



I Fokus COVID-19

1 Organisation im Pandemiefall – das DIVI-Intensivregister und seine mögliche zentrale Rolle in der Steuerung der SARS-CoV-2 Pandemie in Deutschland

Mario Menk, Christian Karagiannidis und Steffen Weber-Carstens

Die anhaltende Pandemie durch das Coronavirus SARS-CoV-2 hat derzeit in über 180 Ländern mehr als 29 Millionen Infizierte erfasst und bis heute mehr als 920.000 Todesopfer durch die Lungenkrankheit COVID-19 gefordert (1, 2). Erfahrungen aus China, Italien und anderen Ländern haben dabei schon zu Anfang des Jahres 2020 gezeigt, dass COVID-19 auch die Ressourcen modern ausgerüsteter und leistungsfähiger Gesundheitssysteme in kurzer Zeit stark beanspruchen und an den Rand der Erschöpfung der vorhandenen Kapazitäten bringen kann (3, 4). Bislang steht weder eine wirksame Impfung, noch eine erfolgreiche medikamentöse Therapie gegen COVID-19 zur Verfügung, sodass die gesamtgesellschaftlichen Maßnahmen im Wesentlichen auf strenge Quarantäne, soziales Abstandhalten und die Nachverfolgung von Infektionsketten und die Isolation von Erkrankten abzielen.

1.1 Die Rolle der Intensivmedizin in der SARS-CoV-2 Pandemie

Zwar zeigen mehr als 80% der mit SARS-CoV-2 infizierten Menschen einen asymptomatischen oder milden Verlauf, der bezogen auf die Gesundheitsversorgung der Bevölkerung nur eine geringe Mehrbelastung mit sich bringt (5, 6). Die besondere Herausforderung bei der Steuerung der Pandemie sind jedoch diejenigen Patienten, die einen schweren Krankheitsverlauf bis hin zum akuten Lungenversagen (ARDS, *Acute Respiratory Distress Syndrome*) entwickeln, der eine intensivmedizinische Versorgung erforderlich macht. Für COVID-19 hat sich frühzeitig herausgestellt, dass zwischen 0,5 und 5% der Patienten mit einem positiven Virusnachweis im Verlauf der Erkrankung beatmungspflichtig werden (4, 5, 7). Zudem ist die Zeit an der Beatmung nach den bisherigen Erkenntnissen für diese Patienten deutlich länger als bei Patienten mit einem durchschnittlichen ARDS aus anderer Ursache (7). Diese Charakteristika

von COVID-19 beeinflussen die Auslastung der vorhandenen Intensivbetten- und Beatmungskapazitäten erheblich. Vor diesem Hintergrund stellen die intensivmedizinischen Versorgungskapazitäten im Hinblick auf vorhandene Intensivbetten und freie Beatmungsmöglichkeiten die zentralen, aber limitierten Ressourcen in der gegenwärtigen Situation dar, weshalb der Intensivmedizin eine entscheidende Rolle in der Bewältigung der SARS-CoV-2 Pandemie in Deutschland zukommt.

Für die Bundesrepublik ist durch die SARS-CoV-2 Pandemiesituation eine bisher nicht gut vorhersagbare Zahl von COVID-19-Erkrankungen zu erwarten. Dabei sind neben der absoluten Anzahl von Erkrankten vor allem die zeitliche Verteilung von Neuerkrankungen und die Belastung der Intensivstationen mit schwer erkrankten und beatmungspflichtigen Patienten von zentraler Bedeutung für die Sicherstellung einer breiten und hochwertigen medizinischen Versorgung der Bevölkerung (8). Aktuell existiert in Deutschland für SARS-CoV-2 positive Testergebnisse eine Meldepflicht, die beim Robert-Koch-Institut (RKI) zentral erfasst werden. Für die Steuerung der Pandemie und die Organisation von Intensivkapazitäten wurde jedoch die wesentliche Zahl der intensivstationär behandelten und beatmeten Patienten und die Verfügbarkeit von freien Intensivkapazitäten bis zum Beginn dieses Jahres nicht flächendeckend erfasst. Diese Zahl ist jedoch für die Steuerung der Pandemie und des öffentlichen Lebens unerlässlich, damit die Anzahl von intensivpflichtigen Erkrankten zu jedem Zeitpunkt unter den zugleich vorliegenden intensivstationären Versorgungskapazitäten gehalten werden kann. Auf der anderen Seite kann steuernd über die Vorbereitung von medizinischem Personal und die Bereitstellung von technisch-infrastrukturellen Ressourcen Einfluss auf den Verlauf der aktuellen und auch zukünftiger Pandemien genommen werden.

1.2 Bisher verfügbarer Datenzugang

Für eine tagesaktuelle Erfassung der Kapazitäten und Patientenzahlen in sämtlichen 1,160 (DESTATIS 2018) bundesdeutschen Kliniken mit einem Intensivbehandlungsbereich gab es vor Beginn der Pandemie weder ein fest definiertes Datenmodell, noch eine etablierte technische Umgebung. Auch gab es bisher keine Erfahrungsgrundlage für eine anwendungsorientierte Kommunikation der aus einem solchen System erfassten Daten mit handlungssteuernden Akteuren im Public-Health-Bereich, Rettungsleitstellen, der Politik oder Krankenhäusern.

1.3 Neuer Zugang und Erfassung

In Partnerschaft und enger Zusammenarbeit der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI e.V.) mit dem Robert Koch-Institut (RKI) ist mit dem **DIVI-Intensivregister** nun eine bundesweite, webbasierte Plattform zur Erfassung von Kapazitäten für die intensivmedizinische Versorgung entstanden (9). Das weltweit einzige Register in der Hand einer medizinischen Fachgesellschaft und einer unabhängigen Behörde hat sich aus dem ARDS-Netzwerkregister der Sektion respiratorisches Versagen der DIVI heraus entwickelt. Dieses Register wurde unter methodischer Leitung des Robert Koch-Instituts (RKI) und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Gesundheit aufgebaut und weiterentwickelt. Seit dem

16. März 2020 können intensivmedizinische Organisationseinheiten in sämtlichen Krankenhäusern des Bundesgebiets, privat und öffentlich über ein zugangsgeschütztes Webinterface täglich aktualisierte Angaben zur aktuellen Versorgungssituation einsehen. Dabei ist mittlerweile eine gesetzlich gestützte Vollerhebung sämtlicher Intensivbehandlungsbereiche in der Bundesrepublik umgesetzt worden, um eine bestmögliche Handlungsgrundlage für die Steuerung gesundheitspolitischer und struktureller Maßnahmen zu erhalten, sowie die Vernetzung der ärztlichen Kollegen und Kolleginnen untereinander im gesamten Bundesgebiet optimal zu unterstützen. Zur Erfassung der Versorgungskapazität des Intensivbereichs werden Daten zu drei untereinander abgrenzbaren, intensivmedizinischen Versorgungsstufen erfasst. Die Definitionen zu low-care, high-care und ECMO-Behandlungsplätzen sind nachfolgend zusammengefasst.

