



Dieter Scholz

Sommer 2020, COVID-19, Fliegen: ja oder nein? Vorsicht: Gesundheitsrisiko und unklare Rechtslage!

(PresseBox) (Hamburg, 05.06.20) Die Sonne scheint. Die beliebten Strände in Südeuropa sind noch leer. Flugtickets zu den Urlaubsorten werden bereits angeboten und das Auswärtige Amt stellt die Aufhebung der weltweiten Reisewarnung wegen COVID-19 in Aussicht. Die Verlockung ist groß, aus dem Corona-Alltag auszubrechen. Aber Vorsicht. Die Gefahr sich im Flugzeug mit SARS-CoV-2 anzustecken ist real gegeben, denn an kaum einem anderen Ort sind Personen so dicht nebeneinander untergebracht wie im Flugzeug. Nicht husten am Flughafen, dadurch könnte der Zutritt zum Flugzeug verweigert werden. Vor dem Rückflug wird evtl. die Körpertemperatur gemessen – mit ungewissem Ausgang. Frisch gerettete Fluggesellschaften beteuern, dass keine Gefahr einer Ansteckung im Flugzeug bestehen würde. Die Luft wäre im Flugzeug so gut wie im Operationsaal. Mit der Wahrheit wird es bei solchen Aussagen nicht so genau genommen, denn es geht um viel Geld. Die Verantwortlichen schauen weg, schließlich kann eine Lufthansa nicht jedes Vierteljahr erneut gerettet werden. Hier eine detaillierte Darstellung der Hintergründe aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht.

Wie ein Abstandsgebot im Flugzeug politisch verhindert wurde

Eine der elementaren Maßnahmen zum Gesundheitsschutz in der Corona-Pandemie ist, der Abstand den Menschen voneinander halten. Mindestens 1,5 m soll der Abstand betragen (<https://perma.cc/UC6T-GWWC>). Wer sich nicht daran hält, kann ein Bußgeld auferlegt bekommen. Inhaber von Geschäften zahlen dann in Hamburg zwischen 500 € und 1.000 € (<https://perma.cc/FK3M-6MKH>). Wenn ein Busunternehmer in Bremen eine touristische Reise in seinem Bus durchführt, würde Bußgeld zwischen 500 € und 2500 € anfallen (<https://perma.cc/HWK4-WHFZ>). Nur im Flugzeug ist und soll es weiterhin anders sein. Dort sitzen die Passagiere auf enger Bestuhlung. Man könnte jetzt einen Sitz frei lassen, evtl. auch jede zweite Reihe. So ist es in Deutschland derzeit aber nicht und es wird auch im Sommer 2020 so nicht kommen. Fluggäste werden eng in vollen Flugzeugen sitzen wie schon immer. Die Lobbyisten haben das längst eingefädelt. Zunächst gab es Gespräche im Verkehrsministerium (BMVI). Dort hatten sich die deutschen Branchenvertretern schon darauf geeinigt, dass Airlines alle Sitze verkaufen dürfen (<https://perma.cc/4GSP-9S6S>). Die

Regelung zwischen Lufthansa/Eurowings und dem BMVI (<https://perma.cc/95BS-8GS2>) wonach zunächst auf einigen Flügen Sitze geblockt wurden, lief bereits am 19. April 2020 aus (<https://perma.cc/MN8R-7AP7>). Weiterhin wurde Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) aktiv. Am 20.05.2020 wurde das "COVID-19 Aviation Health Safety Protocol" veröffentlicht. Es sind "guidelines to assure health safety in air travel despite COVID-19". In dem gesamten Dokument ist für die Airlines kein Hinweis verbindlich. Hingegen ergeben sich für die Passagiere neue Verfahrensweisen, an die sie sich zu halten haben. EU-Verkehrskommissarin Adina Vălean lobte: "Das heute veröffentlichte Protokoll wird den Passagieren versichern, dass sie sicher fliegen können, und so der Branche helfen, sich von den [finanziellen] Auswirkungen dieser Pandemie zu erholen." (<https://perma.cc/7NHJ-VHAX>) Die Kernaussage des Protokolls lautet: "Wenn ein körperlicher Abstand aufgrund der Passagierlast nicht garantiert werden kann ... sollten sich Passagiere ... an ... andere vorbeugende Maßnahmen halten ... und ... eine Gesichtsmaske tragen." (<https://perma.cc/MR7X-Y73R>). Gespräche wurden dann unter der Leitung der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) geführt. Was dort festgelegt wird, freut sich der Chef der International Air Transport Association (IATA), Alexandre de Juniac (<https://perma.cc/J5ZX-4JRP>), muss von den Mitgliedsstaaten anschließend weltweit in nationales Recht umgesetzt werden. Ein Land wie Pakistan könnte dann nicht mehr einen "Freiraum von mindestens einem benachbarten Sitz" fordern (<https://perma.cc/JCF9-PYUC>). Am 01.06.2020 hat die Council Aviation Recovery Taskforce (CART) der ICAO ihre "Empfehlungen und Richtlinien", die "CART Take-off guidance" vorgelegt. Im "Aircraft Module - Passenger and Crew – General" steht: "Fluggesellschaften sollten getrennte Sitzordnungen zulassen, wenn die Belegung dies zulässt." (<https://perma.cc/X447-UEU2>) Im Klartext: Jeder Sitz darf belegt werden.



Sicherheitsabstand am Hamburg Airport, 22.05.2020

Wie wir in Zukunft fliegen werden

Einen Vorgeschmack, auf das was kommen wird zeigte Report Mainz am 26. Mai 2020 (knapp eine Woche nach Veröffentlichung des EASA "Protokolls") am Beispiel eines Fluges nach Portugal (<https://perma.cc/CV2K-8F24>). Es ist so voll wie immer. Fast jeder Mittelsitz ist belegt. Lufthansa verlangt einen Mund-Nasen-Schutz (<https://perma.cc/LSS9-6RRW>), der beim Essen naturgemäß abgelegt wird. Hinweise zum geordneten Ein- und Aussteigen aus dem Flugzeug, die eine enge Begegnungen der Passagiere verringern würden, fehlen. Wie immer stehen die Passagiere beim Aussteigen minutenlang eng aneinander im Gang.



Bilder von einem Flug von Deutschland nach Portugal und zurück. Fast jeder Platz ist besetzt. Das Chaos beim Ein- und Aussteigen ist das gleiche wie immer. Dabei hätte das von der EASA veröffentlichte "COVID-19 Aviation Health Safety Protocol" beachtet werden können. (Report Mainz, <https://purl.org/cabinair/ard-report-corona>)

Wie finanzielle Randbedingungen die Entscheidungsfindung zum Mindestabstand beeinflusste

Am 05. Mai 2020 fand eine Pressekonferenz der International Air Transport Association (IATA) statt, dem Dachverband der Fluggesellschaften. Brian Pearce, Chefökonom der IATA legt die Zahlen vor (<https://perma.cc/4A7U-V97W>). Danach wird für den Sommer 2020 noch mit einer schwachen Nachfrage durch die Passagiere gerechnet. Das Angebot an Verkehrsleistung wird sich aber trotzdem schnell vergrößern, denn die vielen Flugzeuge, die jetzt geparkt und gelagert sind (<https://perma.cc/9CYL-HVQX>) müssen wieder in den Einsatz zurückkehren, weil das investierte Kapital Erträge erwirtschaften muss. Es wird dann ein großes Angebot an Flügen auf eine nur mäßige Nachfrage treffen. Entsprechend werden die Preise für die Flugtickets dann eher niedrig ausfallen. Ryanair Chef Michael O'Leary erwartet einen Preiskampf und schwört: "Überall dort, wo unter Kosten verkauft wird, werden wir unter den unter Kosten liegenden Verkäufen preisen" (<https://perma.cc/7GMJ-DTYM>). Die mit Milliarden Euros geretteten und jetzt wieder liquiden Fluggesellschaften können den Preiskampf aufnehmen. Weltweit geht es um 123 Milliarden USD an Unterstützung für Airlines (<https://perma.cc/JE57-WYWK>). Ryanair rechnet vor, dass seine Wettbewerber in Europa "30 Milliarden Euro an rechtswidrigen staatlichen Beihilfen" erhalten, die "gegen EU-Beihilfe- und Wettbewerbsregeln verstoßen" (<https://perma.cc/94A5-M4ZW>). Ryanair erhält selbst aber auch 600 Millionen GBP (<https://perma.cc/28X8-QJCC>). Der derzeit niedrige Kraftstoffpreis hilft auf der Kostenseite etwas. Die Kraftstoffkosten machen auf der Kurz- und Mittelstrecke aber nur ca. 10 % aus. Insgesamt wird es wirtschaftlich also schwierig werden für die Fluggesellschaften. Daher müssen die Flugzeuge möglichst voll sein. Der Prozentsatz an verkauften Sitzplätzen wird Loadfactor genannt und liegt im Durchschnitt bei 85 %. Eine gesunde Fluggesellschaft beginnt bei ca. 70 % Loadfactor einen Gewinn zu erwirtschaften. Dieser Prozentsatz wird Break Even Loadfactor genannt. Am besten ist es natürlich – wirtschaftlich betrachtet –, wenn jeder Sitz besetzt ist.

