

Hygienisch sicher reisen?

– Der öffentliche Verkehr in der Pandemie –

Entsprechend aktueller wissenschaftlicher Studien ist das Risiko, sich mit SARS-CoV-2 im öffentlichen Verkehr zu infizieren, nicht höher als im häuslichen Umfeld. Besonders in Verkehrsmitteln kann durch eine ausreichende Frischluftzufuhr, Umluftfilterung, Einhaltung von Abständen und dem richtigen Tragen von geeigneten Schutzmasken das Ansteckungsrisiko effektiv reduziert werden.



1. Einleitung

Für die Aufrechterhaltung der Mobilität der Bevölkerung ist der öffentliche Personenverkehr (ÖPV) in Deutschland von wesentlicher Bedeutung. Vor der aktuellen Corona-Pandemie nutzten täglich mehr als 30 Millionen Fahrgäste den öffentlichen Nah- und Fernverkehr beruflich und privat. Durch die Pandemie und damit einhergehende Schutzmaßnahmen sowie das gestiegene Problembewusstsein in der Bevölkerung wurde im letzten Jahr (2020) ein Fahrgastrückgang von bis zu 80% und Einnahmeverluste von rund 3,5 Mrd. Euro im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) verzeichnet [VDV21]. Insbesondere im Schienenpersonennah- und -fernverkehr wurden gemäß statistischem Bundesamt Fahrgastrückgänge zwischen 31% und 46% im Vergleich zum Vorjahr (2019) ermittelt, wobei das Fahrangebot nahezu gleich blieb [STA21]. Zeitgleich stieg die Nutzung des Individualverkehrs deutlich an. Einflussfaktoren hierfür waren u.a. die fehlenden Kenntnisse zu wissenschaftlich belegbaren und wirksamen Schutzmaßnahmen aber auch die allgemeine Verunsicherung der Fahrgäste hinsichtlich der ergriffenen Hygienekonzepte und deren Funktionalität in den verschiedenen Verkehrsmitteln [VDV21].

Mittlerweile liegen die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zu Schutzmaßnahmen vor. Im vorliegenden Artikel wird u.a. auf die im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) erstellte Studie zur Risikoeinschätzung der Ansteckungsgefahr mit SARS-

CoV-2 [DZSF21] eingegangen. Um das verlorene Vertrauen der ÖPV-Nutzer wiederherzustellen, sind unabhängig von der Entwicklung der Inzidenzzahlen auch weiterhin effiziente Hygienekonzepte und angepasste Schutzmaßnahmen beizubehalten. Die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen sollte auch in Zukunft durch unabhängige wissenschaftliche Studien kontinuierlich belegt und validiert werden.

2. Ausbreitung von und Ansteckung mit SARS-CoV-2 im öffentlichen Personenverkehr

2.1. Studienübersicht

Bei SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2) handelt es sich um ein neues Beta-Coronavirus, welches als Auslöser für COVID-19 identifiziert wurde. Allgemein sind Coronaviren membranumhüllte RNA-Viren, die unter Säugetieren und Vögeln häufig vorkommen. Das Krankheitsspektrum reicht dabei von milden Erkältungskrankheiten bis hin zu schweren Pneumonien mit Todesfolge [BHAD20, DZSF21]. Kenntnisse zu möglichen Ausbreitungspfaden und Ansteckungsrisiken sind daher essentiell, um zielgerichtete Eindämmungs- und Maßnahmenkonzepte zu entwickeln. Insbesondere für Orte mit hoher Personendichte und nicht vermeidbaren, direkten Kontakten, wie z.B. im öffentlichen Personenverkehr (ÖPV), sind spezifische wissenschaftliche Studien für eine fundierte Gefahreinstufung und damit einen sicheren und hygienischen Betrieb unumgänglich.



M. Eng Zaki Kebdani

Wissenschaftlicher Referent für zivile Sicherheit, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden
kebdaniz@dzsf.bund.de



Prof. Dr.-Ing. Martin Lehnert

Forschungsbereichsleiter Sicherheit, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden
lehnertm@dzsf.bund.de



Dr. rer. nat. Sabrina Michael

Wissenschaftliche Referentin für stoffliche Emissionen, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden
michaels@dzsf.bund.de

Ein direkter Vergleich der Anzahl wissenschaftlicher Studien zum Hygienestatus bzw. dem Infektionsgeschehen in öffentlichen Verkehrsmitteln vor und im Verlauf der Pandemie zeigt ab 2020 einen sprunghaften Anstieg. Insbesondere Studien aus asiatischen Ländern wie China mit ihren detaillierten sowie umfangreichen Bewegungs- und Personendaten unterstützen das Verständnis von Übertragungswegen als auch des Infektionsgeschehens [DZSF21]. Auch für Deutschland liegen inzwischen Studien zu verschiedenen Berei-

chen des Verkehrssektors vor. Die Tabelle 1 zeigt eine exemplarische Auswahl dieser Studien. Auch wenn sich seit Anfang der Pandemie die Anzahl der verkehrsspezifischen Studien deutlich erhöht hat, bestehen auch heute noch einige Wissensdefizite.