Definitionen

Low-care Behandlungsplatz: Intensivmedizinische Behandlungsplätze einer einfachen Versorgungsstufe. Anforderung an die intensivmedizinische Ausstattung und Behandlungsmöglichkeiten: Basismonitoring (HF, RR, SpO₂) mit High-Flow-Sauerstoff-Therapie und/oder nicht-invasiver Beatmung (NIV) und/oder tracheotomierte Patienten im Weaning sind möglich. Eine invasive Beatmung im Rahmen der Akutversorgung ist an diesen Plätzen jedoch nicht möglich.

High-care Behandlungsplatz: Intensivmedizinische Behandlungsplätze einer hohen Versorgungsstufe. Anforderung an die intensivmedizinische Ausstattung und Behandlungsmöglichkeiten:

- Möglichkeit muss vorhanden sein für: Basismonitoring (HF, RR, SpO₂), differenzierte Katecholamintherapie, kontrollierte invasive Beatmung mittels Intensivbeatmungsgeräten (über Endotrachealtubus oder Trachealkanüle) im Rahmen der Akutversorgung der respiratorischen Insuffizienz muss 24/7 möglich sein
- Möglichkeit sollten vorhanden sein für: Erweitertes Monitoring z.B. Echokardiografie oder Thermodilutionsverfahren, sowie Lagerungstherapie inklusive Bauchlagerung, Möglichkeiten zur weiteren Organersatztherapie z.B. Nierenersatzverfahren

ECMO Behandlungsplatz: Intensivmedizinische Behandlungsplätze der höchsten Versorgungsstufe (high-care) unter Einsatz eines ECMO-Gerätes zur extrakorporalen Membranoxygenierung. ECMO ist nur auf einem High Care Behandlungsplatz möglich. Entsprechende apparative und personelle Ausstattung und die fachliche Expertise wird vorausgesetzt.

Für jede dieser Versorgungsstufen wird täglich die Anzahl aktuell belegter und freier betreibbarer Betten im DIVI-Intensivregister dokumentiert. Darüber hinaus kann die berichtende Intensivstation jeweils eine individuelle Einschätzung zur aktuellen, lokalen Verfügbarkeit auf einer dreistufigen Skala abgeben, welche neben den quantitativen Größen eine übergeordnete Sicht auch auf die aktuell zur Verfügung stehende Ausstattung, das Verbrauchsmaterial und vor allem zur gegenwärtigen Personalsituation erlaubt. Für die Abschätzung der Sicherheit zwischen Fall- und Bettenzahlen berichten die Intensivmediziner/innen eine Einschätzung zur vermutlich innerhalb der nächsten 7 Tage zusätzlich bereitstellbaren Intensivbettenkapazität.

Zur Erfassung von COVID-19-Fallzahlen wird täglich die Anzahl aktuell behandelter und darunter die Anzahl beatmeter Patienten/innen als Indikator der Krankheits-

schwere berichtet (Prävalenz-Schätzung). Für die Abschätzung der kumulierten Gesamtzahl behandelter COVID-19-Fälle (Inzidenz) können in regelmäßigen Abständen zusätzlich die Anzahl als genesen entlassener, sowie verstorbener Patienten/innen aktualisiert werden. Die technische Umgebung lässt darüber hinaus die Anpassung der Datenerhebung an einen sich möglicherweise ändernden Bedarf in der Zukunft zeitnah zu.

Für die direkte Kontaktaufnahme zwischen Intensivstationen verschiedener Kliniken werden über die online-Plattform des Registers öffentlich zugängliche Kontaktdaten gezielt bereitgestellt. Diese können z.B. bei der Suche nach einem freien Bett zur intensivierten Weiterbehandlung oder bei der Suche nach Beratung oder Unterstützung durch Expertinnen und Experten der Beatmungsmedizin für die Fernbehandlung bei komplexer Patientenführung für die behandelnden Ärzte hilfreich und wertvoll sein.

1.4 Analyse und Reporting

Die erfassten Daten werden in Echtzeit analysiert in einer webbasierten Umgebung dargestellt. Öffentliche Nutzer/innen können auf der Ebene einzelner Kliniken allgemein gehaltene Informationen zur aktuellen Verfügbarkeit von intensivmedizinischen Betten erhalten. Regionale und überregionale Karten und tabellarische Ansichten zeigen übersichtlich die wesentlichen Inhalte des Registers. Für den Zugang zu erweiterten Analysen und zu ausführlicheren Daten des Registers bedarf es einer geprüften Autorisierung. Dabei können Ärzte/Ärztinnen zusätzlich die Kontaktdaten eines jeden berichtenden intensivmedizinischen Melde- und Behandlungsbereichs einsehen, die bei der Vermittlung einer Weiterbehandlung und dem fachlichen Austausch auf medizinisch-professioneller Ebene unterstützen sollen.

1.5 Teilnahmebereitschaft

Das DIVI-Intensivregister konnte in den ersten 6 Wochen bereits mehr als 95% aller 1.160 intensivbettenführenden Kliniken erreichen (s. Abb. 1). Nach Umzug der Datenbanken und technischen Umstellungen berichteten mit Stand vom 16.05.2020 1.271 Krankenhausstandorte die Belegungen von mehr als 31.000 Intensivbetten und über mehr als 1.200 aktuelle und mehr als 12.000 bereits abgeschlossene intensivmedizinische Behandlungen von COVID-19-Patienten. Die regionale Abdeckung des Intensivregisters ist praktisch vollständig und umfasst dabei das gesamte Bundesgebiet.

1.6 Die Rolle des Intensivregisters in der SARS-CoV-2 Pandemie, Erweiterung des Registers und Zukunftsvisionen

Im DIVI-Intensivregister werden tagesaktuell Intensivbettenkapazitäten und gleichzeitig Informationen zu aktuell behandelten COVID-19-Patienten in ganz Deutschland differenziert erfasst. Durch die Datensystematik des Registers ergibt sich eine hohe zeitliche und örtliche Auflösung der Informationen. Sowohl der Bedarf an intensivstationären Ressourcen, als auch deren Verfügbarkeit werden in einem Gesamtüberblick rasch, zuverlässig und aktuell erfasst. Das Intensivregister bietet damit Zugang

