Tsaneva-Atanasova K, Danon L (2021) Risk of mortality in patients infected with SARS-CoV-2 variant of concern 202012/1: matched cohort study. *BMJ* 372:n579
16. Chen L, Deng C, Chen X, Zhang X, Chen B, Yu H, Qin Y, Xiao K, Zhang H, Sun X (2020) Ocular manifestations and clinical characteristics of 534 cases of COVID-19 in China: A cross-sectional study. *medRxiv* 2020.03.12.20034678
17. Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen H-L, Chan MCW, Peiris M, Poon LLM (2020) Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 1:e10
18. Chirizzi D, Conte M, Feltracco M, Dinoi A, Gregoris E, Barbaro E, La Bella G, Ciccarese G, La Salandra G, Gambaro A, Contini D (2021) SARS-CoV-2 concentrations and virus-laden aerosol size distributions in outdoor air in north and south of Italy. *Environ Int* 146:106255
19. Collins CJ, O’Connell B (2012) Infectious Disease Outbreaks in Competitive Sports, 2005–2010. *J Athl Train* 47:516–518
20. Davies NG, Abbott S, Barnard RC, Jarvis CI, Kucharski AJ, Munday JD, Pearson CAB, Russell TW, Tully DC, Washburne AD, Wenseleers T, Gimma A, Waites W, Wong KLM, van Zandvoort K, Silverman JD, CMMID COVID-19 Working Group, COVID-19 Genomics UK (COG-UK) Consortium, Diaz-Ordaz K, Keogh R, Eggo RM, Funk S, Jit M, Atkins KE, Edmunds WJ (2021) Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. *Science* 372:
21. Dbouk T, Drikakis D (2020) On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Phys Fluids* 32:053310
22. Deniz M, Tezer H (2020) Vertical transmission of SARS CoV-2: a systematic review. *J Matern-Fetal Neonatal Med Off J Eur Assoc Perinat Med Fed Asia Ocean Perinat Soc Int Soc Perinat Obstet* 1–8
23. DFB - Öffnungsschritte für den Amateurfußball, verfügbar: [https://assets.dfb.de/uploads/000/236/248/original\\_Oeffnungsschritte.pdf?1616506836](https://assets.dfb.de/uploads/000/236/248/original_Oeffnungsschritte.pdf?1616506836)
24. DFB - Zurück auf den Platz, Muster Hygienekonzept, Leitfaden für Trainings- und

Spielbetrieb im Amateurfußball (2021), verfügbar:

[https://assets.dfb.de/uploads/000/235/800/original\\_ZurueckaufdenPlatz\\_11-03.pdf?1615478247](https://assets.dfb.de/uploads/000/235/800/original_ZurueckaufdenPlatz_11-03.pdf?1615478247)

25. DFB - Ergebnisse der Umfrage "Wie geht es dem Amateurfußball?" (2021), verfügbar:

[https://assets.dfb.de/uploads/000/235/608/original\\_Gesamt-](https://assets.dfb.de/uploads/000/235/608/original_Gesamt-)

[Auswertung\\_Umfrage\\_zum\\_Amateurfu%C3%9Fball.pdf?1615195241](https://assets.dfb.de/uploads/000/235/608/original_Gesamt-Auswertung_Umfrage_zum_Amateurfu%C3%9Fball.pdf?1615195241)

26. Dinnes J, Deeks JJ, Adriano A, Berhane S, Davenport C, Dittrich S, Emperador D, Takwoingi Y, Cunningham J, Beese S, Dretzke J, Ruffano LF di, Harris IM, Price MJ, Taylor-Phillips S, Hooft L, Leeflang MM, Spijker R, Bruel AV den, Group CC-19 DTA (2020) Rapid, point-of-care antigen and molecular-based tests for diagnosis of SARS-CoV-2 infection. *Cochrane Database Syst Rev*

27. Drezner JA, Drezner SM, Magner KN, Ayala JT (2021) COVID-19 Surveillance in Youth Soccer During Small Group Training: A Safe Return to Sports Activity. *Sports Health* 13:15–17

28. Edwards T, Kay GA, Aljayyousi G, Owen SI, Harland AR, Pierce NS, Calder JDF, Fletcher TE, Adams ER (2022) SARS-CoV-2 viability on sports equipment is limited, and dependent on material composition. *Sci Rep* 12:1416

29. Egger F, Faude O, Schreiber S, Gärtner BC, Meyer T (2021) Does playing football (soccer) lead to SARS-CoV-2 transmission? - A case study of 3 matches with 18 infected football players -. *Sci Med Footb* 0:1–6

30. Else H (2021) COVID and mass sport events: early studies yield limited insights. *Nature*

31. Emery JC, Russell TW, Liu Y, Hellewell J, Pearson CA, CMMID COVID-19 Working Group, Knight GM, Eggo RM, Kucharski AJ, Funk S, Flasche S, Houben RM (2020) The contribution of asymptomatic SARS-CoV-2 infections to transmission on the Diamond Princess cruise ship. *eLife* 9:e58699

32. Faude O, Müller S, Schreiber S, Müller J, Nebiker L, Beaudouin F, Meyer T, Egger F (2022) A video-based analysis of situations bearing the risk of respiratory disease transmission during football matches. *Sci Rep* 12:3034

33. Gärtner BC, Meyer T (2014) Vaccination in Elite Athletes. *Sports Med* 44:1361–1376

34. Gesundheit B für Das offizielle Dashboard zur Impfkampagne der Bundesrepublik Deutschland. verfügbar: <https://impfdashboard.de/>

35. Gonçalves B, Mendes R, Folgado H, Figueiredo P, Travassos B, Barros H, Campos-Fernandes A, Beckert P, Brito J (2020) Can Tracking Data Help in Assessing Interpersonal Contact Exposure in Team Sports during the COVID-19 Pandemic? *Sensors* 20:6163