Die dargestellten Studien haben sehr unterschiedliche Zielrichtungen. Während die Untersuchung im Auftrag der Berliner Verkehrsbetriebe die Ausbreitung von Aerosolen in verschiedenen Berliner Transportmitteln quantitativ untersucht und die LUQAS-Studie der DB Systemtechnik die Ausbreitungswahrscheinlichkeit von Aerosolen und Tröpfchen im Fahrgastraum thematisiert, gehen andere Studien, wie die Panel-Studie des DLR, der Frage nach, wie sich die Mobilität durch den Pandemieeinfluss verändert. Auch Studien zum Infektionsgeschehen auf empirischer Grundlage und im Vergleich des Verkehrssektors zur allgemeinen Infektionsdynamik, wie die Studien der DB AG und des VDV, fördern den Erkenntnisgewinn.

Insbesondere für den ÖPV und den Schienenverkehr liefert die BMVI-geförderte Studie des DZSF [DZSF21] einen wissenschaftlichen Beleg zum Hygienestatus und relativen Ansteckungsrisiko mit SARS-CoV-2. Basis der Untersuchungen waren eine umfangreiche internationale Literatur- und Datenrecherche, orientierende Messungen in verschiedenen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen sowie die Entwicklung von spezifischen Modellierungsszenarien und Simulationen. Die Studie wurde durch ein Konsortium unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik mit den Partnern Fraunhofer-Institut für Holzforschung, LMU Klinikum, Technische Universität München, Alstom S.A. (bis Januar 2021 Bombardier Transportation GmbH) und Institut für Bahntechnik GmbH durchgeführt.

2.2. Übertragungswege von SARS-CoV-2 im öffentlichen Personenverkehr

Basis einer jeden Gefährdungs- bzw. Risikoeinschätzung sind Kenntnisse u.a. zu möglichen Expositions- und Transmissionspfaden sowie potentiellen Einflussfaktoren. Hierzu wurde in der Studie des DZSF eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Großräumig betrachtet, hat die Mobilität von Personen, also das Reisen allgemein, und die damit verbundene Verbreitung von SARS-CoV-2 durch Infizierte einen deutlichen Einfluss auf die Ausbreitung von

Tabelle 1: Exemplarische Auswahl von Studien zu Corona-Infektion und -Ausbreitung im Verkehrsbereich

Auftraggeber	Thema	Quelle
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)	Gute Luft in Bus und Bahn	[BVG21]
Deutsche Bahn AG	Longitudinaluntersuchung über Corona-Infektionen und Corona-Immunitäten bei unterschiedlichen Mitarbeitergruppen der Deutschen Bahn Fernverkehr AG	[CRO20]
Deutsche Bahn Systemtechnik GmbH	Luftqualität in Schienenfahrzeugen (LUQAS)	[DLR20]
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	Panel-Studie „Mobilität in Krisenzeiten“: Wie verändert Corona unsere Mobilität?	[DLR21]
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung	Risikoeinschätzung zur Ansteckungsgefahr mit COVID-19 im Schienenpersonen- sowie im Straßenpersonennah- und -fernverkehr	[DZSF21]
Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)	Studie zur Untersuchung des Corona-Infektionsrisikos im öffentlichen Personen-Nahverkehr	[CRO21]

COVID-19, wie sowohl nationale als auch internationale Untersuchungen belegen [DWCX20, JLYX20, LASZ20, DZSF21]. Vor allem Studien aus dem asiatischen Raum, welche die Auswirkungen der Einstellung des ÖPV oder die Auswertung von Millionen Bewegungs- sowie Reiseprofilen thematisieren, leiten einen Zusammenhang zwischen Reisen bzw. Reisetopps und der geographischen Verbreitung des Virus ab [JLYX20, ZZRL20, ZXHC20].