Warum ein Abstandsgebot im Luftfahrtwettbewerb wirtschaftlich nicht möglich ist

Wenn neben jedem belegten Sitz ein Sitz frei bleiben soll, dann verringert sich die Zahl der verfügbaren Sitze. Bei den bekannten Schmalrumpfflugzeugen (z. B. Airbus A320, Boeing 737) mit 6 Sitzen in einer Reihe sieht das dann so aus: **P X P _ P X P**. Dabei steht P für Passagier und X für einen leeren Sitz. In der Mitte ist der Gang angedeutet. Die Anzahl der verfügbaren Sitze geht dann auf $2/3 = 67\%$ zurück. Auch diese verbleibenden Sitze werden aus Gründen der Logistik ebenfalls nicht vollständig gefüllt werden können. Wird der alte typische Loadfactor von 85 % auf die neue Situation mit dem freien Mittelsitz übertragen, dann würde sich der Loadfactor auf 57 % reduzieren. Ticketpreise müßten um den Faktor

$100/67 = 85/57 = 1,5$ steigen, wenn die Airlines den gleichen Umsatz machen wollten. Die Prozente und Preisfaktoren hängen ab von der Anordnung der Sitze im Flugzeug. Hier eine Auflistung zu einigen üblichen Sitzvarianten:

1 Gang, 4 Sitze:	P X _ X P	Sitze: 50 %, Loadfactor: 43 %, Preisfaktor: 2,0
1 Gang, 6 Sitze:	P X P _ P X P	Sitze: 67 %, Loadfactor: 57 %, Preisfaktor: 1,5
2 Gänge, 8 Sitze:	P X _ P X X P _ X P	Sitze: 50 %, Loadfactor: 43 %, Preisfaktor: 2,0
2 Gänge, 10 Sitze:	P X P _ P X X P _ P X P	Sitze: 60 %, Loadfactor: 51 %, Preisfaktor: 1,7
2 Gänge, 12 Sitze:	P X P _ P X P X P X _ P X P	Sitze: 58 %, Loadfactor: 50 %, Preisfaktor: 1,7

IATA ermittelte aus diesen Werten mit der Häufigkeit der jeweiligen Sitzkonfigurationen einen Durchschnittswert für die verfügbaren Sitze der verschiedenen Kabinenkonfigurationen von 62 % (<https://perma.cc/4A7U-V97W>), was einen durchschnittlichen Loadfactor von 53 % erwarten ließe. Selbst wenn die verfügbaren Sitze alle besetzt würden, dann könnten von 122 Luftverkehrsgesellschaften nur 4 davon einen Gewinn erzielen, erklärt Brian Pearce. Weiterhin ist ungünstig, dass sich durch teurere Tickets die Nachfrage verringern würde.

Wie die Luftfahrtindustrie zur Unterschreitung des Mindestabstands argumentiert

Es besteht ein Widerspruch, der irgendwie argumentativ aufgelöst werden muss. Einerseits kann der Mindestabstand aus wirtschaftlichen Gründen nicht eingehalten werden, andererseits sind die epidemiologischen Vorgaben zum Mindestabstand von 1,5 m klar formuliert und unstrittig. Die argumentative Lösung:

- 1.) Der Aufenthalt an Bord eines Flugzeugs ist sicherer als an sonstigen Orten im öffentlichen Raum (<https://perma.cc/K5Q4-NV8Z>).
- 2.) Konsequente Umsetzung der Hygienemaßnahmen (<https://perma.cc/K5Q4-NV8Z>).
- 3.) Andere Beförderungssysteme halten den Mindestabstand auch nicht ein.

Im Punkt 1 geht es u. a. um das Belüftungssystem in Passagierflugzeugen. Dazu macht Airbus Angaben. Zitiert wird auch Airbus Executive Vice President Engineering, Jean-Brice Dumont (<https://perma.cc/8HW8-86CY>):

Argument 1: Die Luft in der Kabine wird alle zwei bis drei Minuten erneuert.

Argument 2: Die Luft in der Kabine hat die Qualität wie in einem Krankenhaus, weil sie durch Hochleistungsfilter geleitet wird.

Argument 3: Die Luft in der Kabine strömt von der Decke herab und wird am Boden wieder abgesaugt. So gibt es weder seitwärts noch in Längsrichtung einen horizontalen Luftstrom.

Dies sind die drei Argumente, die von der Luftfahrtindustrie in dieser oder ähnlicher Form mantraartig vorgetragen werden. "Krankenhaus" kann noch durch "Operationssaal" gesteigert werden (<https://perma.cc/CCY3-8KT4>). Hochleistungsfilter sind die Schwebstofffilter oder HEPA-Filter. Ergänzt wird noch so oder ähnlich:

Argument 4: David Powell, IATA: "Niemand hat gezeigt, dass ein leerer mittlerer Sitz die Wahrscheinlichkeit verringert, COVID-19 von einer Person zur anderen zu übertragen." (<https://perma.cc/J5ZX-4JRP>)

Argument 5: Die Passagiere sehen nach vorn und haben wenig Gesichtskontakt (<https://perma.cc/S2P6-S363>).

Argument 6: Die Sitze bieten eine Barriere für die Übertragung nach vorne und nach hinten in der Kabine. (<https://perma.cc/S2P6-S363>)

Argument 7: Es ist europaweit bislang kein einziger Fall bekannt geworden, bei dem eine Ansteckung mit Covid-19 an Bord eines Flugzeugs erfolgt ist. (<https://perma.cc/CKA2-E7VF>)

Argument 8: Das Risiko, sich während einer Flugreise mit dem Virus anzustecken, ist extrem gering. (<https://perma.cc/CKA2-E7VF>)

Zugegeben wird aber auch:

- "Das einzige tatsächliche Gesundheitsrisiko besteht in Kontakt von Person zu Person. Durch Niesen oder Husten wird die Infektion über kurze Strecken durch Tröpfchen übertragen." "Kein Belüftungssystem ist in der Lage, diese Art der Übertragung zu verhindern." (Airbus: <https://perma.cc/2R93-GAAC>)
- "Eine Infektion durch Anhusten oder direkten Kontakt ist allerdings auch im Flugzeug möglich – gerade wenn Menschen eng beieinander sitzen." (Airbus über DPA: <https://perma.cc/8HW8-86CY>)
- "Das Problem ist die direkte Tröpfchenausbreitung von einem Passagier zum anderen." (David Powell, Medizinischer Berater, IATA: <https://perma.cc/J5ZX-4JRP>)

In den folgenden Abschnitten wird auf die hier aufgeführten Argumente der Luftfahrtindustrie im Einzelnen eingegangen.

Warum die Luft in der Kabine trotz der Belüftung Viren enthalten kann

Die Flugzeugkabine muss belüftet werden. Dazu schreiben die Zulassungsvorschriften (CS 25.831) umgerechnet mindestens einen Volumenstrom von 5 l/s pro Passagier vor. Bei 200 Passagieren wäre das ein Volumenstrom, Q von 1 m³/s an frischer Luft. Pro Stunde würden dann 3600 m³ frische Luft benötigt. Ein Flugzeug für 200 Passagiere hat ein Volumen von etwa 400 m³. Das bedeutet, dass die Luft in der Kabine 9 mal in der Stunde

ausgewechselt wird. Der Wert 9 l/h wird Luftwechselrate genannt und ergibt mit $60 \text{ min} / 9 = 6,7 \text{ min}$ alle 6 bis 7 Minuten einen Luftwechsel. Aus Gründen des Komforts wird bei neuen Flugzeugmodellen ein höherer Volumenstrom gewählt (8 l/s), was zu einem Luftwechsel alle 4 Minuten führt. Die Luft wird dabei natürlich nicht vollständig erneuert (wie in einer Luftpumpe, wo der Kolben für die vollständige Entleerung sorgt). Es tritt eine Vermischung auf, die 4 Minuten sind also nur ein theoretischer Wert. Bürogebäude werden ebenfalls mit 5 l/s oder sogar 10 l/s belüftet. Die Luftwechselrate ist im Flugzeug hoch, jedoch nicht, weil die Belüftung pro Person außergewöhnlich ist, sondern daher, dass das Kabinenvolumen pro Passagier mit ca. 2 m^3 so klein ist im Vergleich zu Wohngebäuden oder gar Kirchen. Die wichtige Größe ist und bleibt der Volumenstrom pro Passagier.

Soviel zu Argument 1.

Etwa die Hälfte der Luft, die in die Kabine kommt, ist rezirkulierte Luft. Das ist Luft, die der Kabine entnommen wurde und durch Schwebstofffilter (HEPA = High Efficiency Particulate Air Filter) geleitet wurde. HEPA-Filter sind in der Lage Viren zu filtern und werden auch in Operationssälen eingesetzt. Statt der Rezirkulationsluft könnte genauso auch wirklich frische Luft von draußen genommen werden. Die hochgereinigte Luft tritt an die Stelle der Außenluft und hilft Energie zu sparen, weil die Rezirkulationsluft nicht mehr verdichtet werden muss, wie die Außenluft, die in Reiseflughöhe nur mit geringem Druck zur Verfügung steht.

Die Luftfahrtindustrie argumentiert verkürzt: Flugzeuge und Operationssäle haben HEPA-Filter, daher ist die Luftqualität gleich gut. Entgegnung: a) Wenn HEPA-Filter Viren filtern sollen (Rezirkulation), dann müssen die Viren vorher in der Kabinenluft vorhanden gewesen sein. b) Umkehrschluss: Die Qualität der Luft im Operationssaal ist vergleichbar mit der im Flugzeug, wenn 200 Personen um den OP-Tisch herum stehen und zusehen.