36. Grosset-Janin A, Nicolas X, Saraux A (2012) Sport and infectious risk: a systematic review of

the literature over 20 years. *Med Mal Infect* 42:533–544

37. Hamner L (2020) High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice — Skagit County, Washington, March 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 69:
38. Hartmann A, Lange J, Rotheudt H, Kriegel M (2020) Emission rate and particle size of bioaerosols during breathing, speaking and coughing.
39. Harvey AP, Fuhrmeister ER, Cantrell M, Pitol AK, Swarthout JM, Powers JE, Nadimpalli ML, Julian TR, Pickering AJ (2020) Longitudinal monitoring of SARS-CoV-2 RNA on high-touch surfaces in a community setting. *MedRxiv Prepr Serv Health Sci*
40. He X, Lau EHY, Wu P, Deng X, Wang J, Hao X, Lau YC, Wong JY, Guan Y, Tan X, Mo X, Chen Y, Liao B, Chen W, Hu F, Zhang Q, Zhong M, Wu Y, Zhao L, Zhang F, Cowling BJ, Li F, Leung GM (2020) Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nat Med* 26:672–675
41. Hikmet F, Méar L, Edvinsson Å, Micke P, Uhlén M, Lindskog C (2020) The protein expression profile of ACE2 in human tissues. *Mol Syst Biol* 16:e9610
42. Jiang X, Luo M, Zou Z, Wang X, Chen C, Qiu J (2020) Asymptomatic SARS-CoV-2 infected case with viral detection positive in stool but negative in nasopharyngeal samples lasts for 42 days. *J Med Virol* 92:1807–1809
43. Johansson MA, Quandelacy TM, Kada S, Prasad PV, Steele M, Brooks JT, Slayton RB, Biggerstaff M, Butler JC (2021) SARS-CoV-2 Transmission From People Without COVID-19 Symptoms. *JAMA Netw Open* 4:e2035057–e2035057
44. Jones B, Phillips G, Kemp S, Payne B, Hart B, Cross M, Stokes KA (2021) SARS-CoV-2 transmission during rugby league matches: do players become infected after participating with SARS-CoV-2 positive players? *Br J Sports Med*
45. Jones TC, Biele G, Mühlemann B, Veith T, Schneider J, Beheim-Schwarzbach J, Bleicker T, Tesch J, Schmidt ML, Sander LE, Kurth F, Menzel P, Schwarzer R, Zuchowski M, Hofmann J, Krumbholz A, Stein A, Edelmann A, Corman VM, Drosten C (2021) Estimating infectiousness throughout SARS-CoV-2 infection course. *Science* 373:eabi5273
46. Kidd M, Richter A, Best A, Cumley N, Mirza J, Percival B, Mayhew M, Megram O, Ashford F, White T, Moles-Garcia E, Crawford L, Bosworth A, Atabani SF, Plant T, McNally A (2021) S-Variant SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.7 Is Associated With Significantly Higher Viral Load in Samples Tested by TaqPath Polymerase Chain Reaction. *J Infect Dis* 223:1666–1670
47. King JA, Whitten TA, Bakal JA, McAlister FA (2021) Symptoms associated with a positive result for a swab for SARS-CoV-2 infection among children in Alberta. *CMAJ Can Med Assoc J J*

Assoc Medecale Can 193:E1–E9

48. Kluge S, Janssens U, Welte T, Weber-Carstens S, Schälte G, Salzberger B, Gastmeier P, Langer F, Wepler M, Westhoff M, Pfeifer M, Hoffmann F, Böttiger BW, Marx G, Karagiannidis C (2020) Empfehlungen zur intensivmedizinischen Therapie von Patienten mit COVID-19 – 3. Version. *Anaesthesist* 69:653–664
49. Knudsen NS, Thomasen MMD, Andersen TB (2020) Spread of virus during soccer matches. medRxiv 2020.04.26.20080614
50. Konzept der „Task Force Sportmedizin / Sonderspielbetrieb“ | DFL Deutsche Fußball Liga. verfügbar: <https://www.dfl.de/de/coronavirus/task-force-konzept/>
51. Kwok YLA, Gralton J, McLaws M-L (2015) Face touching: A frequent habit that has implications for hand hygiene. *Am J Infect Control* 43:112–114
52. Lai C-C, Shih T-P, Ko W-C, Tang H-J, Hsueh P-R (2020) Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents* 55:105924
53. Leclerc QJ, Fuller NM, Knight LE, CMMID COVID-19 Working Group, Funk S, Knight GM (2020) What settings have been linked to SARS-CoV-2 transmission clusters? *Wellcome Open Res* 5:83
54. Lely AT, Hamming I, van Goor H, Navis GJ (2004) Renal ACE2 expression in human kidney disease. *J Pathol* 204:587–593
55. Li D, Jin M, Bao P, Zhao W, Zhang S (2020) Clinical Characteristics and Results of Semen Tests Among Men With Coronavirus Disease 2019. *JAMA Netw Open* 3:e208292–e208292
56. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, Ren R, Leung KSM, Lau EHY, Wong JY, Xing X, Xiang N, Wu Y, Li C, Chen Q, Li D, Liu T, Zhao J, Liu M, Tu W, Chen C, Jin L, Yang R, Wang Q, Zhou S, Wang R, Liu H, Luo Y, Liu Y, Shao G, Li H, Tao Z, Yang Y, Deng Z, Liu B, Ma Z, Zhang Y, Shi G, Lam TTY, Wu JT, Gao GF, Cowling BJ, Yang B, Leung GM, Feng Z (2020) Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *N Engl J Med* 382:1199–1207
57. Li Q, Zheng X-S, Shen X-R, Si H-R, Wang X, Wang Q, Li B, Zhang W, Zhu Y, Jiang R-D, Zhao K, Wang H, Shi Z-L, Zhang H-L, Du R-H, Zhou P (2020) Prolonged shedding of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in patients with COVID-19. *Emerg Microbes Infect* 9:2571–2577
58. Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK, Sun L, Duan Y, Cai J, Westerdahl D, Liu X, Xu K, Ho K, Kan H, Fu Q, Lan K (2020) Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* 582:557–560