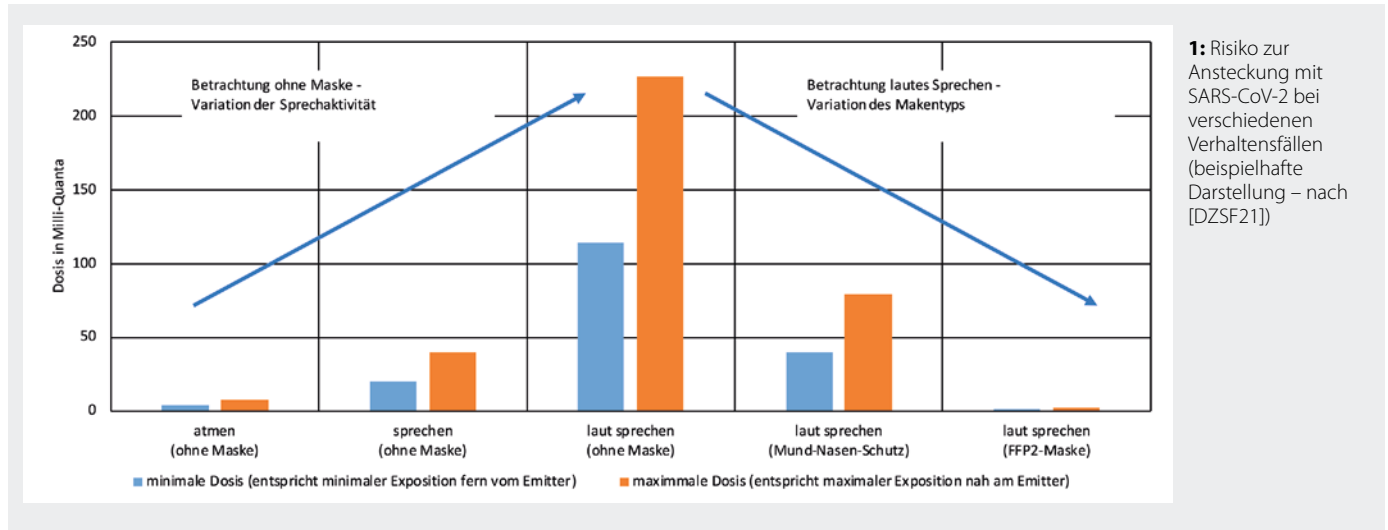
Allerdings sind diese Studien nicht geeignet, um die Frage nach dem individuellen Erkrankungs- oder Infektionsrisiko durch Reisen mit öffentlichen Verkehrsmitteln (Bus oder Bahn) zu beantworten. Studien, die das reisebedingte Risiko mit der Exposition im häuslichen Umfeld vergleichen, zeigen, dass das Infektionsrisiko im häuslichen Bereich um eine Größenordnung höher liegt als im ÖPV [HZQH21, DZSF21]. Auch die Auswertung von übermittelten COVID-19-Ausbrüchen nach dem Infektionsumfeld durch das Robert-Koch-Institut bestätigte diese Beobachtung [BHAD20]. Dort konnten etwa 8000 Ausbrüche über 55 000 Erkrankungsfälle zugeordnet werden. Dabei entfielen auf die Bahn keine und den Bus nur 13 Ausbrüche, denen keine bzw. 66 Fälle zugeordnet werden konnten. Auch wenn direkte Ausbrüche und die Kontaktrückverfolgung für den ÖPV oft nur schwer nachzuvollziehen sind, und somit wahrscheinlich unterschätzt werden, leistet die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln nur einen geringen Beitrag zum Gesamtinfektionsgeschehen.

Trotz des eher geringen Ansteckungsrisikos im ÖPV sind Kenntnisse zu potentiellen Übertragungswegen in Fahrzeugen sowie Stationen für die Entwicklung angepasster Hygienekonzepte notwendig

[DaZh20]. Hierbei werden im Wesentlichen drei mögliche Übertragungswege (direkt und/oder indirekt) für den ÖPV diskutiert [PWS20]:

- Übertragung durch den direkten Kontakt mit dem Virus, wie z. B. mit einem infizierten Fahrgast oder einer kontaminierten Oberfläche,
- Übertragung durch virenbelastete Tröpfchen unterschiedlicher Größe, welche durch einen infizierten Fahrgast emittiert werden sowie
- Übertragung kleinster virenbelasteter luftgetragener Tröpfchen und Partikel (Aerosole), welche größere Distanzen z.B. innerhalb von Fahrzeugen und Stationen überwinden können.

Als Hauptübertragungsweg wird die respiratorische Aufnahme von mit SARS-CoV-2-Viren beladenen Partikeln und Tröpfchen angesehen. Freigesetzt werden diese Aerosole beim Husten, Sprechen, Niesen sowie auch beim einfachen Atmen der infizierten Fahrgäste. Neben der Aerosolquelle (infizierter Fahrgast) spielen allerdings auch weitere Einflussfaktoren, wie die Verweildauer (Fahrzeit) im Fahrzeug, angewandte Schutz- und Hygienemaßnahmen sowie die technischen Gegebenheiten im Fahrzeug (Lüftung, Filterung, Raumaufteilung) eine wesentliche Rolle. Bereits einfache Verhaltensänderungen, wie beispielsweise die Vermeidung von lautem Sprechen in Kombination mit dem Tragen einer FFP-2-Maske, können zu einer deutlichen Reduzierung des Ausbreitungs- bzw. des Ansteckungsrisikos führen. Diese Zusammenhänge wurden auch in der DZSF-Studie untersucht. Beispielhaft ist daraus in Bild 1 für verschiedene Verhaltensfälle für eine 2,5-stündige Fahrt in einem ICE mit