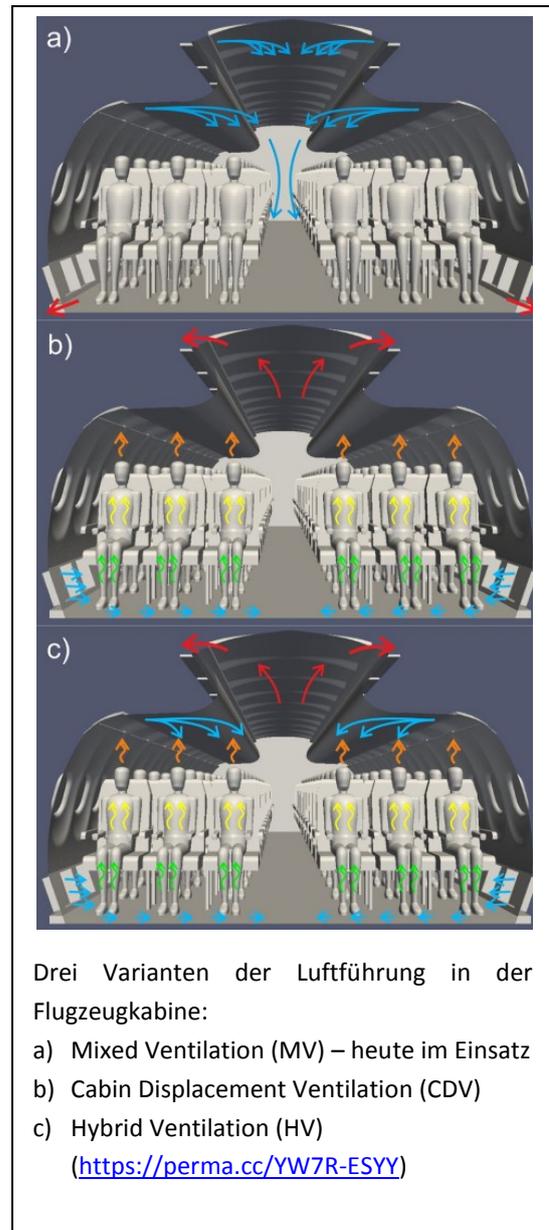
Die Kabinenluft ist belastet (kontaminiert), denn:

- Viele Passagiere sitzen auf engstem Raum und können sich gegenseitig anstecken, bevor die Luft durch die Klimaanlage ausgewechselt wurde. Ein Beleg dafür ist a) die weiter unten gezeigte Simulation, einschließlich der einfachen Vorüberlegungen und b) die Auswertung medizinischer Studien. Das ist das Thema hier und wird in den nächsten Abschnitten weiter diskutiert.
- Die Luft wird der Kabine über die Triebwerke zugeführt. Dort tritt in geringen Mengen Triebwerksöl aus, was die Lager der Triebwellen schmiert, weil die Wellendichtungen nicht vollständig abdichten, verschlissen sind oder fehlerhaft sind. Das ist noch ein anders Thema (<http://CabinAir.ProfScholz.de>).

Soviel zu Argument 2.

Wie die Luft in der Kabine geführt wird

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Luftführung in der Flugzeugkabine. Mitarbeiter vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und von Airbus haben diese Möglichkeiten in einer Veröffentlichung dargestellt und bewertet (<https://perma.cc/YW7R-ESYY>). Drei Versionen werden dort unterschieden (siehe Bild). Bei Flugzeugen von Airbus wird a) Mixed Ventilation (MV) eingesetzt. Die Strömung tritt über und unter den Gepäckfächern aus, wird im Gang nach unten geführt und läuft dann seitlich über dem Kabinenboden zur Wand, wo die Luft in den Frachtraum geleitet wird. Es ist davon auszugehen, dass die Strömung im Bereich des Fensterplatzes langsam nach oben gerichtet ist und sich so zwei Luftzirkulation einstellen, die alle Sitzplätze belüftet. Neue Möglichkeiten der Luftführung sind: b) Cabin Displacement Ventilation (CDV) und c) Hybrid Ventilation (HV). Bei beiden Varianten wird die Strömungsrichtung umgekehrt. Die Luft steigt im Gang auf. Reines CDV sorgt für geringe Luftgeschwindigkeiten, Turbulenzen und eine hohe Effizienz der Wärmeabfuhr. Beim Hybridsystem wird 30 % des Gesamtvolumenstroms durch die seitlichen Auslässe unterhalb der Gepäckfächer bereitgestellt. HV ermöglicht noch komfortablere



Strömungsgeschwindigkeiten und gute Effizienz der Wärmeabfuhr, verbessert die Temperaturschichtung und die Kühl- sowie Heizraten an den Kabinenoberflächen. Chen hat die Systeme hinsichtlich der Virenbelastung untersucht (<https://perma.cc/7UDQ-KHWH>). Die Körperwärme der Passagiere lässt den Luftstrom aufsteigen. Mit diesem Strom zu gehen, anstatt dagegen zu kämpfen, verringerte die Turbulenzen und sorgt dafür, dass die Viren schneller abgeführt werden. Chen hat ermittelt, dass solche Belüftungssysteme die Ansteckungsrate halbieren könnten. Aus Sicht des Flugzeugsystemingenieurs ist klar: Die neuen Varianten würden eine größere Gesamtlänge des lichen Rohrleitungssystems erfordern. Damit würde das System schwerer und teurer werden.

Soviel zum Argument 3.

Warum die Ansteckungswahrscheinlichkeit durch eine Verringerung des Abstandes nach dem "Volumenmodell" stark zunimmt

Je größer der Abstand ist zwischen zwei Personen, desto unwahrscheinlicher ist es, dass es zu einer Ansteckung mit dem Corona-Virus kommt. Die Vorgaben für einen Mindestabstand sind nicht einheitlich. Die Weltgesundheitsorganisation (**WHO**) gibt den Rat, einen Abstand von mindestens 1 m zu anderen Personen zu halten (<https://perma.cc/Z5DV-68GA>). Oft werden 1,5 m genannt (<https://perma.cc/UC6T-GWWC>), aber auch 2,0 m. Dr. David Nabarro einer der Sonderbeauftragten für COVID-19 der WHO erklärt es so: "Die WHO und andere haben angegeben, dass der beste Abstand, um sich von Menschen fernzuhalten, wenn Sie das Einatmen eines Tropfens vermeiden möchten, 2 m beträgt. Das liegt daran, dass Sie 99 % der Zeit sicher sind, aber Sie können das Risiko selbst bei 1 m erheblich reduzieren, da 70 % der Tröpfchen innerhalb von 1 m bleiben." "Es ist eine Entscheidung, die auf der Grundlage persönlicher Umstände getroffen werden muss. Wenn Sie das Risiko einer Infektion wirklich verringern möchten, bleiben Sie mindestens 2 m entfernt." (<https://perma.cc/TJ2S-FVQX>)

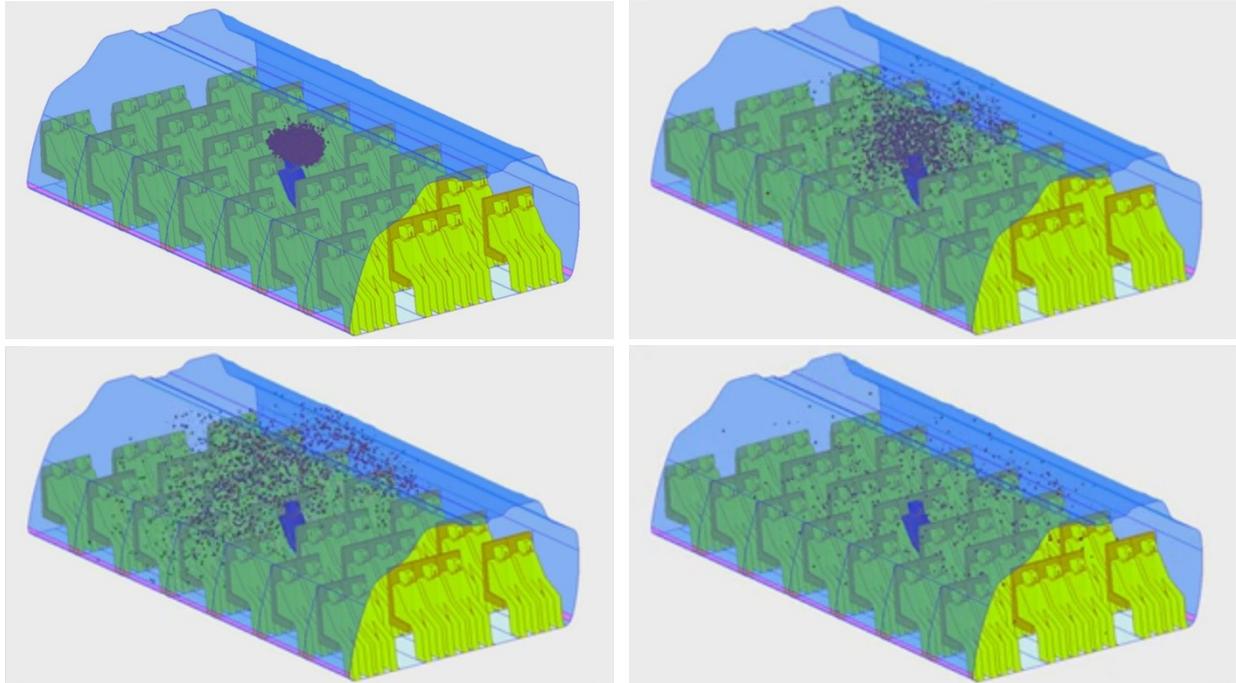
Besser quantifiziert werden kann der Einfluss des Abstandes mit einer einfachen Rechnung, die auf einem Modell basiert. Ich nenne das Modell "**Volumenmodell**". Wir nehmen dabei an, dass eine bestimmte Menge Tröpfchen, die alle mit Viren beladenen sind, sich bei einmaligem Niesen oder Husten in einem Volumen ausgehend vom Mund der Person ausbreiten. Dieses Volumen könnte z. B. ein Kegel sein mit einem bestimmten Öffnungswinkel, eine Kugel oder eine Halbkugel. Wir nehmen an, dass das Volumen gleichmäßig mit Tröpfchen gefüllt ist. Die Tröpfchen breiten sich zwar aus, es bleiben aber immer auch welche in der Nähe des Erkrankten zurück. Simulationen bestätigen, dass diese Annahme gerechtfertigt ist. Bei der Ausbreitung der Tröpfchenwolke trifft diese in einem bestimmten Abstand, d auf eine andere Person. In diesem Moment hat die Wolke ein bestimmtes Volumen. Je größer der Abstand ist, desto größer ist das Volumen und je geringer ist in diesem Moment die Dichte der Tröpfchen, ρ . Es entspricht ja schon der Intuition, dass es einen Unterschied macht, ob ich von jemandem aus kurzer Entfernung angehustet werde, oder ob ich am anderen Ende der Flugzeugkabine nur noch verdünnten Viren ausgesetzt bin, nachdem sich die Viren über die ganze Kabine verteilt haben. Es ist jetzt möglich, die Größe des Volumens und damit die jeweilige Dichte der Tröpfchen abhängig von verschiedenen Entfernungen d zueinander ins Verhältnis zu setzen. Unabhängig von der angenommenen Form des Volumens (Kegel, Kugel, ...) gilt immer $\rho_1/\rho_2 = (d_2/d_1)^3$. Wenn man den Abstand also von 1 m auf 2 m verdoppelt, dann verringert sich die Dichte aufgrund der Volumenwirkung ("Länge mal Höhe mal Breite") um den Faktor $2^3 = 2 * 2 * 2 = 8$.