59. Liu Y, Li T, Deng Y, Liu S, Zhang D, Li H, Wang X, Jia L, Han J, Bei Z, Li L, Li J (2021) Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta. *J Hosp Infect* 107:105–107
60. Machhi J, Herskovitz J, Senan AM, Dutta D, Nath B, Oleynikov MD, Blomberg WR, Meigs DD, Hasan M, Patel M, Kline P, Chang RC-C, Chang L, Gendelman HE, Kevadiya BD (2020) The Natural History, Pathobiology, and Clinical Manifestations of SARS-CoV-2 Infections. *J Neuroimmune Pharmacol* 1–28
61. McAloon C, Collins Á, Hunt K, Barber A, Byrne AW, Butler F, Casey M, Griffin J, Lane E, McEvoy D, Wall P, Green M, O’Grady L, More SJ (2020) Incubation period of COVID-19: a rapid systematic review and meta-analysis of observational research. *BMJ Open* 10:e039652
62. Menni C, Valdes AM, Freidin MB, Sudre CH, Nguyen LH, Drew DA, Ganesh S, Varsavsky T, Cardoso MJ, El-Sayed Moustafa JS, Visconti A, Hysi P, Bowyer RCE, Mangino M, Falchi M, Wolf J, Ourselin S, Chan AT, Steves CJ, Spector TD (2020) Real-time tracking of self-reported symptoms to predict potential COVID-19. *Nat Med* 26:1037–1040
63. Meyer T, Mack D, Donde K, Harzer O, Krutsch W, Rössler A, Kimpel J, Laer D von, Gärtner BC (2020) Successful return to professional men’s football (soccer) competition after the COVID-19 shutdown: a cohort study in the German Bundesliga. *Br J Sports Med*
64. Meyerowitz EA, Richterman A, Gandhi RT, Sax PE (2021) Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors. *Ann Intern Med* 174:
65. Morita K, Hashimoto K, Ogata M, Tsutsumi H, Tanabe S, Hori S (2019) Measurement of Face-touching Frequency in a Simulated Train. 111:02027
66. Nguyen NN, Hoang VT, Dao TL, Dudouet P, Eldin C, Gautret P (2022) Clinical patterns of somatic symptoms in patients suffering from post-acute long COVID: a systematic review. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 41:515–545
67. Nishiura H, Oshitani H, Kobayashi T, Saito T, Sunagawa T, Matsui T, Wakita T, Team MC-19 R, Suzuki M (2020) Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). medRxiv 2020.02.28.20029272
68. Oran DP, Topol EJ (2020) Prevalence of Asymptomatic SARS-CoV-2 Infection : A Narrative Review. *Ann Intern Med* 173:362–367
69. Pedersen L, Lindberg J, Lind RR, Rasmussen H (2021) Reopening elite sport during the COVID-19 pandemic: Experiences from a controlled return to elite football in Denmark. *Scand J Med Sci Sports* 31:936–939
70. Puelles VG, Lütgehetmann M, Lindenmeyer MT, Sperhake JP, Wong MN, Allweiss L, Chilla S, Heinemann A, Wanner N, Liu S, Braun F, Lu S, Pfefferle S, Schröder AS, Edler C, Gross O, Glatzel

M, Wichmann D, Wiech T, Kluge S, Pueschel K, Aepfelbacher M, Huber TB (2020) Multiorgan and Renal Tropism of SARS-CoV-2. *N Engl J Med* 383:590–592

71. Qian H, Miao T, Liu L, Zheng X, Luo D, Li Y (2021) Indoor transmission of SARS-CoV-2. *Indoor Air* 31:639–645

72. Randers MB, Knudsen NS, Thomasen MMD, Panduro J, Larsen MN, Mohr M, Milanovic Z, Krustup P, Andersen TB (2021) Danger zone assessment in small-sided recreational football: Providing data for consideration in relation to COVID-19 transmission. *BMJ Open Sport Exerc Med* 7:e000911

73. Rauchschalbe, P (2020) Antikörperstatus gegen Masern, Mumps und Varizellen bei Leistungssportlern: Welche Immunitätslücken finden sich bei Fußballbundesligaspielern? verfügbar: [https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/bitstream/20.500.11880/31385/1/Dissertation\\_UdS\\_Rauchschalbe.pdf](https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/bitstream/20.500.11880/31385/1/Dissertation_UdS_Rauchschalbe.pdf)

74. Ravens-Sieberer U, Erhart M, Devine J, Gilbert M, Reiss F, Barkmann C, Siegel NA, Simon AM, Hurrelmann K, Schlack R, Hölling H, Wieler LH, Kaman A (2022) Child and Adolescent Mental Health During the COVID-19 Pandemic: Results of the Three-Wave Longitudinal COPSY Study. *J Adolesc Health Off Publ Soc Adolesc Med* 71:570–578

75. Repp KK, Keene WE (2012) A Point-Source Norovirus Outbreak Caused by Exposure to Fomites. *J Infect Dis* 205:1639–1641

76. Reuken PA, Scherag A, Stallmach A (2021) Postcoronavirus Disease Chronic Fatigue Is Frequent and Not Only Restricted to Hospitalized Patients. *Crit Care Med* 49:e1052

77. Rhoads D, Peaper DR, She RC, Nolte FS, Wojewoda CM, Anderson NW, Pritt BS (2021) College of American Pathologists (CAP) Microbiology Committee Perspective: Caution Must Be Used in Interpreting the Cycle Threshold (Ct) Value. *Clin Infect Dis* 72:E685–E686

78. Richard JL, Masserey-Spicher V, Santibanez S, Mankertz A (2008) Measles outbreak in Switzerland - an update relevant for the European football championship (EURO 2008). *Eurosurveillance* 13:1–2

79. RKI - Coronavirus SARS-CoV-2 - Kontaktpersonen-Nachverfolgung (KP-N) bei SARS-CoV-2-Infektionen, Stand 14.1.2022, außer Kraft seit 2.5.2022. verfügbar: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Kontaktperson/Management.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Kontaktperson/Management.html)

80. RKI - Coronavirus SARS-CoV-2 - Kriterien für die anlassbezogene Sequenzierung im Rahmen der Coronavirus-Surveillanceverordnung (CorSurV). verfügbar: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/DESH/CorSurV-Kriterien.html?nn=13490888](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/DESH/CorSurV-Kriterien.html?nn=13490888)

81. RKI - Coronavirus SARS-CoV-2 - Nowcasting und R-Schätzung: Schätzung der aktuellen

Entwicklung der SARS-CoV-2-Epidemie in Deutschland. verfügbar:  
[https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Projekte\\_RKI/Nowcasting.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Nowcasting.html)