1: Risiko zur Ansteckung mit SARS-CoV-2 bei verschiedenen Verhaltensfällen (beispielhafte Darstellung – nach [DZSF21])

Heizung bzw. Klimatisierung und einer häufigen Belegung der Plätze das Ansteckungsrisiko gezeigt. Die Einheit Quanta ist dabei eine fiktive Beschreibung für die emittierte Virus-Menge durch einen mit SARS-CoV-2 infizierten Fahrgast. Per Definition hat ein Fahrgast bei einem Aufenthalt in einem SARS-CoV-2-belasteten Raum nach der Aufnahme von einem Quanta ein Risiko von 63%, sich anzustecken [BMS20, BSM20].

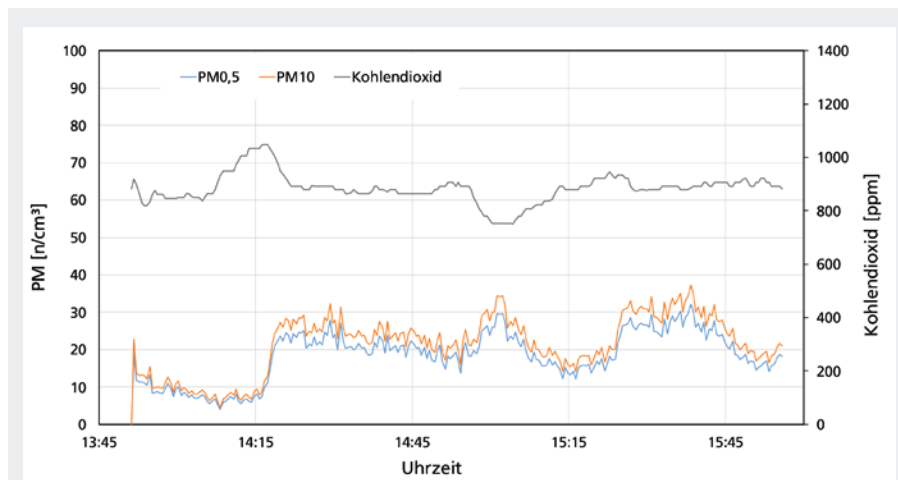
2.3. Erfassung von Innenraumluftqualität und Hygienestatus

Um im nächsten Untersuchungsschritt eine Grundlage für eine Modellbildung und Validierung zum Ausbreitungsverhalten von Aerosolen zu legen, wurden in der DZSF-Untersuchung orientierende Messungen in

Fahrzeugen und Stationen des ÖPV durchgeführt. Insbesondere in Innenräumen ist durch ein beschränktes Luftvolumen die Wahrscheinlichkeit einer Anreicherung von infektiösen Partikeln allgemein höher als im Freien. Die Größe der freigesetzten Partikel variiert mit der körperlichen Aktivität und Tätigkeit des Emittenten und hat Einfluss auf deren Virenbeladung sowie das Ausbreitungs- bzw. Depositionsverhalten. Weitere Einflussgrößen auf die Innenraumluftqualität sind die Raumbelegung (Anzahl Fahrgäste), Luftwechselrate, Luftströmung sowie die Art der Lüftung (Fenster oder Lüftungstechnik). Hinsichtlich des Ansteckungsrisikos sind aber auch die Verweildauer und die Fahrgastfluktuation zu berücksichtigende Kriterien.

Die messtechnischen Untersuchungen dieser Parameter in verschiedenen Einrich-

tungen oder Fahrzeugen des ÖPV sind zeit- sowie kostenintensiv und besitzen aufgrund der unterschiedlichen technischen Voraussetzungen und Variationen eine hohe Komplexität. Studien dazu liegen nur vereinzelt, bzw. nur für einzelne Fahrzeuge vor. Die im Rahmen der DZSF-Studie vorgenommenen, orientierenden Messungen decken nun ein breites Spektrum des ÖPV ab [DZSF21]. Bei den Luftkeimsammlungen sowie Wischprobenahmen von Oberflächen in verschiedenen Fahrzeugtypen und Bahnhöfen konnte dabei unter dem Pandemiebetrieb zum Probenahmezeitpunkt (Dez. 2020–Feb. 2021) kein SARS-CoV-2 nachgewiesen werden. Sowohl in der Innenraumluft von Fahrzeugen und Stationen als auch in den Wischproben konnten nur die als Kontrollorganismus fungierenden, ubiquitär vorkommenden Humanen Adenoviren (HAdV) in geringer Menge nachgewiesen werden. Die Ergebnisse bestätigen zum einen, dass die eingesetzten Hygienemaßnahmen, wie häufigere Reinigungsintervalle der Betreiber und Verkehrsunternehmen, zu einer reduzierten Virenlast auf Oberflächen in Fahrzeugen und stationären Einrichtungen führen. Zum anderen wurde gezeigt, dass die eingeführte FFP-2-Maskenpflicht deutlich zur Verringerung von virushaltigen Aerosolpartikeln in der Luft beigetragen hat. Ergänzende Untersuchungen zu Klimaparametern (relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur) sowie Kohlendioxid- und Aerosolpartikel-Konzentration zeigten ebenfalls keine Auffälligkeiten und lagen in den untersuchten Schienenfahrzeugen z.B. für Kohlendioxid im hygienisch unauffälligen Bereich (siehe Bild 2). Zum Zeitpunkt der