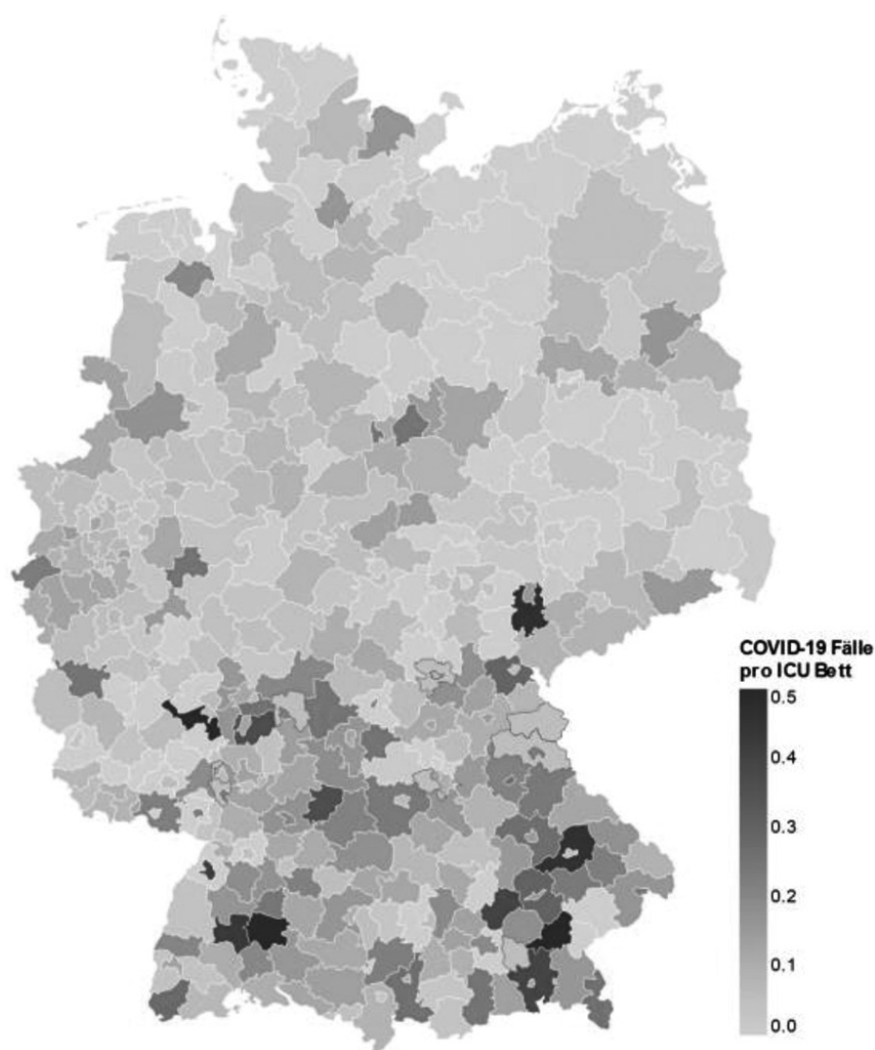


Abb. 1 COVID-19-Fälle pro Intensivbett aggregiert auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland am 07. Mai 2020 (Quelle: DIVI-Tagesreport 07. Mai 2020)

zu den wesentlichen und relevanten Informationen zum Verlauf der SARS-CoV-2 Pandemie auf deutschen Intensivstationen. Die durch das Register gewonnenen Daten können deshalb als Steuerungsgrundlage im derzeitigen dynamischen Pandemiegeschehen verwendet werden. Darüber hinaus bilden die Daten des Intensivregisters die wesentliche Voraussetzung zur Berechnung von validen Prognosemodellen, die handlungssteuernde Akteure in Politik und Gesellschaft als Entscheidungshilfe unterstützen können. Durch die Daten des DIVI-Intensivregisters wird es möglich, örtlich und zeitlich differenzierte Aussagen zum derzeitigen und dem in naher Zukunft erwarteten Infektionsgeschehen und zur Auslastung intensivstationärer Kapazitäten zu machen.

In der Weiterentwicklung des DIVI-Intensivregisters wird es möglich sein, auch Einzelfalldaten über den gesamten intensivmedizinischen Behandlungsverlauf zu erfassen, wie z.B. die demographische Charakterisierung der Patienten, verschiedene Aspekte der Krankheitsschwere, des Therapie- und Beatmungsverlaufs, der medikamentösen und sonstigen Behandlungsmodalitäten (auch experimenteller Ansätze), sowie der klinischen Analytik und der Erregerdiagnostik.

In einer aktuellen Erweiterung des Registers werden inzwischen auch Intensivbehandlungskapazitäten des pädiatrischen und neonatologischen Bereichs deutschlandweit erfasst. Weitere Ausbauschritte des Registers sind in verschiedenen Phasen und Teilbereichen geplant. Sie umfassen zum Beispiel die Ressourcen und Kapazitäten von Stationen und Einrichtungen zum Weaning von invasiver Beatmung.

Zudem könnte das Register in Zukunft zur Analyse und Steuerung der Qualität im Gesundheitswesen einen wesentlichen Beitrag leisten. Insgesamt wäre das DIVI-Intensivregister – unter den entsprechenden Richtlinien des Datenschutzes und nach entsprechendem Ethikvotum – in Zukunft ein wissenschaftlich extrem starkes Tool in der Analyse verschiedenster Erkrankungen der Intensivmedizin auch außerhalb von COVID-19.

Literatur

1. World Health Organization (WHO), Situation Report on Coronavirus disease (COVID-19), No. 119, 18.05.2020. URL: www.who.int (abgerufen am 21.09.2020)
2. Johns Hopkins University Corona dashboard; 15. September 2020. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (abgerufen am 21.09.2020)
3. Fauci AS, Lane HC, Redfield RR (2020) Covid-19 – Navigating the Uncharted. *N Engl J Med* 382: 1268–1269
4. 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(13):1239–1242
5. Graselli G, Zangrillo A, Zanella A et al. (2020) Baseline Characteristics and Outcomes of 1,591 patients infected with SARS-CoV-2 admitted to ICUs of the Lombardy region, Italy. *JAMA* 323(16): 1574–1581
6. Richardson S, Hirsch JS, Narasimhan M et al. (2020) Presenting Characteristics, Comorbidities, and Outcomes among 5,700 patients hospitalized with COVID-19 in the New York City area. *JAMA* online April 22, 2020. doi:10.1001/jama.2020.6775
7. Wang D, Hu B, Hu C et al. (2020) Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel Coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA* 323(11):1061–1069
8. Verity R, Okell L, Dorigatti I et al. (2020) Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. *Lancet Infect Dis*, online Mar 30. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30243-7
9. DIVI (2020) DIVI-Intensivregister. URL: www.intensivregister.de (abgerufen am 21.09.2020)



PD Dr. med. Mario Menk

Mario Menk ist Oberarzt der Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Campus Virchow-Klinikum, Charité – Universitätsmedizin Berlin. Seit 2006 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter der Charité und seit 2013 Oberarzt des ARDS/ECMO-Zentrums der Charité am Campus Virchow. Sein wissenschaftlicher Schwerpunkt liegt auf experimentellen und klinischen Untersuchungen zum akuten Lungenversagen und den Aktivierungswegen der Inflammation.



Prof. Dr. med. Christian Karagiannidis

Christian Karagiannidis ist Leiter des ARDS und ECMO Zentrum Köln-Merheim, Lungenklinik Köln-Merheim, Kliniken der Stadt Köln und hat eine Professur für extrakorporale Lungenersatzverfahren der Universität Witten/Herdecke inne. Schwerpunkte seiner wissenschaftlichen Tätigkeit sind extrakorporale Kurz- und Langzeitunterstützungssysteme der Lunge, die Diagnostik und Therapie des ARDS sowie der beatmungspflichtigen COPD, spezielle Beatmungsverfahren und epidemiologische Entwicklungen der Intensivmedizin. Herr Prof. Dr. Karagiannidis hält ab Ende 2020 die Präsidentschaft der DGIIN inne, ist Sektionssprecher der Sektion respiratorisches Versagen der DIVI und ERS sowie wissenschaftlicher Sprecher des DIVI Intensivregisters.



Prof. Dr. med. Steffen Weber-Carstens

Steffen Weber-Carstens ist leitender Oberarzt der erweiterten Klinikleitung an der Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Campus Virchow-Klinikum, Charité – Universitätsmedizin Berlin. Er ist Leiter des ARDS/ECMO-Zentrums der Charité am Campus Virchow-Klinikum. Neben klinischen Untersuchungen zum ARDS leitet er die Forschungsgruppen zum neuromuskulären Organversagen kritisch Kranker und zur Prävention von Langzeitbeatmung und Immobilität. Er ist Koordinator der „Clinical Research Unit – Operative and Critical Care“ (CRU-OC) am Berliner Institut für Gesundheitsforschung (BIH).