82. RKI - Informationsmaterial zum Impfen - Impfkalender in 21 Sprachen. verfügbar:  
[https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Materialien/Impfkalender\\_mehrsprachig\\_Uebersicht\\_tab.html;jsessionid=A5930AE77EACB9EA5249A1093FBD53C8.internet071](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Materialien/Impfkalender_mehrsprachig_Uebersicht_tab.html;jsessionid=A5930AE77EACB9EA5249A1093FBD53C8.internet071)

83. Rothan HA, Byrareddy SN (2020) The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *J Autoimmun* 109:102433

84. Schade W, Reimer V, Seipenbusch M, Willer U, Hübner EG (2021) Viral aerosol transmission of SARS-CoV-2 from simulated human emission in a concert hall. *Int J Infect Dis* 107:12–14

85. Scheiblaue H, Filomena A, Nitsche A, Puyskens A, Corman VM, Drosten C, Zwirgmaier K, Lange C, Emmerich P, Müller M, Knauer O, Nübling CM (2021) Comparative sensitivity evaluation for 122 CE-marked rapid diagnostic tests for SARS-CoV-2 antigen, Germany, September 2020 to April 2021. *Eurosurveillance* 26:2100441

86. Schilling J, Tolksdorf K, Marquis A, Faber M, Pfoch T, Buda S, Haas W, Schuler E, Altmann D, Grote U, Diercke M (2021) Die verschiedenen Phasen der COVID-19-Pandemie in Deutschland: Eine deskriptive Analyse von Januar 2020 bis Februar 2021. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 64:1093–1106

87. Schlack R, Neuperdt L, Hölling H, De Bock F, Ravens-Sieberer U, Mauz E, Wachtler B, Beyer A-K (2020) Auswirkungen des COVID-19-Pandemiegeschehens und behördlicher Infektionsschutzmaßnahmen auf die psychische Gesundheit von Kindern und Jugendlichen.

88. Schreiber S, Faude O, Gärtner B, Meyer T, Egger F (2021) Risk of SARS-CoV-2 transmission from on-field player contacts in amateur, youth and professional football (soccer). *Br J Sports Med*

89. Schumacher YO, Tabben M, Hassoun K, Marwani AA, Hussain IA, Coyle P, Abassi AK, Ballan HT, Kuwari AJA, Chamari K, Bahr R (2020) Resuming professional football during the Covid-19 pandemic in a country with high infection rates A prospective cohort study. *medRxiv* 2020.11.17.20233023

90. Stadnytskyi V, Bax CE, Bax A, Anfinrud P (2020) The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc Natl Acad Sci* 117:11875–11877

91. Stonoga ETS, de Almeida Lanzoni L, Rebutini PZ, Permegiani de Oliveira AL, Chiste JA, Fugaça CA, Prá DMM, Percicote AP, Rossoni A, Nogueira MB, de Noronha L, Raboni SM (2021) Intrauterine Transmission of SARS-CoV-2. *Emerg Infect Dis* 27:638–641

92. Tavazzi G, Pellegrini C, Maurelli M, Belliato M, Sciutti F, Bottazzi A, Sepe PA, Resasco T,

- Camporotondo R, Bruno R, Baldanti F, Paolucci S, Pelenghi S, Iotti GA, Mojoli F, Arbustini E (2020) Myocardial localization of coronavirus in COVID-19 cardiogenic shock. *Eur J Heart Fail* 22:911–915
93. Tindale LC, Stockdale JE, Coombe M, Garlock ES, Lau WYV, Saraswat M, Zhang L, Chen D, Wallinga J, Colijn C (2020) Evidence for transmission of COVID-19 prior to symptom onset. *eLife* 9:
94. Tu Y-P, Iqbal J, O’Leary T Sensitivity of ID NOW and RT–PCR for detection of SARS-CoV-2 in an ambulatory population. *eLife* 10:e65726
95. Turbeville SD, Cowan LD, Greenfield RA (2017) Infectious Disease Outbreaks in Competitive Sports: A Review of the Literature. *Am J Sports Med*
96. Ueki H, Furusawa Y, Iwatsuki-Horimoto K, Imai M, Kabata H, Nishimura H, Kawaoka Y (2020) Effectiveness of Face Masks in Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *mSphere* 5:e00637-20
97. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI, Lloyd-Smith JO, de Wit E, Munster VJ (2020) Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 382:1564–1567
98. van Kampen JJA, van de Vijver DAMC, Fraaij PLA, Haagmans BL, Lamers MM, Okba N, van den Akker JPC, Endeman H, Gommers DAMPJ, Cornelissen JJ, Hoek RAS, van der Eerden MM, Hesselink DA, Metselaar HJ, Verbon A, de Steenwinkel JEM, Aron GI, van Gorp ECM, van Boheemen S, Voermans JC, Boucher CAB, Molenkamp R, Koopmans MPG, Geurtsvankessel C, van der Eijk AA (2021) Duration and key determinants of infectious virus shedding in hospitalized patients with coronavirus disease-2019 (COVID-19). *Nat Commun* 12:267
99. van Renesse van Duivenbode V, Goes F (2020): Social distancing in football, KNVB, verfügbar: [https://www.mayouthsoccer.org/assets/61/6/knvb\\_research\\_social\\_distancing.pdf](https://www.mayouthsoccer.org/assets/61/6/knvb_research_social_distancing.pdf)
100. Varga Z, Flammer AJ, Steiger P, Haberecker M, Andermatt R, Zinkernagel AS, Mehra MR, Schuepbach RA, Ruschitzka F, Moch H (2020) Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19. *Lancet Lond Engl* 395:1417–1418
101. Vivanti AJ, Vauloup-Fellous C, Prevot S, Zupan V, Suffee C, Do Cao J, Benachi A, De Luca D (2020) Transplacental transmission of SARS-CoV-2 infection. *Nat Commun* 11:3572
102. Vöhringer H, Sinnott M, Amato R et al. (2020) Lineage-specific growth of SARS-CoV-2 B.1.1.7 during the English national lockdown - SARS-CoV-2 coronavirus / nCoV-2019 Genomic Epidemiology. verfügbar: <https://virological.org/t/lineage-specific-growth-of-sars-cov-2-b-1-1-7-during-the-english-national-lockdown/575>
103. Volz E, Mishra S, Chand M, Barrett JC, Johnson R, Geidelberg L, Hinsley WR, Laydon DJ, Dabrera G, O’Toole Á, Amato R, Ragonnet-Cronin M, Harrison I, Jackson B, Ariani CV, Boyd O,