2: Verlauf der Partikelanzahl- (PM0,5; PM10) und der Kohlendioxid-Konzentrationen bei einer Fahrt im ICE von Erfurt Hbf nach München Hbf [DZSF21]

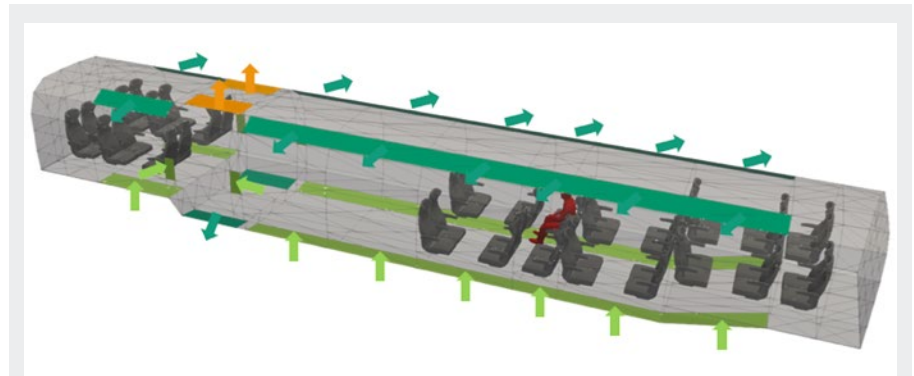
Untersuchungen, die in die Zeit des Lock-downs und der reduzierten Fahrgastzahlen fallen, konnte unter Einhaltung der Schutz- und Hygienemaßnahmen im ÖPV an den Probenahmestandorten kein SARS-CoV-2-Infektionsrisiko nachgewiesen werden.

2.4. Ausbreitungsmodellierung und -simulationen von SARS-CoV-2

In der DZSF-Untersuchung wurden als weiterer Schwerpunkt Modelle zur Virenausbreitung durch Aerosole als Hauptübertragungsweg und zum relativen Ansteckungsrisiko für verschiedene, häufig betriebene Fahrzeugtypen und Stationen entwickelt (siehe Bild 3). Die Modellierung erfolgt dabei als zonales Modell zur Beschreibung der Raumluftrömung, was bei hinnehmbaren Einschränkungen des Detailgrades deutliche Rechenzeitvorteile in der Simulation gegenüber herkömmlichen, numerischen Strömungsmechanikmodellen mit sich bringt. Um realitätsnahe Simulationsergebnisse zu gewinnen, wurden die Modelle und Simulationen mit den oben genannten, orientierenden Lufthygienemessungen validiert.

Durch die Ausbreitungsmodellierung und -simulationen sollten Einflussfaktoren und die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minimierung des relativen Risikos verglichen sowie das relative Ansteckungsrisiko abgeschätzt werden.

Das konkrete medizinische Ansteckungsrisiko lässt sich durch die Simulationen jedoch nicht ermitteln, weil es von



3: Exemplarisches, zonales Modell eines Regionalzugwagens (Talent) für die Untersuchungen im Winter (heizen). Dabei kennzeichnen hellgrüne Pfeile die Zuluft, dunkelgrüne Pfeile die Fortluft, orange Pfeile die Umluftabsaugung und die rot markierte Person den Emitter

Darstellung: Fraunhofer IBP, 2021

vielen, teilweise sehr individuellen Randbedingungen abhängt, z. B. vom jeweiligen Immunsystemstatus (Suszeptibilität) oder von Vorerkrankungen der Person. Das aus den Simulationen abgeleitete relative Ansteckungsrisiko beschreibt, dass ein SARS-CoV-2-infizierter Fahrgast im Zug potentiell infektiöse Viren in der Raumluftrömung ausbreitet und sich diese dort verteilen. Darauf aufbauend wird die jeweils größte und kleinste Exposition mit SARS-CoV-2 während einer Zugfahrt für das untersuchte Verkehrsmittel dargestellt.