Ein Flugzeugsitz hat etwa eine Breite von 0,5 m. Zwei Passagiere haben daher einen Abstand von 0,5 m von Nase zu Nase. Gegenüber der Abstandsempfehlung von 1,5 m ist das der Faktor 3 beim Abstand und ein Faktor bei der Dichte (und dem "Risiko") von $3^3 = 27$. Würde man den Mittelsitz frei lassen, dann würde sich ein Abstand Nase zu Nase von 1 m ergeben und damit beim Abstand ein Faktor 1,5, der hinsichtlich der Dichte einen Faktor von $1,5^3 = 3,375$ ergibt. Setzen wir die beiden Ergebnisse ins Verhältnis, so erhalten wir $27/3,375 = 8$. Würde der Mittelsitz frei bleiben, so würden sich die Verhältnisse um den Faktor 8 verbessern.

Genauer kann man die Verhältnisse der Virenausbreitung in einer **Strömungssimulation** sehen (siehe Bild). Prof. Qingyan Chen, Purdue University, hat die Ausbreitung von Tröpfchen durch Husten in einer Flugzeugkabine simuliert und die Ergebnisse veröffentlicht (<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2012.00773.x>) – siehe Bild. Nachdem ein Erkrankter gehustet hat, verteilen sich die Tröpfchen in der Kabine. Durch den Luftausstoß beim Niesen oder Husten werden die Tröpfchen zunächst eher nach vorn geschleudert. Wenn jemand eine Maske aufgesetzt hat, dann strömen die Viren durch den Luftdruck aus der Lunge eher zwischen Maske und Gesicht zur Seite und nach oben bzw. unten aus als durch das Filtermaterial hindurch (<https://perma.cc/KS6R-XSZ4>). Es breitet sich eine konzentrierte Tröpfchenwolke aus, so wie im Volumenmodell angenommen. Davon werden zunächst (und mit hoher Tröpfchendichte) die unmittelbaren Sitznachbarn getroffen. Wenn weiter entfernte Nachbarn erreicht werden, dann ist die Tröpfchendichte schon geringer. Die Flugzeugklimaanlage erzeugt eine zweidimensionale Strömung in einem Rumpfqerschnitt. Wie die Luftführung gestaltet ist, hängt vom jeweiligen Flugzeugmuster ab. Auf jeden Fall verteilen sich die Tröpfchen mit der Kabinenströmung zunächst stärker innerhalb einer Sitzreihe. Anschließend verteilen sich die Tröpfchen durch Turbulenz und Diffusion über die Sitzreihen auch nach vorn und hinten. Zeitgleich werden die Tröpfchen durch die Belüftung der Klimaanlage ausgewaschen. Nach 4 Minuten sind nur noch 12 % der Tröpfchen in der Kabine verblieben. Damit ist die Gefahr aber nicht vorbei, weil die gleiche oder eine andere infizierte Person erneut gehustet. Jetzt könnte die Strömungssimulation erneut ablaufen, nur mit dem Unterschied, dass beim Start der sich jetzt anschließenden Simulation die Kabine bereits mit einer gleichmäßig verteilten Virendichte belastet ist. Der neue Huster kommt hinzu.

Nach vielen solcher Zyklen stellt sich eine stationäre Virendichte ρ ein. Die Virendichte ist abhängig von der Stärke der Virenquelle S . Die Virenquelle ist die erkrankte Person, die pro Zeiteinheit eine bestimmte Anzahl an Viren aussendet. Weiterhin besteht eine Abhängigkeit vom Volumenstrom der Belüftung der Kabine, Q . Im stationären Zustand ist $\rho = S/Q$. Die Stärke der Virenquelle ist kaum bekannt. Wichtig ist aber die Erkenntnis, dass zwei Erkrankte die doppelte Virendichte in der Kabine erzeugen wie ein Erkrankter allein. Dieses

"Stationäre Modell" geht von der vereinfachten Vorstellung aus, dass die Viren kontinuierlich von einer Quelle ausgesandt werden und sich sofort gleichmäßig in der Flugzeugkabine verteilen.



CFD Simulation (FLUENT) der Verteilung von Partikeln eines hustenden Passagiers in der Kabine einer Boeing 767 in einem Zeitraum von etwa 4 Minuten. (Qingyan Chen, Purdue University, School of Mechanical Engineering, <https://engineering.purdue.edu/~yanchen/infection.html>)

Es gibt weitere Erkenntnisse, die in der Strömungssimulation nicht betrachtet wurden. Wenn die Luftdüsen geöffnet sind, verstärkt sich die Turbulenz und die Verbreitung der Viren wird beschleunigt. Daher sollen die Luftdüsen geschlossen werden. Die Verbreitung in Längsrichtung wird ebenfalls verstärkt durch Personen, die sich im Gang bewegen. Daher sollen sich Passagiere möglichst still im Sitz verhalten. Auch die Flugbegleiter sollen sich möglichst wenig bewegen. Auch wenn solche Hinweise durchaus richtig sind, so kann die Ausbreitung der mit Viren beladenen Tröpfchen dadurch nicht verhindert werden, wie die Simulation zeigt.

Weiterhin gibt es noch ein Modell, das "**Federmodell**" genannt werden könnte. Die Vorstellung besteht darin, dass die Viren horizontal herausgeschleudert werden und sich wie die Federn eines Vogels verhalten. Die Horizontalgeschwindigkeit wird schnell abgebaut und die Feder fällt zu Boden. Wenn sich die Feder in abwärtsgerichteter Luft befindet – wie im Gang einer Flugzeugkabine, dann fällt sie schneller zum Boden. Dies ist das Modell, welches von der Luftfahrtindustrie bemüht wird.

Was ist vor diesem Hintergrund von der Erklärung von Dr. Nabarro der WHO (<https://perma.cc/TJ2S-FVQX>) zu halten: "Sie können das Risiko selbst bei 1 m erheblich

reduzieren, da 70 % der Tröpfchen innerhalb von 1 m bleiben."? Das ist so natürlich nicht richtig. Es wird eine statische Betrachtung gemacht. Die Wirklichkeit ist aber dynamisch, also zeitabhängig. In einem geschlossenen Raum bleiben die Tröpfchen und Viren nicht in einem bestimmten (kleinen) Volumen.

Das von der WHO angesprochene "Risiko", könnte man eher mit der Dichte ρ in Verbindung bringen. Wenn eine Person durch eine Wolke im Abstand von 1 m getroffen wird, dann ist die Dichte (in willkürlichen Einheiten) $100 - 70 = 30$. Wenn die Wolke jemanden jedoch erst in einer Entfernung von 2 m trifft, dann ist die Dichte $100 - 99 = 1$. Die Entfernung hat nach WHO also einen großen Einfluss. Der Faktor beträgt dann 30. Das einfache Volumenmodell unterschätzt die Bedeutung des Abstandes gegenüber der WHO-Aussage und macht im Vergleich keine übertriebene Aussage.

Wir machen uns vereinfachte Modelle, um kompliziertere Sachverhalte zu verstehen. Einige dieser einfachen Modelle liefern bei bestimmten Bedingungen gute Ergebnisse, andere Modelle weniger gute Ergebnisse. Das "Volumenmodell" kann kurz nach dem Husten oder Niesen eingesetzt werden und gibt die Bedingungen der Sitznachbarn wider. Das "Stationäre Modell" gilt eher für kleine schwebende Tröpfchen, nachdem sich diese schon verteilt haben und kann für eine Kabinengesamtanalyse genutzt werden. Das "Federmodell" gilt für große Tröpfchen.

Boeing startete am 14.05.2020 die "Confident Travel Initiative" (<https://perma.cc/3PL3-FK7R>). Leiter ist Michael P. Delaney, Vice President, Digital Transformation (<https://perma.cc/BLE6-RPSH>). In diesem Rahmen will Boeing unter anderem auch die Kabinenströmung simulieren (<https://perma.cc/78T6-LQ22>), ist damit aber spät dran. Boeing beabsichtigt, die potenzielle Ausbreitung von Coronaviren in Flugzeugen zu modellieren, um das Ansteckungsrisiko an Bord zu ergründen und pandemiemüden Passagieren zu versichern, dass Flugreisen sicher sind. "Wir verwenden Wissenschaft im Gegensatz zu Anekdoten ... [und] emotional motivierten Reaktionen", sagt Delaney (<https://perma.cc/78T6-LQ22>). Aber Achtung: Man kann in der Wissenschaft eine Arbeitshypothese haben, es darf aber auf keinen Fall das Ergebnis vorweggenommen werden. Boeing legt das Ergebnis gleich in den Titel des Projektes "Initiative des zuversichtlichen Reisens". Es handelt sich wohl eher um eine Werbekampagne. Die ist auch extrem wichtig für die Luftfahrtindustrie, denn alle Lobbyarbeit ist vergebens, wenn der Passagier nicht einsteigen will. Die große Bedeutung der Werbekampagne wird durch die gute finanzielle Ausstattung des Projektes deutlich. Delaney erklärt, Boeings leitende Angestellte hätten ihm gesagt: "Was immer Sie brauchen, fragen Sie danach. Sie werden es bekommen."