- Loman NJ, McCrone JT, Gonçalves S, Jorgensen D, Myers R, Hill V, Jackson DK, Gaythorpe K, Groves N, Sillitoe J, Kwiatkowski DP, Flaxman S, Ratmann O, Bhatt S, Hopkins S, Gandy A, Rambaut A, Ferguson NM (2021) Transmission of SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.7 in England: Insights from linking epidemiological and genetic data. medRxiv 2020.12.30.20249034
104. Wang CC, Prather KA, Sznitman J, Jimenez JL, Lakdawala SS, Tufekci Z, Marr LC Airborne transmission of respiratory viruses. *Science* 373:eabd9149
105. Wang W, Xu Y, Gao R, Lu R, Han K, Wu G, Tan W (2020) Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens. *JAMA* 323:1843–1844
106. Wei WE (2020) Presymptomatic Transmission of SARS-CoV-2 — Singapore, January 23–March 16, 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 69:
107. Wen CP, Wai JPM, Tsai MK, Yang YC, Cheng TYD, Lee M-C, Chan HT, Tsao CK, Tsai SP, Wu X (2011) Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *The Lancet* 378:1244–1253
108. WHO - Advice for the public on COVID-19 – World Health Organization. verfügbar: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
109. WHO - Laboratory testing for 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in suspected human cases. verfügbar: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/10665-331501>
110. WHO - Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. verfügbar: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>
111. WHO - Tracking SARS-CoV-2 variants. verfügbar: <https://www.who.int/emergencies/emergency-health-kits/trauma-emergency-surgery-kit-who-tesk-2019/tracking-SARS-CoV-2-variants>
112. WHO - who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf. verfügbar: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>
113. WHO - 2019-nCoV outbreak: first cases confirmed in Europe. verfügbar: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/01/2019-ncov-outbreak-first-cases-confirmed-in-europe>
114. Wölfel R, Corman VM, Guggemos W, Seilmaier M, Zange S, Müller MA, Niemeyer D, Jones TC, Vollmar P, Rothe C, Hoelscher M, Bleicker T, Brünink S, Schneider J, Ehmann R, Zwirgmaier K, Drosten C, Wendtner C (2020) Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. *Nature* 581:465–469

115. Wu Z, McGoogan JM (2020) Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 Cases From the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA* 323:1239–1242
116. Xiao F, Sun J, Xu Y, Li F, Huang X, Li H, Zhao J, Huang J, Zhao J (2020) Infectious SARS-CoV-2 in Feces of Patient with Severe COVID-19. *Emerg Infect Dis* 26:1920–1922
117. Zahradník J, Marciano S, Shemesh M, Zoler E, Harari D, Chiaravalli J, Meyer B, Rudich Y, Li C, Marton I, Dym O, Elad N, Lewis MG, Andersen H, Gagne M, Seder RA, Douek DC, Schreiber G (2021) SARS-CoV-2 variant prediction and antiviral drug design are enabled by RBD in vitro evolution. *Nat Microbiol* 6:1188–1198
118. Zhang X, Ji Z, Yue Y, Liu H, Wang J (2021) Infection Risk Assessment of COVID-19 through Aerosol Transmission: a Case Study of South China Seafood Market. *Environ Sci Technol* 55:4123–4133
119. Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, Xiang J, Wang Y, Song B, Gu X, Guan L, Wei Y, Li H, Wu X, Xu J, Tu S, Zhang Y, Chen H, Cao B (2020) Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet* 395:1054–1062
120. Zhou Y, Zeng Y, Tong Y, Chen C (2020) Ophthalmologic evidence against the interpersonal transmission of 2019 novel coronavirus through conjunctiva.
121. Ziegler CGK, Allon SJ, Nyquist SK, Mbanjo IM, Miao VN, et al. (2020) SARS-CoV-2 Receptor ACE2 Is an Interferon-Stimulated Gene in Human Airway Epithelial Cells and Is Detected in Specific Cell Subsets across Tissues. *Cell* 181:1016-1035.e19

# 7 Anhang

## 7.1 Studieninformation

### Fachbereich Klinische Medizin der Universität des Saarlandes

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Leiter: Prof. Dr. med. T. Meyer

Campus B8 2, 66123 Saarbrücken

Tel: 0681-302 70400, Fax: 0681-302 4296, [sportmed@mx.uni-saarland.de](mailto:sportmed@mx.uni-saarland.de)



### Studieninformation

#### „Risiko einer Infektion mit SARS-CoV-2 während eines Fußballspiels oder - training“

Sehr geehrte Vereinsmitglieder, lieber Spielerinnen und Spieler

In Kooperation mit dem DFB untersucht die Universität des Saarlandes deutschlandweit alle an die Fußball-Landesverbände gemeldeten Fälle einer Infektion mit SARS-CoV-2 in den Vereinen.

Wir analysieren alle Fälle bei denen **infizierte Spieler** entweder an einem Spiel oder Training „versehentlich“ (keine Beschwerden, verspätetes Testergebnis) teilgenommen haben.

Wie hoch in einem solchen Fall das Risiko für eine Infektionsgefahr auf dem Spielfeld für alle exponierten Spieler/Schiedsrichter ist, kann aktuell nicht beurteilt werden, da wissenschaftliche Beobachtungsdaten fehlen.

Um eine wissenschaftliche Grundlage zur Einschätzung des Infektionsrisikos auf dem Fußballplatz zu schaffen, sind Informationen aus den Vereinen sehr wertvoll. Daher bitten wir um Teilnahme an unserem Online-Fragebogen, der wesentliche Punkte zur Analyse des Infektionsgeschehens abdeckt. Unseren Fragebogen finden Sie auf unserer Homepage

[www.sportmedizin-saarbruecken.de](http://www.sportmedizin-saarbruecken.de)

-> **Forschung** -> **Aktuelle Projekte** -> **Register SARS-CoV-2 im Fußball** -> **Fragebogen**

Möglicherweise ergeben sich durch die Antworten zusätzliche Informationen, welche zur Bewertung vorbeugender Hygienemaßnahmen insbesondere im Amateurfußball herangezogen werden können.