In den Untersuchungen wurden Szenarien gebildet, die das Verhalten der Fahrgäste sowie die Situationen vor und die Schutzmaßnahmen während der Pandemie widerspiegeln, z. B. dass ein infektiöser

Fahrgast ohne Maske, mit medizinischer Maske oder FFP-2-Maske nur atmend, sprechend oder laut sprechend ungefähr mittig im Zug Emissionen freisetzt. Weiterhin wird der Einfluss von Fahrgastbelegung, Raumaufteilung, Umluftfilterung, Frischluftmenge, Heiz- und Kühlfall bei unterschiedlicher Luftführung berücksichtigt.

Aus den Simulationen der Raumluftrömungen sind für alle untersuchten Fahrzeuge und Szenarien im Nahbereich der infizierten Person höhere Belastungen mit Erregern festzustellen, als weiter entfernt im selben Wagen bzw. Fahrzeug (siehe Bild 4). Die Höhe der Exposition variiert jedoch und hängt, neben der Fahrt- bzw. Aufenthaltsdauer im Fahrzeug bzw. in der Station, auch vom konkreten Sze-

Der Speedsensor, der mehr kann Kriechende Bewegungen + Stillstand detektieren

- Mehr Sicherheit: Messbereich von 0 Hz bis 20 kHz
- Extrem robust: Edelstahlgehäuse hält Schock und Vibrationen stand
- Reibungsloser Betrieb: Hohe EMV- und Störsicherheit
- Brandschutzanforderungen gelöst: Erfüllt die Norm DIN EN 45545-2



Gewindesensor GEL 2460

<https://stock.adobe.com/de/>
www.lenord.de, info@lenord.de

**LENORD
+BAUER**
Finding solutions.
Founding trust.

Maskentyp	Reduktion der Emissions-Abgabe	Reduktion der Emissions-Aufnahme
keine	0%	0%
Mund-Nasen-Schutz bzw. Haushaltsmaske	50%	30%
FFP2-Maske	90%	90%

Tabelle 2: Emissions-Reduktionswirkung durch unterschiedliche Maskentypen

nario und damit von Parametern wie dem Verhalten des Emittenten und dem der anderen Fahrgäste sowie auch von technischen Maßnahmen und dem Fahrprofil ab [DZSF21].

Wenig verwunderlich ist, dass sich zur Reduktion bei Abgabe und Aufnahme der Emissionen medizinische und FFP2-Masken eignen (siehe Bild 1). Bei medizinischen Masken reduziert sich die Abgabe der Emissionen um 50% und die Aufnahme um 30%. Bei FFP2-Masken reduziert sich die Abgabe und Aufnahme um jeweils 90% (siehe Tabelle 2) [DTGK13].

Die ausgewerteten Simulationsergebnisse zeigen, dass technische Maßnahmen, wie z.B. eine Umluftfilterung bzw. reine Frischluftzufuhr, insbesondere für die Fahrgäste im Nahbereich eines infektiösen Fahrgastes ihre Wirkung entfalten. Nahe am Emittent hängt die Wirksamkeit derartiger Maßnahmen vor allem vom Verhältnis der sich mit der Maßnahme einstellenden Luftmenge im Vergleich zur Frischluftmenge ohne die Maßnahme ab. So zeigt beispielsweise eine Umluftfilterung beim ICE (Frischlufanteil 20%) eine Reduktion der Virenkonzentration in der Nähe des Emittenters um 44%. Dass ein reiner Frischluftbetrieb jedoch auch problematisch sein kann, zeigt ein Szenario im Regionalzug bei dem es infolge des geringeren Gesamt-Zuluftvolumenstroms sogar zu einer lokalen Erhöhung der Virenkonzentration um den Emittent kommt.

Auch das Kommunikationsverhalten hat einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Belastung durch Emissionen, denn aus lautem Sprechen resultiert eine um den Faktor 5 höhere Emission als beim (normalen) Sprechen bzw. Atmen [AWCB19]. Das

Einschränken der Kommunikation, insbesondere wenn nur ein Mund-Nasen-Schutz statt einer FFP2-Maske getragen wird, ist eine weitere wirksame Maßnahme zur Senkung der Erregerbelastung der Raumluft.

3. Handlungsempfehlungen

Trotz eines enormen Wissensgewinns innerhalb der letzten Monate treten weiterhin neue Fragestellungen oder Situationen (z.B. neue Virusmutationen) auf, die eine ständige Anpassung von Risikobewertungen und Schutzmaßnahmen erfordern. Insbesondere für den ÖPV ist die Identifizierung besonders sensibler Bereiche und Betriebsabläufe, die Optimierung von betrieblichen, technischen und organisatorischen Abläufen sowie die Entwicklung von zielführenden und wirksamen Schutzmaßnahmen nötig. Denn nur durch einen hygienisch sicheren Betrieb sind die Rückgewinnung des Vertrauens der Fahrgäste und somit steigende Fahrgastzahlen zu realisieren. Entsprechend aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse lassen sich folgende technische sowie betrieblich-organisatorische Handlungsempfehlungen ableiten:

- Einrichten eines Frischluftbetriebs mit hohem Luftdurchsatz und damit gutes Lüften der Fahrzeuginnenräume,
- Beachten der Raumluftströmung im Unterschied zwischen Sommer- und Winterbetrieb (kühlen vs. heizen),
- Filterung oder Inaktivierung der Viren in der Umluft,
- Einhalten der AHA-Formel (Abstand halten, Hygiene beachten, Alltag mit

Maske), insbesondere Tragen einer FFP2-Maske,

- Anwendung betrieblicher Hygienekonzepte zur Steigerung der Reinigungszyklen,
- Desinfektion der Oberflächen in den Fahrzeugen und den stationären Einrichtungen sowie
- Kommunikation zur regelmäßigen Sensibilisierung zur Einhaltung der AHA-Formel und zur Beachtung vom Sprechverhalten in geschlossenen Räumen.

4. Zusammenfassung

Die umfangreiche BMVI-geförderte Studie des DZSF zur Risikoeinschätzung der Ansteckungsgefahr mit SARS-CoV-2 im öffentlichen Personenverkehr auf Schiene und Straße stellt begründete Handlungsempfehlungen für ein Pandemiegeschehen zur Verfügung. Hiermit kann die Eindämmung des Virus als auch das Ausmaß des wirtschaftlichen Schadens durch geeignete Schutzmaßnahmen erfolgen. Die bisher im Verkehrssektor umgesetzten Maßnahmen während der Pandemie haben sich als zielführend bestätigt. Das Tragen von Schutzmasken wird jedoch mit Abflauen der Pandemie bei den ÖPV-Kunden an Akzeptanz verlieren. Daher sollten technische und betrieblich-organisatorische Lösungen verstärkt werden, welche die Lufthygiene in Fahrzeugen und Bahnhöfen verbessern. ●

Literatur

[AWCB19] Asadi, S.; Wexler, A.S.; Cappa, C.D.; Barreda, S. et al., (2019): Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. In: Scientific Reports 9, Nr. 2348. – DOI: 10.1038/s41598-019-38808-z

[BVG21] Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), (2021): Gute Luft in Bus und Bahn. Pressemitteilung vom 26.03.2021, online: <https://unternehmen.bvg.de/pressemitteilung/gute-luft-in-bus-und-bahn/> (Zugriff am: 19.07.2021)

[BHAD20] Buda, S.; an der Heiden, M.; Altmann, D.; Diercke, M. et al., (2020): Infektionsumfeld von erfassten COVID-19-Ausbrüchen in Deutschland. In: Epidemiologisches Bulletin 38, S. 3–12. – DOI: 10.25646/7093

		Zonen (x)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zonen (y)	1	15	15	16	17	19	22	20	18	15	13	14	13	13	13	13
	2	16	16	17	19	23	32	63	20	16	14	15	14	13	13	13
	3	16	16	17	19	21	26	25	20	17	15	15	14	14	14	14
	4	16	15	16	18	19	21	19	18	16	14	14	14	13	13	14
	5	15	14	14	15	17	19	16	15	14	15	14	13	13	13	14

4: SARS-CoV-2-Konzentrationsverteilung in Milli-Quanta je m³ für dieselben Bedingungen wie in Bild 1 beim Sprechen, ohne Maske [DZSF21]

[BMS20] Buonanno, G.; Morawska, L.; Stabile, L., (2020): Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. In: *Environment International* 145, Nr.106112. – DOI:10.1016/j.envint.2020.106112

[BSM20] Buonanno, G.; Stabile, L.; Morawska, L., (2020): Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. In: *Environment International* 141, Nr. 105794. – DOI:10.1016/j.envint.2020.105794

[CRO20] Charité Research Organisation, (2020): Longitudinaluntersuchung über Corona-Infektionen und Corona-Immunitäten bei unterschiedlichen Mitarbeitergruppen der Deutschen Bahn Fernverkehr AG. Kurzfassung des Epidemiologischen Studienberichts, online: <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/5581114/836fa701a5b73aa513bc3fdb30419efd/Kurzfassung-Studie-Charite-data.pdf> (Zugriff am: 19.07.2021)

[CRO21] Charité Research Organisation, (2021): Studie zur Untersuchung des Corona-Infektionsrisikos im öffentlichen Personen-Nahverkehr. Epidemiologischer Studienbericht, online: https://www.besserweiter.de/fileadmin/Studie/Charite___Research_Organisation_Studienbericht.pdf (Zugriff am: 19.07.2021)

[DaZh20] Dai, H.; Zhao, B., (2020): Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces. In: *Building Simulation* 13 (6), S. 1321–1327. – DOI: 10.1007/s12273-020-0703-5

[DTGK13] Davies, A.; Thompson, K.-A.; Giri, K.; Kafatos, G. et al., (2013): Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? In: *Disaster medicine and public health preparedness* 7 (4), S. 413–418. – DOI: 10.1017/dmp.2013.43