2 Gefahren der Aerosolbildung bei Sauerstoff- und Beatmungstherapie von COVID-19-Intensivpatienten – Fakten statt Mythen

Jörn Grensemann, Stefan Kluge und Bernd Schönhofer

Im Dezember 2019 wurden erstmals in China Erkrankungen mit dem bis dato nicht bekannten Coronavirus SARS-CoV-2 beschrieben (1). Die Infektion breitete sich schließlich als Pandemie weltweit aus. Das neuartige Coronavirus erhielt den offiziellen Namen „SARS-CoV-2“, klinisches Bild und Erkrankung werden als „COVID-19“ bezeichnet. Eine Infektionsübertragung durch infizierte Personen erfolgt in der Regel über Tröpfcheninfektion und Aerosole. Dieser Beitrag behandelt den Stellenwert der Aerosole als Infektionsquelle von SARS-CoV-2 bei Sauerstoff- und Beatmungstherapie.

Grundsätzlich kann es durch die bei der Anwendung von Sauerstoff- und Beatmungstherapie entstehenden Aerosole zur Übertragung von SARS-CoV-2 auf das Krankenhauspersonal kommen. Diese Erkenntnis beruht im Wesentlichen auf der SARS-CoV-1 Pandemie im Jahr 2003, die zu einer beträchtlichen Anzahl von Infektionen des Krankenhauspersonals mit hoher Mortalitätsrate führte. Retrospektiv ließen sich als Risikofaktoren aerosolgenerierende medizinische Maßnahmen (AGMPs) vor allem die endotracheale Intubation und nicht-invasive Beatmung (NIV) identifizieren (2–4). Es folgten eine Reihe experimenteller Untersuchungen zur Messung der Verteilung von Aerosolen durch unterschiedliche AGMPs. Auf der Basis dieser Messergebnisse wurde auch bei der durch SARS-CoV-2 ausgelösten Pandemie zunächst empfohlen, aerosolbildende Maßnahmen, wie z.B. High-Flow-Sauerstofftherapie oder NIV bei respiratorischer Insuffizienz infolge SARS-CoV-2 zurückhaltend einzusetzen, da hierdurch mutmaßlich das Infektionsrisiko für das Krankenhauspersonal steigt (5, 6). Die Empfehlung gilt jedoch nicht uneingeschränkt, weil der Einsatz der vermeintlich sichereren invasiven Beatmung mit relevanten Komplikationen einhergehen kann und die High-Flow-Sauerstofftherapie bzw. NIV unter Berücksichtigung des Schweregrades der respiratorischen Insuffizienz und bei Einhaltung der gebotenen Vorsichtsmaßnahmen sehr effektiv sind. Auch geht die für eine invasive Beatmung erforderliche endotracheale Intubation mit einer relevanten Aerosolbildung einher (7). Dennoch sollten Patienten mit schwerer Hypoxie ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 150 \text{ mmHg}$) und Tachypnoe – abgesehen von begründbaren individuellen Fällen – vorzugsweise invasiv beatmet werden, da eine kritische Verzögerung der Intubation die Prognose verschlechtert (8).

2.1 Was sind Aerosole?

Aerosole sind eine Suspension von festen oder flüssigen Partikeln in Gasen (hier Luft). Für die wesentlichen Abscheidungsmechanismen Sedimentation und Impaktion ist der aerodynamische Durchmesser (d_{ae}) wichtig, der sich aus dem Quotienten von Größe (d_o) und Dichte des Partikels (ρ) berechnet ($d_{ae} = d_o/\rho$). Bei medizinisch relevanten Aerosolen handelt es sich um flüssige Partikel im Sinne von Tröpfchen, deren Dichte ca. 1 g/cm^3 beträgt, sodass der aerodynamische Durchmesser näherungsweise dem geometrischen Durchmesser entspricht. Diese Tröpfchen können in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur evaporieren, es verbleiben sogenannte Tröpfchenkerne zurück, deren Durchmesser kleiner als der des ursprünglichen Tröpfchens ist (9). Durch diesen geringeren Durchmesser, der eine langsamere Sedimentierungsgeschwindigkeit nach sich zieht, verweilen Tröpfchenkerne länger in der Luft als das ursprüngliche Tröpfchen.

Partikel mit einem Durchmesser von $10 \text{ }\mu\text{m}$ benötigen ca. 5 min, um 1 m abzusinken, bei einem Durchmesser von $5 \text{ }\mu\text{m}$ geschieht das in ca. 20 min. Unterhalb einer Größe von $3 \text{ }\mu\text{m}$ kommt es zu keiner relevanten Sedimentierung mehr, unterhalb von ca. $0,5$ bis $1 \text{ }\mu\text{m}$ findet gemäß des Gesetzes von Stokes aufgrund von Reibung keine Sedimentierung mehr statt, eine Elimination ist nur durch einen Luftaustausch aus dem Raum möglich (10, 11). Zu beachten ist, dass größere Tröpfchen, bei denen zunächst von einer relevanten Sedimentierung auszugehen ist, nach Bildung von Tröpfchenkernen trotzdem nur durch einen Luftaustausch zu eliminieren sind. Bei einem zwölffachen Luftaustausch beträgt die Zeit bis zur 99%igen Aerosolelimination 23 min, bei einem sechs- bis zehnfachen Austausch, wie oft auf Intensivstationen vorhanden, 28 bis 46 min (12). Eine Abnahme der Sedimentierungsgeschwindigkeit kann z. B. durch die Thermik oberhalb des Patienten oder des Personals bedingt sein, eine Zunahme z.B. durch gerichtete Luftströmungen der raumluftechnischen Anlage (RLT) (13). Verwirbelungen, die beispielsweise durch die Betätigung von Türen oder Bewegung des Personals im Raum entstehen, beeinflussen ebenfalls die Sedimentierung. Stellenweise werden im medizinischen Bereich aufgrund der Sedimentierungseigenschaften nur suspendierte Tröpfchen $< 5 \text{ }\mu\text{m}$ als Aerosol bezeichnet, wobei dieses im physikalischen Sinn nicht korrekt ist.

Aerosole mit einem Partikeldurchmesser $< 3 \text{ }\mu\text{m}$ sedimentieren nicht relevant und können nur durch einen Luftaustausch eliminiert werden.

2.2 Was passiert in der Inspiration?

Als Faustregel gilt, dass Aerosole mit einem Tröpfchendurchmesser $\leq 5 \text{ }\mu\text{m}$ bei der Inspiration in den unteren Respirationstrakt gelangen, Tröpfchen $\geq 10 \text{ }\mu\text{m}$ durch Impaktion hauptsächlich im oberen Respirationstrakt verbleiben und Tröpfchen ab $20 \text{ }\mu\text{m}$ vollständig im oberen Respirationstrakt impaktieren (10). Von den in den unteren Respirationstrakt inspirierten Aerosolen werden Tröpfchen im Bereich zwischen $0,1$ und $1 \text{ }\mu\text{m}$ ca. 80% wieder ausgeatmet, da Partikel dieser Größe dem Luftstrom folgen können, ohne dass es durch die geringe Trägheit der kleinen Partikel zur Impaktion und Sedimentation im Respirationstrakt kommt (14). Unterhalb von $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ nimmt auf-

grund der Brownschen Molekularbewegung die Ablagerung im Respirationstrakt wieder zu. (Zum Vergleich: Durchmesser SARS-CoV-2: $0,06\text{--}0,14\text{ }\mu\text{m}$ [1]) Für die Übertragung durch Aerosole sind somit überwiegend solche mit einem Partikeldurchmesser zwischen $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ wichtig, da diese in relevant im Respirationstrakt verbleiben.