Soviel zu den Argumenten 4, 5 und 6.

Welche Bedeutung die Masken haben

Die EASA schreibt in ihrem "Protokoll" (<https://perma.cc/MR7X-Y73R>): "Das Tragen von medizinischen Gesichtsmasken (im Folgenden 'Gesichtsmasken') sollte allen Passagieren empfohlen werden. ... Die Verwendung von Gesichtsmasken sollte nur als ergänzende Maßnahme betrachtet werden und nicht als Ersatz für etablierte vorbeugende Maßnahmen wie körperlicher Abstand, ..." Dazu definiert die EASA: "Eine medizinische Gesichtsmaske (auch als chirurgische Maske ... bezeichnet) ist ein medizinisches Gerät, das Mund, Nase und Kinn abdeckt, also eine Barriere, die den Übergang eines Infektionserregers zwischen dem Krankenhauspersonal und dem Patienten begrenzt. Sie werden verwendet, ... zur Reduzierung der Ausbreitung großer Atemtröpfchen von der Person, die die Gesichtsmaske trägt. Medizinische Masken entsprechen den definierten Anforderungen in der Europäischen Norm EN 14683 (Medizinische Gesichtsmasken - Anforderungen und Prüfverfahren). Es handelt sich also um einen Mund-Nasen-Schutz (MNS) als Fremdschutz, der jedoch nur bedingt hilft, weil die Maske nicht dicht am Gesicht anliegt.

Ein wirksamer Fremd- und Eigenschutz wird nur durch Filtrierende Halbmasken (FFP1, FFP2 und FFP3) nach EN 149 (<https://perma.cc/F8SG-YRBN>) ohne Ausatemventil erreicht. Dabei sollte mindestens eine FFP2-Maske (Schutzwirkung mindestens 95 %) zum Einsatz kommen. Möglich wäre auch eine Atemschutzmaske (z. B. Dräger-X-plore-3300, Dräger X-plore 6300) als Halb- oder Vollmaske mit entsprechendem Partikelfilter (Kennzeichnung P) zu verwenden. Der Partikelfilter kann Staub, Bakterien und Viren fernhalten. Es gibt die Filterklassen 1, 2, und 3. Möglich wäre auch der Einsatz eines Kombinationsfilters gegen organische, anorganische Gase und Dämpfe ("Fume Event") sowie gegen Partikel (Viren) (<https://perma.cc/AM7C-ALCE>). Wichtig ist bei allen Masken der dichte Sitz am Kopf.

Es gibt hier eine Reihe von Widersprüchen. Die EASA empfiehlt Medizinische Gesichtsmasken nach EN 14683 also einen Mund-Nasen-Schutz (MNS), weil bei dem geringen Sitzabstand unmöglich argumentiert werden kann, dass eine einfache Mund-Nasen-Bedeckung (MNB) also eine Alltagsmaske ausreichend wäre. Nun ist aber auch die MNS nicht ausreichend. Es wäre eine FFP2-Maske erforderlich. Weiterhin steht die Empfehlung MNS im Widerspruch mit der Praxis, denn MNS sind weitgehend ausverkauft und können von Passagieren i. d. R. wohl nicht beschafft werden. Daher hat das Robert Koch Institut (RKI) bekannt gegeben: "Mehrlagiger medizinischer (chirurgischer) Mund-Nasen-Schutz (MNS) und medizinische Atemschutzmasken, z. B. FFP-Masken, müssen medizinischem und pflegerischem Personal vorbehalten bleiben. Der Schutz des Fachpersonals ist von gesamtgesellschaftlich großem Interesse." (<https://perma.cc/V87Y-H8NX>) Die Verwendung von hochwertigen Masken im Bereich der Luftfahrt wäre also unsozial.

Die Fluggesellschaften sind frei, wie sie die Empfehlungen der EASA umsetzen wollen. Die Lufthansa schreibt: "Please wear a face mask [?] during the entire flight to provide additional protection to yourself and others." (<https://perma.cc/HCT4-ZSFM>) bzw. "Bitte tragen Sie zum Schutz aller während des gesamten Fluges einen Mund-Nasen-Schutz" (<https://perma.cc/AE5U-3NK7>). Damit wäre dann gem. Definition eine Maske nach EN 14683 gemeint. Das wird aber (möglicherweise absichtlich) nicht weiter erklärt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass auch in Zukunft Passagiere mit Mund-Nasen-Bedeckung (MNB), sogenannten Alltagsmasken das Flugzeug betreten werden. Die Lufthansa hält sich so formal an die Empfehlung der EASA und schiebt das Problem der nicht eingehaltenen Vorgabe auf die Passagiere ab.

Wenn die Masken beim Essen abgenommen werden, besteht kein Schutz und die Argumentation zur angeblich sicheren Unterschreitung des Abstandes von 1,5 m verliert die letzte Rechtfertigung. David Powell, medizinischer Berater der IATA beantwortete eine Frage zum Tragen der Maske beim Essen im Flugzeug so: "Idealerweise sollten zwei benachbarte Personen die Maske nicht zur gleichen Zeit abnehmen." (<https://perma.cc/J5ZX-4JRP>) Dies erscheint als hilfloser Erklärungsversuch der IATA, der in der Praxis nicht umgesetzt werden kann.

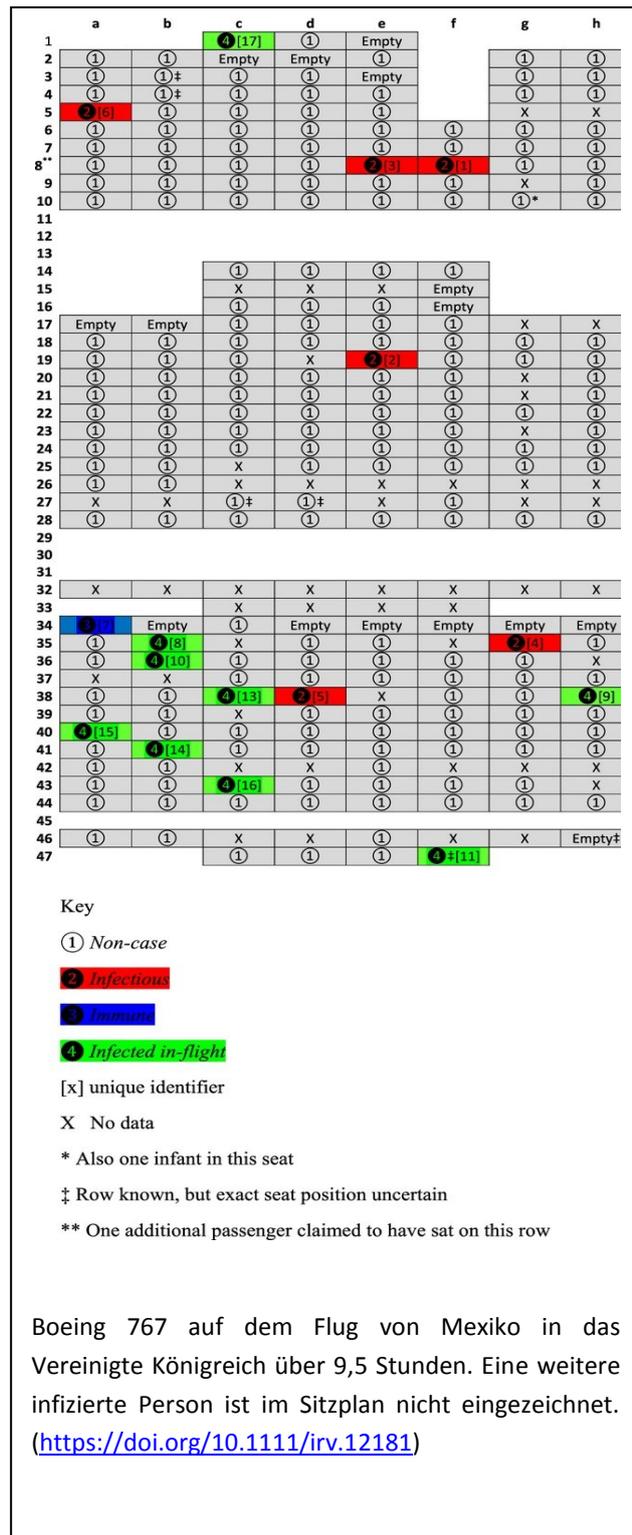
Fazit: Erforderlich wären bei dem geringen Abstand im Flugzeug FFP2-Masken. Die EASA empfiehlt jedoch nur Medizinische Gesichtsmasken (EN 14683), den MNS. Die Luftverkehrsgesellschaften sind frei, wie sie die Empfehlungen umsetzen wollen. Sowohl bei den Angaben im Internet als auch bei der Anwendung in der Praxis wird schon jetzt deutlich, dass selbst die in sich schon unzureichenden EASA-Empfehlungen weiter verwässert werden. Am Ende wird der Passagier als Schuldiger ausgemacht, wenn der von den Airlines geforderte MNS (EN 14683) nicht angeschafft und benutzt wird.