[DLR20] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), (2020): DLR untersucht Verbreitung von Viren in Flugzeugen und Zügen. Webseiteneintrag vom 28.05.2020, online: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/news/dlr-untersucht-verbreitung-von-viren-flugzeugen-und-zuegen> (Zugriff am: 19.07.2021)

[DLR21] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), (2021): Erste Ergebnisse der vierten DLR-Befragung: Wie verändert Corona unsere Mobilität? Webseiteneintrag vom 29.06.2021 online: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/news/news/vierte-dlr-befragung-corona-mobilitaet-erste-ergebnisse> (Zugriff am: 19.07.2021)

[DZSF21] Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) (Hrsg.), (2021): Risikoeinschätzung zur Ansteckungsgefahr mit COVID-19 im Schienenpersonennah- und -fernverkehr. DZSF-Forschungsbericht 12, online: https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Textbausteine/DZSF/Forschungsberichte/Forschungsbericht_2021-12.html?nn=2208196 (Zugriff am: 15.07.2021)

[DWCX20] Du, Z.; Wang, L.; Cauchemez, S.; Xu, X. et al., (2020): Risk for Transportation of Coronavirus Disease from Wuhan to Other Cities in China. In: *Emerging infectious diseases* 26(5), S. 1049–1052. DOI: 10.3201/eid2605.200146.

[HZQH21] Heinrich, J.; Zhao, T.; Quartucci, C.; Herbig, B. et al., (2021): SARS-CoV-2 Infektionen während Reisen mit Bahn und Bus. Ein systematisches Review epidemiologischer Studien: Datenerhebung zur Ansteckungs- und Ausbreitungsgefahr von Mikroorganismen und Viren (SARS-CoV-2) in öffentlichen Verkehrsmitteln. In: *Das Gesundheitswesen* (eingereicht als Publikation in Review)

[JLYX20] Jia, J.S.; Lu, X.; Yuan, Y.; Xu, G. et al., (2020): Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China. In: *Nature* 582(7812), S. 389–394. – DOI: 10.1038/s41586-020-2284-y

[LASZ20] Liu, K.; Ai, S.; Song, S.; Zhu, G. et al., (2020): Population movement, city closure in Wuhan and geographi-

cal expansion of the 2019-nCoV pneumonia infection in China in January 2020. In: *Clinical Infectious Diseases* 71(16), S. 2045–2051. – DOI: 10.1093/cid/ciaa422

[PWS20] Prather, K.A.; Wang, C.C.; Schooley, R.T., (2020): Reducing transmission of SARS-CoV-2. In: *Science* 368(6498), S. 1422–1424. – DOI: 10.1126/science.abc6197

[STA21] Statistisches Bundesamt, (2021): Fahrgastzahl im Linienfernverkehr mit Bahnen und Bussen im Jahr 2020 halbiert. Pressemitteilung vom 08.04.2021, online: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/04/PD21_172_461.html (Zugriff am: 19.07.2021)

[VDV21] Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), (2021): Die ÖPNV-Bilanz des Corona-Jahres 2020.

Pressemitteilung vom 04.02.2021, online: <https://www.vdv.de/presse.aspx?id=458fc281-0ec8-4de5-a676-eccdad74ee0ad&mode=detail> (Zugriff am: 19.07.2021)

[ZZRL20] Zhao, S.; Zhuang, Z.; Ran, J.; Lin, J. et al., (2020): The association between domestic train transportation and novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak in China from 2019 to 2020: A data-driven correlational report. In: *Travel Medicine and Infectious Disease* 33, Nr. 101568. – DOI: 10.1016/j.tmaid.2020.101568

[ZXHC20] Zhu, Y.; Xie, J.; Huang, F.; Cao, L., (2020): The mediating effect of air quality on the association between human mobility and COVID-19 infection in China. In: *Environmental Research* 189, Nr. 109911. – DOI: 10.1016/j.envres.2020.109911

Summary

Hygienic safe travel? – Public transport in the pandemic –

The comprehensive study, funded by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure -BMVI- and conducted by the German Centre for Rail Traffic Research -DZSF-, on the risk assessment of the risk of infection with SARS-CoV-2 in public passenger transport on rail and road, provides well-founded recommendations for action in the event of a pandemic. Herewith, the containment of the virus as well as the extent of the economic damage can be achieved by suitable protective measures. The measures in the transport sector which have been implemented during the pandemic have proven to be effective. Wearing protective masks, however, will lose acceptance among public transport passengers as the pandemic subsides. For this reason, technical and organizational solutions to improve air hygiene in vehicles and stations should be strengthened.



BERLIN

Hier werden die Weichen für die Zukunft gestellt.

Treffen Sie uns auf der TRAKO, Stand E 36
Besuchen Sie die Business Days des
Enterprise Europe Network.

trako2021.b2match.io