2.3 Können Aerosole SARS-CoV-2 übertragen?

Auch wenn eine aktuelle Publikation zu dem Ergebnis kommt, dass die Reproduktionszahl von SARS-CoV-2 mit ca. 2–3 zu gering ist, um von einer Aerosolübertragung auszugehen (15), wurde für SARS-CoV-1 eine Assoziation von SARS-Erkrankungen beim Personal und AGMPs nachgewiesen (3). Des Weiteren wird als Argument gegen eine Aerosolübertragung angeführt, dass die vor einer Aerosolübertragung schützenden N95 Atemschutzmasken (Schutzstufe analog FFP2) gemäß einer Metaanalyse keinen Vorteil gegenüber chirurgischen Mund-Nasen-Schutz-Masken haben, wobei hier keine direkten Vergleichsstudien zwischen beiden Maskentypen eingeschlossen wurden (16).

Die Anzahl der in einem Aerosolpartikel enthaltenen Viren hängt von der Partikelgröße ab. Dabei beeinflusst die Größe das Volumen bzw. die daraus resultierende Masse in der dritten Potenz. So hat beispielsweise ein $10\text{ }\mu\text{m}$ großer Partikel im Vergleich zu einem $1\text{ }\mu\text{m}$ großen Partikel die 1.000-fache Masse. Daraus auf die enthaltene Virenzahl zu schließen ist jedoch nicht direkt möglich, da beispielsweise bei der Bildung von Tröpfchenkernen nur Wasser evaporiert und die ursprüngliche Virenzahl gleichbleibt. Auch wenn es für Coronaviren hierzu keine Daten gibt, ließ sich für Influenzaviren zeigen, dass 99% der Viren in Partikeln enthalten sind, die mehrere Stunden in der Luft verweilen (17, 18). Dementsprechend wird auch im mathematischen Modell die Aerosolübertragung als Hauptübertragungsweg angenommen (19). In Analogie hierzu wurden in der Umgebungsluft von Patienten Coronaviren nachgewiesen (20). Auch für andere RNA-Viren wie Influenza, Respiratory Syncycial Virus und Rhinoviren konnte Virus-RNA aus ausgeatmeten Partikeln ($\leq 5\text{ }\mu\text{m}$) isoliert werden, sodass grundsätzlich außer Frage steht, dass Aerosole viral beladen sind (21). Die Stabilität für SARS-CoV-2 ist ausreichend, um Infektionen über Aerosole zu übertragen, die Halbwertszeit beträgt in artifiziiell generierten Aerosolen (Partikelgröße $< 5\text{ }\mu\text{m}$) ca. 1 h, die Infektiosität mindestens 3 h (22). Daher ist grundsätzlich davon auszugehen, dass SARS-CoV-2 über Aerosole auf den Menschen übertragen werden kann. Unklar bleibt zurzeit, welche Virenlast und Vitalität (Überlebenszeit) von SARS-CoV-2 erforderlich ist, um Aerosol-basierte Infektionen des Menschen zu verursachen. Ob es in Patientenräumen zu einer kritischen Konzentration von Viren kommen kann, hängt weiterhin von der Viruslast des Patienten (Low- oder Superspreader), dem Atemminutenvolumen, der Größe des Raumes und der Belüftung ab (23). Insgesamt ist die Übertragung von Viren durch Aerosole gesichert (24, 25).

2.4 Wie viel Aerosol entsteht bei der Sauerstofftherapie und Beatmung?

Diese Fragestellung wurde überwiegend in experimentelle Studien untersucht, es liegen nur wenige Untersuchungen an Patienten vor, die unter viralen Erkrankungen litten. Bereits bei der konventionellen Sauerstoffinsufflation über eine Nasenbrille

konnte experimentell eine Aerosolbildung gezeigt werden. Dabei steigt die Ausbreitung der Aerosole mit höheren Sauerstoffflüssen an (26). Gleiches gilt für die Sauerstoffapplikation über eine Gesichtsmaske, bei der die Ausatemluft als Jet entweichen kann und potenziell infektiöse Aerosole in den Raum abgibt (27–29). Ist eine konventionelle Sauerstoffsufflation nicht ausreichend, wird beim hypoxämischen Lungenversagen oft eine High-Flow Sauerstofftherapie angewendet. Interessanterweise geht diese mit einer geringeren Aerosolbildung als bei der konventionellen Sauerstoffgabe einher (30), was auf eine höhere Dichtigkeit der High-Flow Kanüle zurückgeführt wird (31). Dieses konnte in Simulationen mit expirierten Rauchpartikeln gezeigt werden. Solange die Nasenkanüle korrekt platziert war, verteilte sich die Expirationsluft weniger als 20 cm in der Umgebung des Patienten. Kam es jedoch zur Dislokation der High-Flow Kanüle, war die Expirationswolke noch in 60 cm Entfernung des Patienten nachweisbar (31). In einer weiteren experimentellen Untersuchung der High-Flow Sauerstofftherapie konnte für größere Partikel ($> 50 \mu\text{m}$) ebenfalls keine Verteilung über 60 cm gezeigt werden (32). Ähnliche Ergebnisse konnten für eine High-Flow-Therapie über eine Venturi-Maske gezeigt werden, bei der für eine inspiratorische Sauerstofffraktion von 0,6 (entsprechend Flüssen von ca. 40–50 L/min) in 20 cm Abstand vom Patienten keine erhöhten Aerosolkonzentrationen gefunden werden konnten (33). Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass bei der High-Flow Sauerstofftherapie auch kleine Partikel entstehen, die nicht sedimentieren und somit über die initiale Verteilung hinaus im Raum verbleiben können. Dieses gilt insbesondere, wenn die Therapie nicht in Räumen mit einem geregelten Luftaustausch mittels RLT durchgeführt wird. Nach fluiddynamischen Computerberechnungen reduziert die gleichzeitige Verwendung eines Mund-Nasen-Schutzes die Aerosolbildung um den Patienten um über 80% (34).

Zur Bewertung der Aerosolbildung durch Sauerstofftherapieformen muss berücksichtigt werden, dass die Aerosolwolke nur unter hohen Sauerstoffflüssen über eine Nasensonde höher ist als die, die bereits durch eine physiologische Spontanatmung erzeugt wird (23).



Wache Patienten sollten stets einen Mund-Nasen-Schutz tragen, auch unter Sauerstoffgabe oder High-Flow-Therapie.