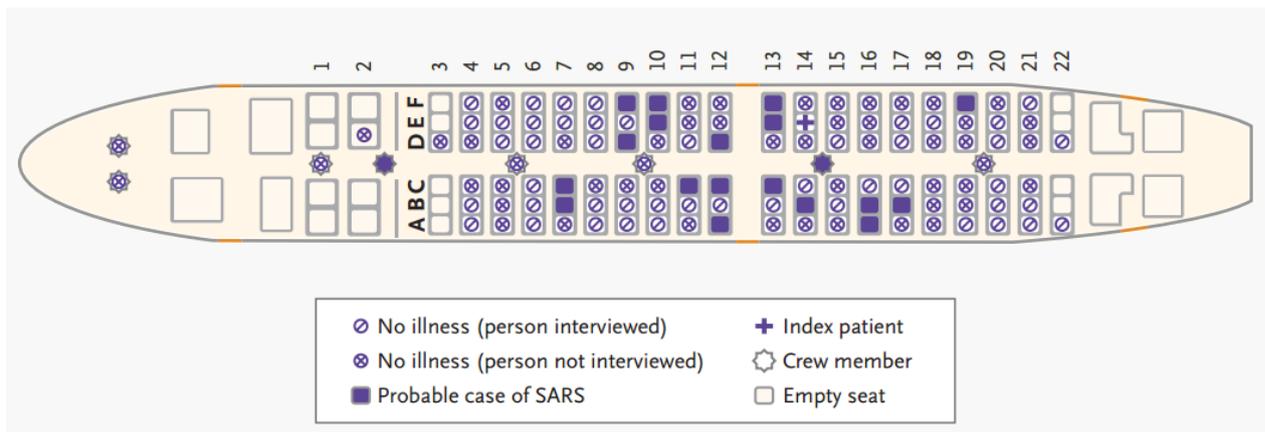
Welche Erkenntnisse es über Ansteckungen im Flugzeug gibt

Die WHO hat eine Empfehlung ausgesprochen, wie vorzugehen ist, wenn eine Person mit Influenza A(H1N1) an Bord festgestellt wurde. Die WHO sieht in diesem Fall jede Person als gefährdet an, die in der gleichen Reihe wie die kranke Person saß, 2 Reihen weiter vorn oder zwei Reihen weiter hinten. (<https://perma.cc/6KBW-5KCL>). Von einer infizierten Person werden danach 5 Sitzreihen betroffen.

Young et al. zeigt in einer Studie (<https://doi.org/10.1111/irv.12181>), dass es keine Signifikanz für die 5 Sitzreihen der WHO gibt. Ausgewertet wurde ein Flug am 27.04.2009 von Mexiko in das Vereinigte Königreich mit einer Boeing 767 über 9,5 Stunden. Identifiziert werden konnte eine Gruppe von 238 Personen an Bord des Fluges (86 % der Passagiere). Von 6 erkrankten Personen wurden 10 Personen der Gruppe mit dem Influenza A(H1N1) Virus infiziert. Aus den Zahlen kann eine Ansteckungsrate, a errechnet werden mit $a = 0,00074$ 1/h, also pro Flugstunde und pro erkrankter Person anwesend im Flugzeug. Die infizierten Personen saßen über das ganze Flugzeug verteilt. Ein Zusammenhang zwischen dem Ort der erkrankten und dem Ort der infizierten Personen ist nicht zu erkennen (siehe Bild).

Olsen et al. beschreibt einen Flug von Hong Kong nach Peking am 15.03.2003 über 3 Stunden mit einer Boeing 737-300 und 120 Personen an Bord (<https://doi.org/10.1056/NEJMoa031349>). Eine Person die an SARS-CoV erkrankt war, hat auf dem Flug 20 Personen sicher angesteckt ($a = 0,056$ 1/h). Zwei angesteckte Personen saßen 7 Sitzreihen vor der erkrankten Person, eine angesteckte Person saß 5 Sitzreihen hinter der erkrankten Person (siehe Bild).





Boeing 737-300 auf dem Flug von Hong Kong nach Peking über 3 Stunden. "Index patient" ist die erkrankte Person auf Sitz 14E (<https://doi.org/10.1056/NEJMoa031349>).

Yan et al. (<https://doi.org/10.1101/2020.03.28.20040097>) schreibt über einen Flug von Singapur nach Hangzhou am 23.01.2020. Eine erkrankte Person mit COVID-19 hat auf dem Flug über 5 Stunden mit 325 Passagieren und Besatzungsmitgliedern 12 Personen angesteckt ($\alpha = 0,0074$ 1/h).

Eldin et al. (<https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101643>) berichtet über eine Ansteckung mit SARS-CoV-2 auf einem Flug mit Air France (AF775) von Paris nach Yaoundé mit Stopp in Bangui, (Zentralafrikanischen Republik) am 24.02.2020. Es konnte hier nur herausgearbeitet werden, dass auf diesem Flug eine Person eine andere Person mit SARS-CoV-2 angesteckt hat. Weitere mögliche Ansteckungen sind unbekannt.

Es geht an dieser Stelle nicht darum, eine vollständige Recherche zum Thema vorzulegen. Es wurden Fälle von COVID-19-Ansteckung in Flugzeugen gefunden. Über Ansteckung mit anderen Viren wird in der Literatur ebenfalls berichtet. Das widerlegt die Sichtweise der Luftfahrtindustrie, die den Passagieren einreden will, dass so etwas gar nicht möglich ist. Wichtig sind dabei diese Beobachtungen: a) Das **Argument 7** "Es ist europaweit bislang kein einziger Fall bekannt geworden ..." vom BDL ist selektiv und verschleiert die Tatsachen. Es mag tatsächlich so sein, dass in der internen BDL-Recherche innerhalb Europas kein Flug mit COVID-19-Ansteckung gefunden wurde. Dann hat man (das geht aus der Wortwahl und dieser kurzen Recherche hervor), aber alle anderen Fälle unter den Tisch fallen lassen. Von ähnlich niedrigem wissenschaftlichem Niveau ist die Recherche der IATA (<https://perma.cc/4MMS-KX5J>). b) Zu beachten ist, dass kurz nach dem Auftreten von COVID-19 der Flugverkehr weitgehend eingestellt wurde und jetzt erst langsam wieder anläuft. Aufgrund der Umstände und auch wegen der Verzögerungen im wissenschaftlichen Veröffentlichungsprozess ist es äußerst unwahrscheinlich, zu diesem Zeitpunkt wissenschaftliche Beiträge zum Thema zu finden. Erst die Zukunft nach dem Hochfahren der Fliegerei wird die Tatsachen sichtbar machen.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang noch ein gewisser Widerspruch. In den Empfehlungen der EASA und der ICAO wird unterschieden zwischen a) dem Abstand zwischen Passagieren (von denen ein Passagier oder mehrere Passagiere mit einer gewissen (geringen) Wahrscheinlichkeit erkrankt sein können und b) dem Abstand zwischen einer erwiesenen erkrankten oder symptomatischen Person an Bord und anderen Passagieren. Im Fall a) ist kein Mindestabstand erforderlich. Im Fall b) wird ein Abstand dann doch als erforderlich angesehen (trotz einer Klimaanlage an Bord, die die Viren-Problematik angeblich im Griff hat). Die Empfehlungen der ICAO lautet: "Trennen Sie die kranke Person von den anderen Passagieren durch einen Abstand von mindestens 1 Meter (in der Regel etwa zwei freie Plätze in alle Richtungen, je nach Kabinenauslegung)" (<https://perma.cc/KS8L-FE9S>). Die Empfehlung der EASA lautet ähnlich: "Es sollte ein Isolationsbereich definiert werden, in dem nach Möglichkeit zwei (2) Sitzreihen frei bleiben in jeder Richtung um den verdächtigen Passagier herum" (<https://perma.cc/7NHJ-VHAX>).

Wie immer sind solche Betrachtung am Ende eine Frage der Wahrscheinlichkeit und der finanziellen Umstände. Wenn der Sitznachbar nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit krank ist und die Flugesellschaften bei anderer Regelung des Mindestabstandes in finanzielle Schwierigkeiten kommen würden, dann kann der gebotene Mindestabstand unterschritten werden. So auch Alexandre de Juniac, IATA: "The point is to see what the [financial] damage is and that it [the free middle seat] does not bring an improvement in safety" (<https://perma.cc/J5ZX-4JRP>).

Soviel zu Argument 7.

Fliegen ist sicher! Warum das in Zeiten der Corona-Pandemie ganzheitlich nicht gilt

Wenn jemand sagt: "Fliegen ist auch in Corona-Zeiten sicher", dann hat diese Aussage das Niveau von "Die Renten sind sicher". Es gibt keine veröffentlichten Berechnungen oder Abschätzungen zu den Gesundheitsgefahren durch SARS-CoV-2 beim Fliegen. Weiter unten wird jedoch ein Versuch einer solchen Abschätzungen der Gesundheitsgefahren gemacht.

Fliegen während der Pandemie kann zu einer zweiten Ansteckungswelle führen (<https://perma.cc/4VBE-Q6AJ>) und die Ansteckungen würden sich dabei auch noch schnell über die ganze Welt verbreitet (<https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.03.026>), wie zu Beginn der Pandemie. Die globale Dimension mag dem einzelnen Reisenden egal sein. Der Reisende gefährdet sich aber auch selbst. Schauen wir erst einmal, warum das Fliegen an sich sicher ist und wie die Berechnungen zu so einer Aussage ablaufen. Daraus kann dann abgeleitet werden, wie bei einer entsprechenden Bewertung zu COVID-19 beim Fliegen vorzugehen wäre.

Man kann sagen "Fliegen ist sicher", weil es für diese Aussage eine Grundlage gibt. Sicherheit haben wir dann, wenn das tatsächliche Risiko kleiner ist als das Risiko, was wir bereit sind einzugehen. Das Risiko ergibt sich aus einer Gegenüberstellung der zu erwartenden Effekte (Tod, Verletzung, ...) und der jeweiligen Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieser Effekte. Weniger dramatische Effekte dürfen dabei mit höherer Wahrscheinlichkeit eintreten. Eine solche (allgemein anerkannte) Gegenüberstellung von Effekten aufgrund von technischem(!) Versagen und der Eintrittswahrscheinlichkeit ist in den Zulassungsvorschriften für Flugzeuge enthalten. Deren Überprüfung ist Teil der Flugzeugzulassung. Danach darf ein Flugzeugsystem aus technischen Gründen nicht häufiger ausfallen als einmal in einer Milliarde Flugstunden. Es wird für die Rechnung angenommen, dass es 100 Flugzeugsysteme an Bord gibt (was für die Zulassung unbedeutend ist). Es muss also aufgrund der Flugzeugauslegung damit gerechnet werden, dass Flugzeuge aus technischen Gründen alle 10 Millionen Flugstunden abstürzen. Wir haben ungefähr 25000 größere Passagierflugzeuge auf der Welt, die etwa 30 % des Tages in der Luft sind. Wenn diese Flugzeuge ein Jahr lang fliegen und dabei zwei Flugzeuge aus technischen Gründen abstürzen würden, dann kämen wir auf 33 Millionen Flugstunden pro Absturz. In diesem Szenario wäre die Passagierluftfahrt immer noch um den Faktor 3 besser als gefordert. Theorie und Praxis passen hier zusammen. Siehe dazu: <http://handbuch.ProfScholz.de>, Abschnitt 1.5.