Wir benötigen keine Namen der infizierten Spieler, sondern lediglich Informationen zu den Umständen. Der Meldende aus dem Verein kann auch stellvertretend für den betroffenen Spieler den Fragebogen beantworten, sofern eine Einwilligung vorliegt (s. Datenschutzinformation im Online-Fragebogen).

Durch Ihre Teilnahme entstehen keinerlei Kosten. Bei Rückfragen könnt Sie sich direkt an mich wenden.

Mit freundlichen Grüßen,

**Dr. med. Florian Egger** (Verantwortlicher Leiter der Studie)

Facharzt für Innere Medizin, Sportmedizin

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Universität des Saarlandes

Campus Geb. B 8.2

66123 Saarbrücken

Telefon: +49 (0) 681 302 70412

[florian.egger@uni-saarland.de](mailto:florian.egger@uni-saarland.de)

## 7.2 Datenschutzinformation und Einwilligungserklärung

### Fachbereich Klinische Medizin der Universität des Saarlandes

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Leiter: Prof. Dr. med. T. Meyer

Campus B8 2, 66123 Saarbrücken

Tel: 0681-302 70400, Fax: 0681-302 4296, sportmed@mx.uni-saarland.de



### Datenschutzinformation und Einwilligungserklärung

#### Studie „Risiko einer Infektion mit SARS-CoV-2 während eines Fußballspiels oder -training“

Sehr geehrte Spielerinnen und Spieler,  
sehr geehrte Vereinsmitglieder,

im Fußball führen Infektionen mit dem Corona-Virus SARS-CoV-2 häufig zu sehr unterschiedlichen Bewertungen der Gesundheitsämter. Aktuell ist es noch unklar in welchem Ausmaß sich die Ansteckungsgefahr auf dem Fußballplatz (Spiel oder Training) von Aktivitäten neben dem Platz (Umkleiden, Vereinsheim, Fahrten, privates Umfeld) unterscheidet.

Daten von Fußballvereinen existieren bisher nicht. Dies hat sich nun die Universität des Saarlandes in Kooperation mit den Landesverbänden und dem DFB zur Aufgabe gemacht. Es sollen alle Fälle positiv getesteter Spieler mit Spiel- oder Trainingsteilnahme anonym erfasst und analysiert werden. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es anhand des unten aufgeführten Fragebogens die Infektionsgefahr im Fußball besser bewerten zu können.

#### Datenschutzhinweis:

Wir bitten Sie diese Microsoft Forms Umfrage auszufüllen, welche direkt an die Universität des Saarlandes übermittelt wird. Die Meldung muss nicht direkt durch die bzw. den betroffenen Spielerin bzw. Spieler selbst erfolgen, sondern kann auch über Dritte (z.B. Vereinsmitglieder) erfolgen.

In einigen Fällen werden möglicherweise Rückfragen von Seiten der Ärzte/Wissenschaftler der Universität des Saarlandes entstehen, sodass eine Kontaktaufnahme per E-Mail oder eher selten per Telefonat hilfreich wäre. In diesem Fall erfolgt eine Kontaktaufnahme nur, sofern die Spielerin oder der Spieler darin einwilligt.

Die Einwilligung ist freiwillig und es entstehen keinerlei Nachteile, sofern Sie nicht einwilligen. Ferner können Sie jederzeit Ihre Einwilligung ohne Angabe von Gründen widerrufen.

Sofern Sie die untenstehende Einwilligung als Vereinsmitglied für die Spielerin/bzw. den Spieler abgeben, übermitteln Sie diese als Bote. Anderenfalls erklären Sie mit Absenden dieses Office Forms, dass Sie über eine entsprechende gewillkürte oder gesetzliche Vollmacht verfügen.

Die Erkenntnisse der Befragungen werden ausgewertet und ANONYMISIERTE als Forschungsergebnis veröffentlicht.

#### Kontakt:

Dr. med. Florian Egger  
Wissenschaftlicher Leiter des Projekts  
Universität des Saarlandes  
Institut für Sport- und Präventivmedizin  
Campus, Geb. B8 2, 66123 Saarbrücken  
florian.egger@uni-saarland.de

**Fachbereich Klinische Medizin der Universität des Saarlandes**

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Leiter: Prof. Dr. med. T. Meyer

Campus B8 2, 66123 Saarbrücken

Tel: 0681-302 70400, Fax: 0681-302 4296, sportmed@mx.uni-saarland.de


**Einwilligungserklärung**
**Studie „Risiko einer Infektion mit SARS-CoV-2 während eines Fußballspiels oder -training“**

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Ich wurde ausführlich über Fragestellung und Ablauf der Studie informiert. Ich hatte Gelegenheit Fragen jeglicher Art zu stellen und habe ggf. entsprechende Auskünfte erhalten. Ich habe die aufklärenden Informationen verstanden. Meine Teilnahme ist freiwillig und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne sonstige Nachteile für mich abgebrochen werden.

Ich bin damit einverstanden, dass im Rahmen der Studie meine persönlichen Daten verwendet werden. **Dies betrifft insbesondere die Testergebnisse meines Nasen-Rachenabstrichs auf das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2.** Alle Daten der oben genannten Studie werden ausschließlich im Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes gespeichert und für keine anderen Zwecke als die der Studie Verwendung finden. Dies betrifft insbesondere die Testergebnisse meines Nasen-Rachenabstrichs auf das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2. Die Einhaltung sämtlicher Datenschutzbestimmungen wird gewährleistet. Insbesondere ist eine Weitergabe von personenbezogenen Daten an Dritte, die nicht am Projekt beteiligt sind, ausgeschlossen. Externe Analysen werden an pseudonymisierten Daten durchgeführt, d.h. die Identität des Spielers ist unkenntlich. Die Speicherung der persönlichen Daten kann von Ihnen/Euch jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen und die bis dahin gespeicherten Daten können gelöscht werden.

Eine Veröffentlichung der Studienresultate in wissenschaftlichen Fachzeitschriften ist vorgesehen, wobei die Erkennung einzelner Probandendaten unmöglich sein wird.

Ich/wir willige(n) einer Teilnahme (freiwillig) ein und dass im Rahmen des Forschungsvorhabens meine/unsere Daten, bzw. die meines/unsere Kindes, pseudonymisiert aufgezeichnet, gespeichert und weiterverwendet werden.