Erfolgt als nächste Eskalationsstufe der Atemunterstützung eine CPAP-Therapie oder NIV, hängt die Aerosolbildung maßgeblich vom verwendeten System ab. Grundsätzlich stehen für die NIV-Einschlauchsysteme mit Leckageventil, Einschlauchsysteme mit gesteuertem Expirationsventil oder Doppelschlauchsysteme zur Verfügung. Bei den Einschlauchsystemen wird die Expirationsluft patientennah abgegeben, während beim Doppelschlauchsystem die Rückführung der Expirationsluft zum Beatmungsgerät erfolgt. Dass das verwandte NIV-System einen Einfluss auf die Aerosol-ausbreitung haben kann, konnte experimentell bestätigt werden. In Abhängigkeit der an einem Simulator eingestellten Lungencompliance und der verwendeten Beatmungsdrücke konnte für $1 \mu\text{m}$ große Rauchpartikel eine Verteilung bis zu einem Abstand von 1 m vom Patienten gezeigt werden. Obwohl für dieses Experiment ein Isolationszimmer mit negativem Druck und gerichtetem Luftstrom verwendet wurde, breiteten sich anschließend die Partikel im gesamten Raum aus. Leckagen an der

Beatmungsmaske konnten sich bis zu knapp 0,5 m vom Patienten ausbreiten. Auch hier kam es zu einer weiteren Verteilung des Rauches aus dem Leckagejet (35). In einer anderen Untersuchung mit einem Einschlauchsystem mit Leckageventil wurde nachgewiesen, dass es nach Beatmungsbeginn zu einer signifikanten Zunahme von Partikeln ab $3\text{ }\mu\text{m}$ kommt (33). Wurde jedoch die Expirationsluft über einen Beatmungsfilter geleitet, kam es zu keinem Anstieg der Partikelzahl. Bei der Verwendung eines Doppelschlauchsystems mit einem Beatmungshelm traten je nach eingesetztem Modell keine oder nur geringe Leckagen am Hals des Patienten auf, sodass keine Aerosole im Raum nachgewiesen wurden (36). Somit müssen bei der NIV zur Vermeidung von Aerosolen virenrückhaltende Beatmungsfilter eingesetzt werden, insbesondere bei der Verwendung von Einschlauchsystemen. Nicht eingesetzt werden sollten Leckage-Masken (Vented-Masken), da hier kein Filter zwischen Patient und Leckageventil platziert werden kann (8).

Für die invasive Beatmung liegen aktuell keine Daten vor, in wie weit Aerosole sich im Patientenzimmer verteilen.

Eine Aerosolbildung ist jedoch nicht auf Maßnahmen zur Atmungsunterstützung beschränkt. Beispielsweise konnte für die Physiotherapie gezeigt werden, dass sie auch zur Erhöhung der Aerosolkonzentration um den Patienten führt (33). Auch Sprechen, Lachen und Husten führen zur relevanten Erhöhung von Aerosolen.

2.5 Wie kann die Aerosolbildung reduziert werden?

Wache Patienten können stets einen medizinischen Mund-Nasen-Schutz tragen, dieser kann zwar kein Aerosol per se filtern, jedoch größere Tröpfchen zurückhalten, die dann wahrscheinlich nicht mehr evaporieren und Tröpfchenkerne bilden können. So wird beispielsweise eine Aerosolbildung selbst unter HFNC zu 80% reduziert (34). Des Weiteren sollte besonders auf den dichten Maskensitz geachtet werden.

Bei der NIV ist es wichtig, die Expirationsluft über einen virenrückhaltenden Filter zu leiten. Wird ein solcher Filter zwischen Maske und Beatmungssystem geschaltet, können auch Einschlauchsysteme verwendet werden. Nicht verwendet werden dürfen Vented-Masken, da der Filter nicht vor dem Leckageventil platziert werden kann, sodass ein aerosolbeladener Leckagejet in den Raum abgegeben wird.

Bei der Beatmung sollte stets ein expirationsseitiger virendichter Filter verwendet werden, bei der NIV KEINE Masken mit Leckageventil (Vented-Masken) einsetzen!

Die endotracheale Intubation sollte von einem mit Intubation erfahrenen Anwender durchgeführt werden und als „Rapid-Sequence-Induction“ erfolgen (5), um eine Aerosolbildung durch eine Maskenbeatmung zu verhindern (5, 6). Des Weiteren ist es entscheidend, Husten während des Intubationsvorgangs zu vermeiden, da hierbei eine Ausbreitung von Tröpfchen bis zu 2 m beschrieben ist (37). Mithilfe von Intubationsboxen aus Folien oder Acrylglas verbleibt das bei der Intubation entstehende Aerosol zwar überwiegend in der Box (38), dennoch kommt es zur Aerosolverteilung im Raum durch Öffnungen der Box (38, 39), obwohl die Aerosolkonzentration wahr-

scheinlich reduziert ist. Auch wenn dieser Ansatz innovativ erscheint, konnte in einer systematischen Evaluation zum Einsatz der Intubationsbox gezeigt werden, dass Intubationen länger dauern, womit die Hypoxiegefahr steigt und es häufiger zu einer Beschädigung der Schutzausrüstung kam, was mit einer Kontaminationsgefahr für das Personal einhergeht (40). Der Nutzen von Intubationsboxen ist solange kritisch zu bewerten, bis zusätzliche Daten vorliegen.

Für die Intubation wird eine Videolaryngoskopie empfohlen, um den Abstand zwischen Patient und Arzt zu vergrößern und so die Tröpfchenexposition des Arztes zu reduzieren (8). Entscheidend ist hierbei, dass eine ausreichende Erfahrung mit dem Einsatz des Videolaryngoskops besteht, um einen Intubationserfolg ohne unnötigen Zeitverzug zu gewährleisten (41).



Intubation:

- *erfahrener Anwender notwendig*
- *Rapid-Sequence-Induction – Maskenbeatmung vermeiden*
- *Videolaryngoskop, falls im Umgang eine ausreichende Erfahrung besteht*
- *Cave: „Intubationsboxen“ steigern Hypoxiegefahr und Kontaminationsgefahr für Personal*

Während einer invasiven Beatmung wird das Aerosol über die üblicherweise verwendeten Doppelschlauchsysteme zurück zum Beatmungsgerät geleitet. Es ist sinnvoll, die aerosolbeladene Expirationsluft über einen virenrückhaltenden Filter zu leiten, damit die Expirationsluft nicht ungefiltert in die Umgebungsluft gelangt. Der Filter kann patientennah am Y-Stück oder vor dem Expirationsventil platziert werden. Allerdings liegen hierfür keine Untersuchungen vor, die eine Aerosolreduzierung belegen. Eine Diskonnektion des Beatmungssystems wie z. B. beim Absaugen sollte unterbleiben (8). Für das Absaugen über Tubus bzw. Trachealkanüle sollen geschlossene Absaugssysteme angewendet werden (5).

Bei einer Extubation sollten Husten, Pressen und Recruitmentmanöver wenn möglich verhindert werden. Weiterhin wird empfohlen, einen virenrückhaltenden Heat and Moisture Exchange (HME)-Filter auf dem Tubus zu belassen und gemeinsam mit diesem zu entsorgen (8). Dieses setzt voraus, dass eine passive Atemgasbefeuchtung über einen HME Filter erfolgt.