Wie sieht es analog mit dem eigenen Risiko aus durch einen Flug an COVID-19 zu erkranken und daran zu sterben. Die verschiedenen "Effekte" (Krankheit bzw. Tod) müssten einzeln betrachtet werden. Der Tod setzt die Erkrankung voraus und ist mit ihr über die Letalität verknüpft. Wir beginnen mit den medizinischen Grundlagen.

Wie COVID-19 Gefahren beim Fliegen abgeschätzt und verglichen werden können

Es bedarf einer bestimmten Mindestanzahl an Viren, die eingeatmet wurden, um sich anzustecken. Dies ist die sogenannte Schwellendosis, n_s . "Beim Influenzavirus scheinen mehrere hundert Kopien des Virus erforderlich zu sein, wobei die Schwellendosis starken individuellen Schwankungen unterliegt." "Auch für das Coronavirus ist es wahrscheinlich, dass es eine individuelle Schwellendosis gibt, genaue Daten hierzu fehlen jedoch bisher. Ferner gibt es Daten, die einen Zusammenhang zwischen der Viruslast und der Schwere der Erkrankung sehen" (<https://perma.cc/KS6R-XSZ4>).

Mit jedem Atemzug der Ruheatmung nehmen wir 0,5 l Luft auf, genannt V_T . Bei Atemfrequenz, f von 15 Atemzügen pro Minute sind das 7,5 l. Die Anzahl der eingeatmeten Viren pro Minute ergibt sich zusammen mit der Dichte der Viren in der Luft. Für die Dichte wähle ich die Bezeichnung ρ (rho). Es ist die Anzahl der Viren pro m^3 . Die Anzahl der

eingeatmeten Viren pro Minute multipliziert mit der Dauer des Fluges, t ergibt die Anzahl der eingeatmeten Viren: $n = V_T * f * \rho * t$. Die Anzahl n der eingeatmeten Viren ist damit ein Maß für die Gesundheitsgefahr. Die Gesundheitsgefahr kann verstanden werden als Ansteckungswahrscheinlichkeit kombiniert mit der Schwere der Erkrankung. Nehmen wir zwei Szenarien 1 und 2. Zum Vergleich der Szenarien ist nur das Verhältnis der eingeatmeten Viren, n von Bedeutung: $n_1 / n_2 = (\rho_1 / \rho_2) * (t_1 / t_2)$. Das Atemvolumen, V_T und die Atemfrequenz, f gehen nicht ein, solange es sich in beiden Szenarien um die Ruheatmung handelt. Die Gefahr für die Gesundheit steigt mit der Dauer des Fluges und der Virendichte. Das Verhältnis der Virendichte wurde bereits mit dem Volumenmodell abgeschätzt und kann in die Gleichung eingesetzt werden. Die Gleichung lautet dann $n_1 / n_2 = (d_2 / d_1)^3 * (t_1 / t_2)$. Die Gleichung besagt z. B. dass man bei gleicher Gesundheitsgefahr 8 mal so lange fliegen kann, wenn der Abstand dafür verdoppelt wird.

Ein zweiter Ansatz kann basierend auf der Vorstellung des "Stationären Modells" gemacht werden. Die Werte für die Rechnung werden aber nicht aus der Strömungssimulation bezogen, sondern aus Veröffentlichungen zu Flügen auf denen Passagiere im Flug infiziert wurden – so wie oben im Text gezeigt. Dort wurden Ansteckungsraten gefunden von $a = 0,00074$ 1/h, $a = 0,0074$ 1/h (10 mal mehr) und $a = 0,056$ 1/h (76 mal mehr als der erste Wert). Um hier keine Panik auszulösen wird hier mit der geringsten gefundenen Ansteckungsrate von $a = 0,00074$ 1/h weiter gerechnet.

Als nächstes muss ermittelt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein mit COVID-19 Erkrankter im Flugzeug sitzt. Die Anzahl der Erkrankten in einem Land, E ist die Summe aller Fälle, F abzüglich der bereits Genesenden, G . $E = F - G$. Die Daten dazu werden im Internet und über die Nachrichten verbreitet (Deutschland, Anfang Juni 2020: $E = 17000$). Die wirkliche Rate der Erkrankten in einem Land, e ist durch die Untererfassung, U größer um etwa den Faktor $U = 16$ (<https://perma.cc/LW7M-KX3P>). B ist die Bevölkerungszahl (Deutschland: 83 Millionen). Damit ist $e = E * U / B = 0,0033$. Es sind also 0,33 % der Deutschen derzeit an COVID-19 erkrankt. Das Sicherheitsnetz soll dafür sorgen, dass kein Erkrankter an Bord des Flugzeugs kommt. Das geht nur bedingt. Etwa 30 % der Erkrankten haben keine Symptome (Manifestationsindex: 70 %, <https://perma.cc/LW7M-KX3P>) und fallen damit direkt durch das Sicherheitsnetz und sind an Bord. Auf dem Hinflug mögen die Hälfte der Personen mit Symptomen nicht reisen wollen und von den Reisewilligen mögen noch einmal die Hälfte durch Abschreckung oder Entdeckung aufgehalten werden. Auf dem Rückflug werden vermutlich viele Erkrankte (angenommen: 90 %) Mittel und Wege finden (fiebersenkende Medikamente, Hustenblocker, ...), um wieder mit dem bereits gebuchten Flugzeug in die Heimat zu gelangen. Basierend auf diesen Zahlen ergibt eine kleine Rechnung, dass am Ende 70 % derjenigen, die einen Flug durchführen wollten auch trotz und

mit COVID-19 reisen werden. Diese Sicherheitslücke, s ergibt sich also aufgrund fehlender Manifestation, Reiselust, Versagen des Sicherheitsnetzes und/oder der Not der Rückkehr.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich eine Person mit COVID-19 an Bord befindet ist $b = e * s * n_{PAX}$. Dabei ist n_{PAX} die Anzahl der Passagiere an Bord (typisch: 200). Bei 200 Passagieren an Bord beträgt die Wahrscheinlichkeit $b = 46\%$. Man kann also davon ausgehen, dass bei einem Flugzeug mit 430 Passagieren an Bord eine Person dabei ist, die an COVID-19 erkrankt ist. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Sie in der WHO-Gefährdungzone (5 Sitzreihen) zusammen mit einer COVID-19-Person sitzen, beträgt bei Schmalrumpfflugzeugen etwa 7% ($n_{PAX,WHO} = 5 * 6 = 30$). Für den Fall, dass Sie bei Ihrem Flug zwei Sitznachbarn (links und rechts) haben (Mittelsitz) beträgt die Wahrscheinlichkeit $0,46\%$ dafür, dass Sie einen COVID-19-Nachbarn haben.

Die Wahrscheinlichkeit pro Flugstunde dafür, dass sich eine Person ("ich") an Bord mit SARS-CoV-2 infiziert, ist $i = e * s * n_{PAX} * a$. Mit den hier angegebenen Zahlen ergibt sich $i = 0,00034 \text{ 1/h} = 1/3000 \text{ 1/h}$. Bei einem 10-stündigen Flug ($t = 10 \text{ h}$) wäre die Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 dann $i * t = 1/300$. Je nach der noch sehr wenig bekannten Ansteckungsrate könnte die Wahrscheinlichkeit aber auch deutlich höher liegen.

Die Wahrscheinlichkeit pro Flugstunde dafür, dass sich eine Person ("ich") an Bord mit SARS-CoV-2 infiziert und anschließend daran stirbt, m ist abhängig von der wirklichen Letalität, L von COVID-19. Die offiziell aus den Fallzahlen errechnete Letalität ist, L_{RKI} (0,047) und wird geteilt durch die Untererfassung: $L = L_{RKI} / U = 0,00294$. Die Wahrscheinlichkeit pro Flugstunde ist $m = i * L = 1/1000000 \text{ 1/h}$ oder 1 zu einer Million.

Damit ist sowohl die Wahrscheinlichkeit für die Erkrankung mit COVID-19 durch einen Flug, i pro Flugstunde, als auch der Tod, m um den Faktor 10 wahrscheinlicher als eine Verletzung bzw. Tod durch technisches Versagen des Flugzeugs. Wenn es um Technik gehen würde statt COVID-19, dann dürften die Flugzeuge nicht fliegen! Trotzdem werden wohl genug Passagiere starten, weil sie bereit sind das Risiko zu tragen, oder durch die Falschinformationen der Luftfahrtindustrie in ihrer Entscheidungsfindung manipuliert wurden.

Soviel zum Argument 8.

Warum Reisende bei der unklaren Rechtslage evtl. gar nicht am Ziel ankommen

Flugreisende müssen nach den neuen Empfehlungen der EASA ("Protokoll", Annex 2) ihren Gesundheitszustand bekunden dafür ankreuzen:

- In den 14 Tagen vor meinem Flug wurde bei mir COVID-19 diagnostiziert.*
- Ich hatte während der letzten 8 Tage vor meinem Flug eines der COVID-19-relevanten Symptome (Fieber, Husten, ...).*
- Ich war in den letzten 14 Tagen vor meinem Flug in engem Kontakt (z. B. weniger als 2 Meter für mehr als 15 Minuten) mit einer Person, die COVID-19 hat.*
- Ich bin aufgrund lokaler oder nationaler Vorschriften verpflichtet, mich wegen COVID-19 in Quarantäne aufzuhalten.*

Es ist wohl davon auszugehen, dass der Flug verweigert wird, wenn eine der Aussagen gemacht wird. Wenn Passagiere jedoch falsche Angaben machen (wenn z. B. Fieber oder Husten am Flughafen offenkundig werden), dann wird der Flug ebenfalls verweigert.