Sie können darüber hinaus jederzeit ohne Angabe von Gründen von Ihrem Widerspruchsrecht Gebrauch machen und die erteilte Einwilligungserklärung mit Wirkung für die Zukunft abändern oder gänzlich widerrufen. Sie können den Widerruf entweder postalisch, per E-Mail oder per Fax an die oben genannte Adresse übermitteln.

 \_\_\_\_\_  
 Datum

 \_\_\_\_\_  
 Unterschrift Spieler

 \_\_\_\_\_  
 Unterschrift Studienleiter (Dr. med Florian Egger)

 \_\_\_\_\_  
 Unterschrift Erziehungsberechtigte(r)

## 7.3 Fragebogen (Meldung eines SARS-CoV-2-Falls im Verein)

### Meldung eines SARS-CoV-2-Falls im Verein

Datenschutzhinweis:

Die Verarbeitung der Daten erfolgt durch die Universität des Saarlandes zum Zwecke der Forschung im Profi- und Amateurfußball. Wir bitten Sie die Daten des Betroffenen nur dann anzugeben, wenn dieser ausdrücklich einwilligt. Sämtliche Daten werden unverzüglich gelöscht, sobald Sie zu dem obigen Zweck von uns nicht mehr benötigt werden.

Kontakt:

Dr. Florian Egger

[florian.egger@uni-saarland.de](mailto:florian.egger@uni-saarland.de)

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Universität des Saarlandes

Sebastian Schreiber

Medizinischer Doktorand

[s8sechr@stud.uni-saarland.de](mailto:s8sechr@stud.uni-saarland.de)

Institut für Sport- und Präventivmedizin

Universität des Saarlandes

1. Ihr Landesverband
2. Vereinsname
3. Mannschaft
  - Senioren (männlich)
  - Seniorinnen
  - Jugend (männlich)
  - Jugend (weiblich)
4. Name des/der Meldenden
5. Telefonnummer des/der Meldenden
6. E-Mail-Adresse des/der Meldenden oder E-Mail-Adresse des Vereins
7. Die meldende Person gibt hiermit das Einverständnis, dass, im Bedarfsfall, die Universität des Saarlandes für die wissenschaftliche Aufarbeitung zur Übertragung von SARS-CoV-2 im Fußball, Kontakt zu Vereinsmitgliedern aufnehmen darf
  - ja
  - nein
8. Handelt es sich bei der Meldung um einen bestätigten Fall oder einen Verdachtsfall?
  - Bestätigter Fall (bereits getestet)
  - Verdachtsfall (wird getestet)

- Verdachtsfall (wird nicht getestet)

9. Wann erfolgte der Nasen-Rachen-Abstrich?

10. Hatte der/die Betroffene SARS-CoV-2 typische Symptome (Fieber, Husten, Halsschmerzen, Kopfweh, Gliederschmerzen, Müdigkeit, Geruchsverlust, Geschmacksverlust, Schüttelfrost, Schnupfen, sonstige)?

- ja
- nein

11. Welche Symptome traten auf?

12. Wann traten die Symptome auf?

13. Hatte der/die Betroffene direkten Kontakt (Spiel, Training, Freizeit) zu anderen Personen im unmittelbaren Umfeld der Mannschaft?

- ja
- nein

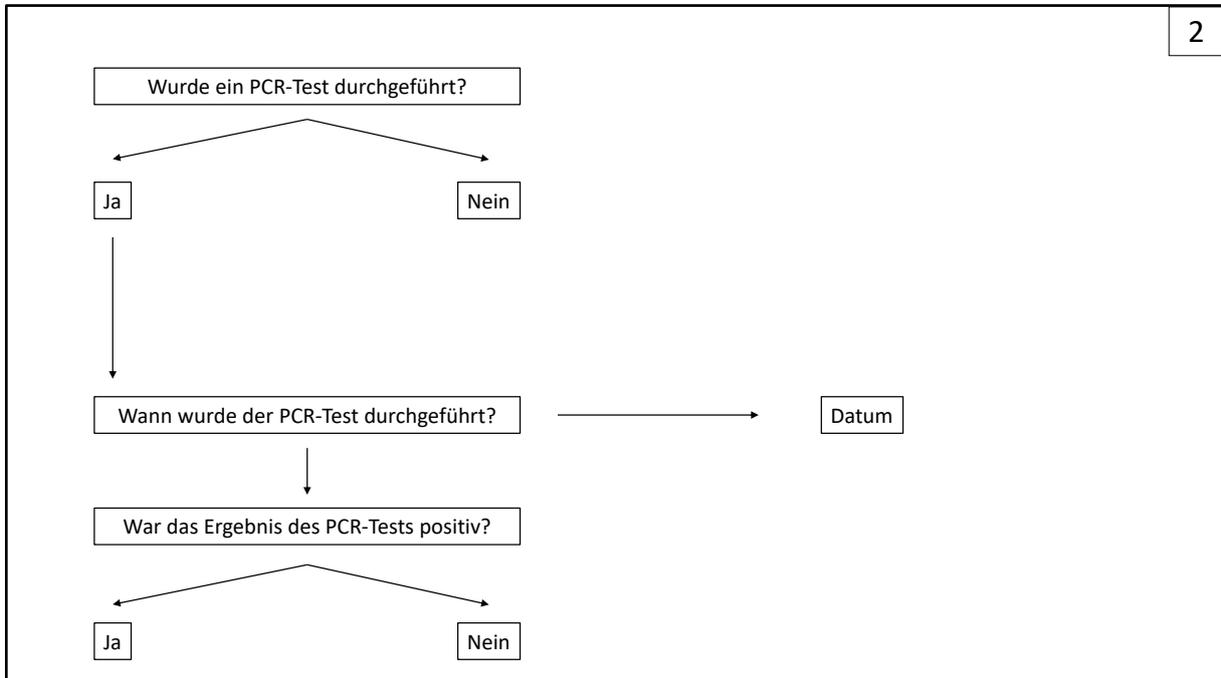
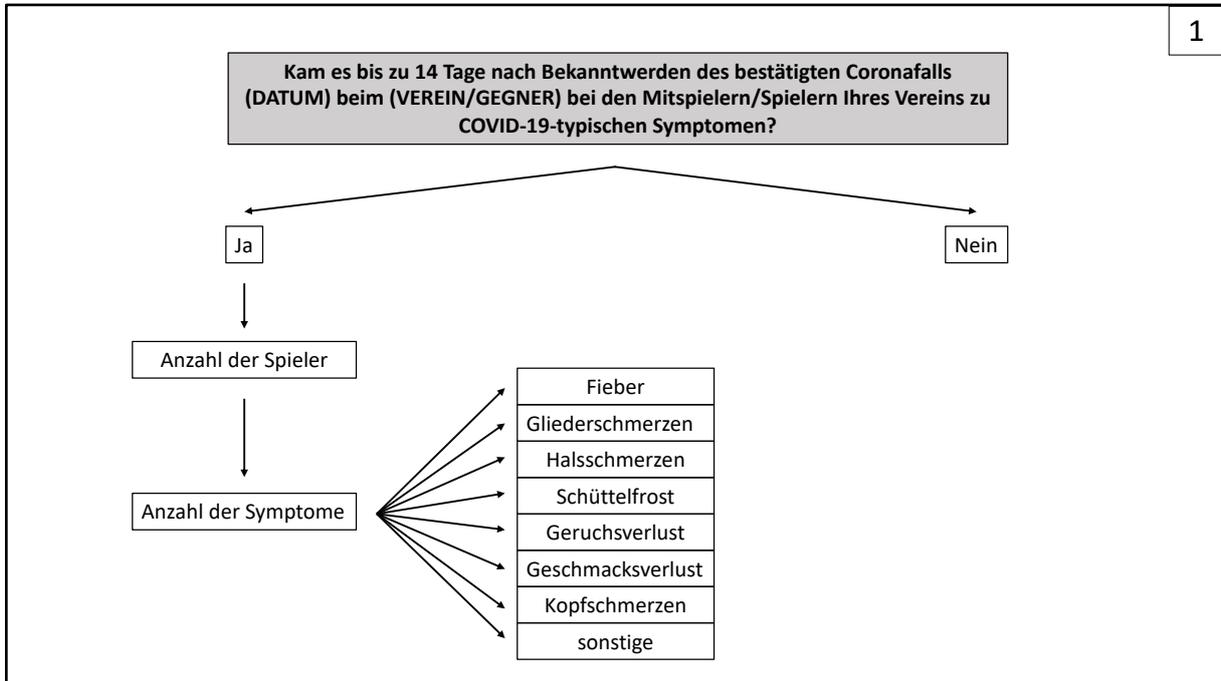
14. Wie, wann und wo erfolgte dieser direkte Kontakt?