2.6 Fazit für die Praxis

Auch wenn es unter Behandlung zu einem relevanten Anstieg einer Aerosolbildung kommt, müssen Patienten mit respiratorischer Insuffizienz bei vorliegender Indikation auf der Basis der aktuellen Empfehlungen eine Sauerstofftherapie bzw. NIV erhalten (8, 42). Eine invasive Beatmung sollte erst erfolgen, wenn diese aufgrund der Schwere der respiratorischen Insuffizienz indiziert ist. Die Angst vor einer Ansteckung darf kein primärer Intubationsgrund sein.

Um das Risiko für das Personal auf ein Minimum zu reduzieren, ist das Einhalten der erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen nötig. Hierzu gehören vor allem die Verwendung einer adäquaten persönlichen Schutzausrüstung, die mindestens aus einer

Atemschutzmaske der Stufe FFP2 oder höher sowie Kittel, Handschuhen und Schutzbrille bestehen sollte. Gegebenenfalls kann bei besonderen Prozeduren wie der Intubation zusätzlich ein Gesichtsvisor angelegt werden. Sehr wichtig ist der korrekte Umgang mit der Schutzausrüstung, der konsequent geschult werden muss, um beispielsweise eine Kontamination beim Ablegen zu vermeiden.

Der Umgang mit der Schutzausrüstung aus FFP2/3 Maske, Kittel, Schutzbrille und Handschuhen sollte im Behandlungsteam regelmäßig geschult werden.

Des Weiteren sollten Patienten mit COVID-19 idealerweise in Zimmern behandelt werden, die einen negativen Druck aufweisen, sodass keine Aerosole in die Flurbereiche strömen können. Mindestens ein zwölfacher Luftaustausch pro Stunde über eine RLT ist anzustreben, um suspendierte Tröpfchen über den Luftaustausch zu eliminieren (12). Sind aufgrund eines hohen Patientenaufkommens keine Patientenzimmer mit RLT verfügbar, besteht vor allem nach aerosolbildenden Prozeduren die Option des regelmäßigen Lüftens des Zimmers durch geöffnete Fenster. Wache Patienten sollten stets einen medizinischen Mund-Nasen-Schutz tragen, um die Anzahl der Tröpfchen und damit der suspendierbaren Tröpfchenkerne zu reduzieren. Dieses gilt auch während der Anwendung einer Sauerstoffinsufflation oder High-Flow-Sauerstofftherapie. Unter strikter Einhaltung dieser Maßnahmen ist eine sichere Behandlung von Patienten mit COVID-19 möglich.

Take home messages:

- *Aerosole sind eine Suspension von Partikeln in Luft, unterhalb einer Partikelgröße von 3 µm findet keine relevante Sedimentierung mehr statt.*
- *SARS-CoV-2 kann durch Aerosole übertragen werden, die durch medizinische Maßnahmen freigesetzt werden.*
- *Bei einer High-Flow-Sauerstofftherapie ist auf den korrekten Sitz der nasalen Kanüle zu achten, um die Aerosolwolke zu reduzieren.*
- *Bei der NIV muss ein expirationsseitiger virendichter Filter verwendet werden, dieses schließt den Einsatz von Masken mit Leckageventil (Vented-Masken) aus.*
- *Bei der invasiven Beatmung sollte ebenfalls ein expirationsseitiger virendichter Filter verwendet werden.*
- *Die Indikation für eine Intubation und invasive Beatmung sollte entsprechend der aktuellen Leitlinien gestellt werden. Die unbegründete Angst des Personals vor Aerosolen darf nicht die Indikation triggern.*
- *Wache Patienten sollten stets einen Mund-Nasen-Schutz tragen, auch unter Sauerstoff- oder High-Flow-Therapie.*
- *Bei der Behandlung von COVID-19-Patienten sollte die Schutzausrüstung mindestens aus FFP2-Maske oder höher, Kittel, Handschuhen und Schutzbrille bestehen und zuvor der korrekte Umgang geübt werden.*
- *Es sollte ein ausreichender Luftaustausch über die RLT oder häufiges Lüften der Räume erfolgen.*

Literatur

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, Zhao X, Huang B, Shi W, Lu R et al: A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine* 2020, 382(8):727–733.
2. Fowler RA, Guest CB, Lapinsky SE, Sibbald WJ, Louie M, Tang P, Simor AE, Stewart TE: Transmission of severe acute respiratory syndrome during intubation and mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2004, 169(11):1198–1202.
3. Tran K, Cimon K, Severn M, Pessoa-Silva CL, Conly J: Aerosol generating procedures and risk of transmission of acute respiratory infections to healthcare workers: a systematic review. *PLoS One* 2012, 7(4):e35797.
4. Raboud J, Shigayeva A, McGeer A, Bontovics E, Chapman M, Gravel D, Henry B, Lapinsky S, Loeb M, McDonald LC et al: Risk Factors for SARS Transmission from Patients Requiring Intubation: A Multicentre Investigation in Toronto, Canada. *PLoS One* 2010, 5(5):e10717.
5. Kluge S, Janssens U, Welte T, Weber-Carstens S, Marx G, Karagiannidis C: Empfehlungen zur intensivmedizinischen Therapie von Patienten mit COVID-19. *Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin* 2020, 115(3):175–177.
6. Cheung JCH, Ho LT, Cheng JV, Cham EYK, Lam KN: Staff safety during emergency airway management for COVID-19 in Hong Kong. *The Lancet Respiratory Medicine* 2020, 8(4):e19.
7. Caputo KM, Byrick R, Chapman MG, Orser BJ, Orser BA: Intubation of SARS patients: infection and perspectives of healthcare workers. *Can J Anaesth* 2006, 53(2):122–129.
8. Kluge S, Janssens U, Welte T, Weber-Carstens S, Schälte G, Salzberger B, Gastmeier P, Langer F, Wepler M, Westhoff M et al: AWMF S1-Leitlinie Empfehlungen zur intensivmedizinischen Therapie von Patienten mit COVID-19. 2020.
9. Xie X, Li Y, Chwang AT, Ho PL, Seto WH: How far droplets can move in indoor environments—revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air* 2007, 17(3):211–225.
10. Tellier R: Review of aerosol transmission of influenza A virus. *Emerg Infect Dis* 2006, 12(11):1657–1662.
11. Stokes GG: On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society* 1851, 9:8–106.
12. Centers for Disease Control and Prevention: Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. Appenix B. Air. URL: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/appendix/air.html#tableb1> (abgerufen am 02.09.2020)
13. Wei J, Li Y: Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *Am J Infect Control* 2016, 44(9 Suppl):S. 102–108.
14. Scheuch G, Kohlhaeufel MJ, Brand P, Siekmeier R: Clinical perspectives on pulmonary systemic and macromolecular delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews* 2006, 58(9):996–1008.
15. Klompas M, Baker MA, Rhee C: Airborne Transmission of SARS-CoV-2: Theoretical Considerations and Available Evidence. *JAMA* 2020.
16. Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ, Chu DK, Akl EA, El-harakeh A, Bognanni A et al: Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet* 2020, 395(10242):1973–1987.
17. Fabian P, McDevitt JJ, DeHaan WH, Fung ROP, Cowling BJ, Chan KH, Leung GM, Milton DK: Influenza Virus in Human Exhaled Breath: An Observational Study. *PLoS One* 2008, 3(7):e2691.
18. Blachere FM, Lindsley WG, Pearce TA, Anderson SE, Fisher M, Khakoo R, Meade BJ, Lander O, Davis S, Thewlis RE et al: Measurement of airborne influenza virus in a hospital emergency department. *Clin Infect Dis* 2009, 48(4):438–440.
19. Atkinson MP, Wein LM: Quantifying the routes of transmission for pandemic influenza. *Bull Math Biol* 2008, 70(3):820–867.
20. Booth TF, Kournikakis B, Bastien N, Ho J, Kobasa D, Stadnyk L, Li Y, Spence M, Paton S, Henry B et al: Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *J Infect Dis* 2005, 191(9):1472–1477.
21. Gralton J, Tovey ER, McLaws ML, Rawlinson WD: Respiratory virus RNA is detectable in airborne and droplet particles. *J Med Virol* 2013, 85(12):2151–2159.

22. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI et al: Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine* 2020.
23. Pfeifer M, Ewig S, Voshaar T, Randerath W, Bauer T, Geiseler J, Dellweg D, Westhoff M, Windisch W, Schonhofer B et al: [Position Paper for the State of the Art Application of Respiratory Support in Patients with COVID-19 – German Respiratory Society]. *Pneumologie* 2020.
24. Morawska L, Cao J: Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int* 2020, 139:105730.
25. Jones RM, Brosseau LM: Aerosol transmission of infectious disease. *J Occup Environ Med* 2015, 57(5):501–508.
26. Hui DS, Chow BK, Chu L, Ng SS, Lai ST, Gin T, Chan MT: Exhaled air dispersion and removal is influenced by isolation room size and ventilation settings during oxygen delivery via nasal cannula. *Respirology* 2011, 16(6):1005–1013.
27. Somogyi R, Vesely AE, Azami T, Preiss D, Fisher J, Correia J, Fowler RA: Dispersal of respiratory droplets with open vs closed oxygen delivery masks: implications for the transmission of severe acute respiratory syndrome. *Chest* 2004, 125(3):1155–1157.
28. Hui DS, Hall SD, Chan MT, Chow BK, Ng SS, Gin T, Sung JJ: Exhaled air dispersion during oxygen delivery via a simple oxygen mask. *Chest* 2007, 132(2):540–546.
29. Hui DS, Ip M, Tang JW, Wong AL, Chan MT, Hall SD, Chan PK, Sung JJ: Airflows around oxygen masks: A potential source of infection? *Chest* 2006, 130(3):822–826.
30. Hui DS, Chow BK, Chu LCY, Ng SS, Hall SD, Gin T, Chan MTV: Exhaled air and aerosolized droplet dispersion during application of a jet nebulizer. *Chest* 2009, 135(3):648–654.
31. Hui DS, Chow BK, Lo T, Tsang OTY, Ko FW, Ng SS, Gin T, Chan MTV: Exhaled air dispersion during high-flow nasal cannula therapy versus CPAP via different masks. *Eur Respir J* 2019, 53(4):1802339.
32. Kotoda M, Hishiyama S, Mitsui K, Tanikawa T, Morikawa S, Takamino A, Matsukawa T: Assessment of the potential for pathogen dispersal during high-flow nasal therapy. *J Hosp Infect* 2019.
33. Simonds AK, Hanak A, Chatwin M, Morrell M, Hall A, Parker KH, Siggers JH, Dickinson RJ: Evaluation of droplet dispersion during non-invasive ventilation, oxygen therapy, nebuliser treatment and chest physiotherapy in clinical practice: implications for management of pandemic influenza and other airborne infections. *Health Technol Assess* 2010, 14(46):131–172.
34. Leonard S, Atwood CW, Walsh BK, DeBellis RJ, Dungan GC, Strasser W, Whittle JS: Preliminary Findings of Control of Dispersion of Aerosols and Droplets during High Velocity Nasal Insufflation Therapy Using a Simple Surgical Mask: Implications for High Flow Nasal Cannula. *Chest* 2020.
35. Hui DS, Hall SD, Chan MT, Chow BK, Tsou JY, Joynt GM, Sullivan CE, Sung JJ: Noninvasive positive-pressure ventilation: An experimental model to assess air and particle dispersion. *Chest* 2006, 130(3):730–740.
36. Hui DS, Chow BK, Lo T, Ng SS, Ko FW, Gin T, Chan MTV: Exhaled air dispersion during noninvasive ventilation via helmets and a total facemask. *Chest* 2015, 147(5):1336–1343.
37. Canelli R, Connor CW, Gonzalez M, Nozari A, Ortega R: Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation. *New England Journal of Medicine* 2020, 382(20):1957–1958.
38. Brown H, Preston D, Bhoja R: Thinking Outside the Box.: A Low-cost and Pragmatic Alternative to Aerosol Boxes for Endotracheal Intubation of COVID-19 Patients. *Anesthesiology* 2020.
39. Jazuli F, Bilic M, Hanel E, Ha M, Hassall K, Trotter BG: Endotracheal intubation with barrier protection. *Emerg Med J* 2020, 37(7):398–399.
40. Begley JL, Lavery KE, Nickson CP, Brewster DJ: The aerosol box for intubation in coronavirus disease 2019 patients: an in-situ simulation crossover study. *Anaesthesia* 2020, 75(8):1014–1021.
41. Grensemann J, Simon M, Kluge S: Atemwegsicherung in der Intensiv- und Notfallmedizin – Was gibt es Neues? *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2019, 114(4):334–341.
42. Grensemann J, Kluge S: Nichtinvasive Beatmung und Ansteckungsrisiko: Aerosole von COVID-19-Patienten. *Dtsch Arztebl* 2020, 117(31–32):A1498.



PD Dr. med. Jörn Gensemann, D.E.S.A.

Nach Studium in Bonn Weiterbildung zum Facharzt für Anästhesiologie in Bayreuth. Nach Wechsel an das Klinikum Köln-Merheim Erwerb der Zusatzbezeichnungen Spezielle Intensivmedizin und Notfallmedizin, Oberarzt der Schwerverbrannten-Intensivstation. Wechsel an das Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf in die Klinik für Intensivmedizin und Habilitation. Mitglied der Kommission für Normung und technische Sicherheit der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin. Forschungsschwerpunkte: Atemwegsmanagement auf Intensivstation und pharmakokinetische Optimierung der Applikation antiinfektiver Substanzen bei kritisch kranken Patienten.



Prof. Dr. med. Stefan Kluge

Stefan Kluge studierte Humanmedizin an den Universitäten Gießen, Hamburg und Durban (SA). Er begann seine Facharztausbildung 1995 in der Medizinischen Klinik des Krankenhauses St. Joseph Stift in Bremen und wechselte 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an die Medizinische Kern- und Poliklinik des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. 2005 wurde er zum Oberarzt ernannt, 2009 erfolgte die Habilitation für das Fach Innere Medizin und 2014 die Ernennung zum Professor. Der Facharzt für Innere Medizin mit der Schwerpunktbezeichnung Pneumologie und spezieller Weiterbildung in internistischer Intensivmedizin leitet seit 2009 als Direktor die Klinik für Intensivmedizin am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf. Prof. Dr. med. Stefan Kluge ist Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Internistische Intensiv- und Notfallmedizin (DGIIN) und Mitglied des Präsidiums der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). Forschungsschwerpunkte sind Beatmung, extrakorporaler Lungenersatz, Sepsis und invasive Mykosen.