Interessant ist, dass an dieser Stelle der Kontakt von "weniger als 2 Meter für mehr als 15 Minuten" angegeben ist. Was für Passagiere am Boden gilt, könnte auch für die Airline in der Luft gelten. Weiterhin können generell keine Angaben zur dritten Aussage gemacht werden, weil viele COVID-19 Erkrankte nicht als solche erkennbar sind. Ein Aussage wäre lediglich möglich zu: "in engem Kontakt ... mit einer Person, von der mir bekannt ist, dass er/sie COVID-19 hatte."

Die EASA beschreibt auch die Möglichkeit der Temperaturmessung von Passagieren, zeigt aber auch die Ungenauigkeiten und Probleme der Temperaturmessung auf. Es ist daher zu vermuten, dass es zu keiner Temperaturmessung von Flugpassagieren in Deutschland kommen wird. Anders könnte das im Ausland sein. Einem Passagier, der dann mit Fieber (mehr als 38 °C) zum Flughafen kommt (egal, was die Ursache für das Fieber ist) könnte der Flug verweigert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Temperaturmessung natürlich – wie jede Messung – fehlerbehaftet ist. Nach EASA ("Protokoll", Annex 1) muss damit gerechnet werden, dass zwischen 1 % und 25 % der Messungen Fieber anzeigen, obwohl kein Fieber vorliegt (false positives). Es ist dann sinnlos sich aufzuregen, weil man den Flug verpasst. Passagiere, die sich nicht den Anweisungen fügen, werden als "Unruly Passenger" bezeichnet und den Sicherheitsorganen am Flughafen übergeben.

Wie man fliegen kann, wenn es doch sein muss

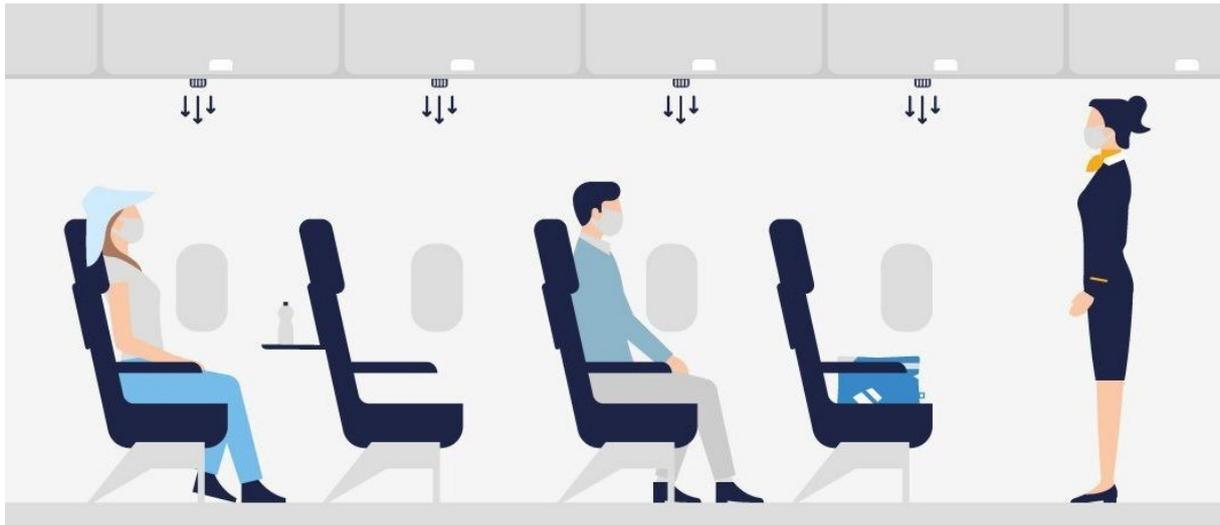
Wenn man eigentlich nicht fliegen will, aber es doch muss, dann könnten diese Hinweise helfen:

- In der letzten Reihe am Fenster einen Sitzplatz buchen.
- Den ganzen Flug im Sitz bleiben, nicht umhergehen.
- Luftdüsen schließen.
- Falls zu erwerben, eine FFP2-Maske oder eine Atemschutzmaske mit mindestens P-Filter benutzen.
- Viel wahrscheinlicher als COVID-19 ist, dass man im Urlaub aus irgend einem anderen Grund krank wird. Viele Reisende haben eine kleine Reiseapotheke dabei oder besorgen sich die Medikamente vor Ort. Mit Medikamenten können auch Symptome bekämpft werden.

Wo das ethische Problem liegt

Es ist die ganze Art des Vorgehens die nicht stimmt:

- Die Lastenverteilung zwischen Passagieren und Fluggesellschaften ist nicht ausgewogen. Für die Fluggesellschaften wurden von der EASA und der ICAO nur Empfehlungen formuliert. Sie können damit machen was sie wollen. Die Passagiere sind aber an die Anweisungen der Fluggesellschaften gebunden und müssen sich der Gefahr aussetzen, die ihnen zugeteilt wird.
- Die Argumentation der Luftfahrtindustrie ist irreführend. Die "Fakten" sind handverlesen.
- Werbevideos (Beispiele: <https://youtu.be/fSLQ0hj3eZg>, <https://youtu.be/D1rdX-24NrM>) zeigen eine Situation jenseits der Realität: nahezu leere Flughäfen und Flugzeuge. Im Flugzeug sieht es so aus, als wenn jede zweite Reihe frei gehalten wird (siehe Bild).
- Luftfahrtorganisationen (EASA, ICAO) richten sich unter dem finanziellen Druck der Branche nach dem Diktat der Unternehmen und ihrer Verbände. Der Verbraucher wird getäuscht, weil er die Informationen der Luftfahrtorganisationen als objektiv wahrnimmt, was sie aber nicht sind.
- Passagiere werden damit zu Entscheidungen über Handlungen (und Geldausgaben) gebracht, die sie bei anderer Informationslage möglicherweise anders getroffen hätten.
- Gesundheit ist das höchst Gut. Wer jemanden um seine Gesundheit bringt bewegt sich nicht mehr im Bereich der Ethik, sondern im Bereich der Rechtswissenschaften.



Lufthansa unter der Überschrift "#WeCare – damit Sie unbesorgt fliegen" (<https://perma.cc/UQ59-AZ3F>). Es wird der Anschein erweckt, als ob jede zweite Sitzreihe frei gehalten wird (oder zumindest die Kabine nur zur Hälfte belegt ist). Luft strömt aus den Luftdüsen aus. Dies entspricht nicht der Empfehlung der EASA (<https://perma.cc/MR7X-Y73R>). Hintergrund: Es geht darum, die Turbulenz der Luft in der Kabine möglichst gering zu halten, um die Verteilung möglicher Viren über die Länge der Kabine so gut es geht zu vermeiden.

Welche Transportmittel evtl. besser sind

Klar im Vorteil ist man im eigenen Auto, auf dem Fahrrad oder zu Fuß in der Natur. Hier in diesem Text geht es aber um den öffentlichen Verkehr. Falls überhaupt eine Verbindung mit dem Fernbus oder der Bahn zum Zielort angeboten wird, sind beide leider auch keine Alternative zum Flugzeug. Auch in diesen Verkehrsmitteln wird der Sicherheitsabstand deutlich unterschritten. Auch hier haben sich die Betreiber dagegen ausgesprochen, Sitze frei zulassen. Einen Vorteil gegenüber dem Flugzeug gibt es trotzdem: Wenn die aktuelle Situation unerträglich wird, weil der Sitznachbar einfach nicht aufhört zu Husten, dann können Sie in der Bahn aufstehen und sich in dem langen Zug einfach irgendwo anders aufhalten. Eine weitere Möglichkeit gibt es im bodengebundenen Verkehr immer: Einfach bei nächster Gelegenheit aussteigen! Selbst, wenn Sie einen Fallschirm dabei hätten, wäre dessen Benutzung im Passagierflugzeug nicht möglich. Im Passagierflugzeug sind Sie maximal fremdbestimmt.

Aircraft Design and Systems Group (AERO) ist die Forschungsgruppe für Flugzeugentwurf und Flugzeugsysteme im Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau der HAW Hamburg. AERO führt wissenschaftliche Mitarbeiter zur kooperativen Promotion und bearbeitet Projekte aus Forschung, Entwicklung und Lehre.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Dieter Scholz, MSME
info@ProfScholz.de

Schlagwörter

Luftfahrt, Fliegen, Flugzeug, Passagier, Urlaub, Fluggesellschaft, Airline, Flughafen, COVID-19
SARS-CoV-2, Corona, Abstand, Sitz, Gesundheit, Sicherheit

Infolinks

Forschungsgruppe: <http://Aero.ProfScholz.de>
ARD: Report Mainz: <http://purl.org/CabinAir/ARD-Report-Corona>
ARD-Interview mit Prof. Scholz: <https://youtu.be/HdvprC-knhY>
Kabinenluft: <http://CabinAir.ProfScholz.de>

Diese Datei

https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/Aero/AERO_PR_COVID-19-Fliegen_20-06-05.pdf

kurz:

<https://purl.org/corona/pr2020-06-05>

Die Pressemitteilung in der Pressebox

<https://www.pressebox.de/bx/1009320>

Newsroom

<https://www.pressebox.de/newsroom/aircraft-design-and-systems-group-aero>

Pressemitteilungen im PDF

<http://PR.ProfScholz.de>