15. Dauerte dieser Kontakt länger als 15 Minuten?

- ja
- nein

16. Gab es eine gegnerische Mannschaft?
  - ja
  - nein
17. Vereinsname der gegnerischen Mannschaft
18. Welches Gesundheitsamt ist zuständig?
19. Welche Maßnahmen hat das Gesundheitsamt getroffen?
20. weitere Anmerkungen

## 7.4 Fragebogen Symptom-Monitoring als Flussdiagramm



# Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn **Univ.- Prof. Dr. med. Tim Meyer** für die Bereitstellung des sehr interessanten Dissertationsthemas, seine konstruktive Kritik sowie für das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Gleichermaßen möchte ich meinem Betreuer Herrn **Dr. med. Florian Egger** für die fantastische Betreuung, seinen unermüdlichen Einsatz und seine herausragende Unterstützung danken.

Ich bedanke mich bei Herrn **PD Dr. phil. Oliver Faude** und bei Frau **Prof. Dr. med. Barbara Gärtner** für Ihre akribische Arbeit und die konstruktive Kritik im Rahmen der Publikation vorliegender Studie.

Ein großer Dank gebührt dem **Deutschen Fußball-Bund (DFB)**, der die vorliegende Studie gefördert hat. Weiterhin möchte ich mich bei den **Fußballlandesverbänden** bedanken, ohne deren freundliche Unterstützung diese Studie nicht hätte realisiert werden können. Zudem danke ich **allen teilnehmenden Fußballspielerinnen und Fußballspielern** für Ihre Kooperation. Ich bedanke mich bei der **Union des Associations Européennes de football (UEFA)** für die Bereitstellung des Videomaterials.

Ich bedanke mich bei dem Begabtenförderungswerk **Cusanuswerk e.V.** für das Stipendium und die finanzielle Unterstützung, welche mir die Möglichkeit bot, mich auf die Dissertation zu fokussieren.

Ein besonderer Dank gebührt meinen **besten Freunden**.

„Reich sind nur die, die wahre Freunde haben.“ – Thomas Fuller (1608-1661)

Zum Schluss möchte ich meinen geliebten Eltern **Dagmar und Thomas** und meiner geliebten Partnerin **Arianna** für Ihre fortwährende Geduld danken und dafür, dass sie mich bei der Entstehung dieser Arbeit stets unterstützt haben.

## Publikationen

Egger, Florian; Faude, Oliver; **Schreiber, Sebastian**; u. a. (2021): Does playing football (soccer) lead to SARS-CoV-2 transmission? - A case study of 3 matches with 18 infected football players -, Science and Medicine in Football, Routledge, Jg. 0, Nr. 0, S. 1–6, doi: 10.1080/24733938.2021.1895442.

**Schreiber, Sebastian**; Faude, Oliver; Gärtner, Barbara; u.a. (2021): Risk of SARS-CoV-2 transmission from on-field player contacts in amateur, youth and professional football (soccer) British Journal of Sports Medicine Published Online First: 18 October 2021. doi: 10.1136/bjsports-2021-104441.

Faude, Oliver; Müller, Simon; **Schreiber, Sebastian**; u. a. (2022): A video-based analysis of situations bearing the risk of respiratory disease transmission during football matches, Sci Rep 2022 Feb 22;12(1):3034. doi: 10.1038/s41598-022-07121-7.

**Schreiber, Sebastian**; Meyer, Tim (2022): Prävention von Erkrankungen der inneren Organe im Fußball (Prevention of diseases of the internal organs in football), April 2022 Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatologydoi: 10.1016/j.orthtr.2022.03.006

# Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

