

# SIMULATIVE BEWERTUNG VON PERSONENBEWEGUNGEN IN DER FLUGZEUGKABINE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG EINER PANDEMISCHEN LAGE

F. Rudolph, F. Reimer\*, I. Moerland-Masic\*, T.-M. Bock\*,

DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig,

\* DLR Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, Hein-Saß-Weg 22, 21129 Hamburg, Deutschland

## Zusammenfassung

Es ist davon auszugehen, dass die Covid-19-Pandemie den Luftverkehr weiterhin noch nachhaltig beeinflussen wird. Die Anzahl der angebotenen Sitzkapazitäten ist seit Pandemiebeginn um bis zu 50% eingebrochen und die ICAO-Prognose zeigt, dass vorpandemische Kapazitäten auch im Jahr 2022 noch nicht wieder erreicht werden, sondern etwa 20% darunter liegen (siehe[1]). Weiterhin ist die Wiederaufnahme der Flugverbindungen stark von pandemischen Restriktionen geprägt. Neben der Vorlage von Impfzertifikaten oder Genesenennachweisen ist das Tragen von Masken und das Einhalten von Abständen erforderlich beziehungsweise wird empfohlen. In der Flugzeugkabine selber ist allerdings nur das Tragen einer Maske notwendig. Andere Maßnahmen zur Ansteckungsreduzierung wie das Einhalten von Abständen werden für die Passagiere in der Regel nicht angewendet.

Mit der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss unterschiedlicher Konzepte beim Boarding und Deplaning der Passagiere auf ein mögliches Ansteckungsrisiko simulativ untersucht und bewertet. Ziel ist es, ein leistungsfähiges Boardingkonzept zur Reduktion von Risiko-Begegnungen auch für zukünftige Pandemien zu entwickeln. Durch die Modellierung und Simulation von Personenbewegungen kann wirksam untersucht werden, wie leistungsfähig frühe, neuartige und auch unkonventionelle Designkonzepte bezüglich der Schnittstellenprozesse des Boarding und Deplaning sind [5]. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Kabinenmodellierung und der dortigen Personenbewegungen wurde ein Bemessungswerkzeug zur Bewertung des Ansteckungsrisikos beim Boarding und Deplaning für die Passagiere in eine bestehende Simulationsumgebung integriert. Zur Anwendung kommt dabei der Algorithmus zur Bestimmung von Risiko-Begegnungen aus der Kombination von zu geringem Abstand und Dauer der Abstandsunterschreitung wie in der Corona-Warn-App (CWA) angewendet [9].

Im vorliegenden Paper wird die Funktionsweise des Bemessungswerkzeugs als Indikator erläutert. Diese wird auf die unterschiedlichen Boardingkonzepte appliziert. Die daraus resultierenden Risiko-Begegnungen werden anschließend protokolliert. Anhand dieser Methode können die Konzepte hinsichtlich ihrer Risiko-Begegnungen zusätzlich zu den anderen bekannten Kriterien bewertet werden. Ziel ist es, sich so weitere Handlungsempfehlungen ableiten zu lassen, um die mögliche Ansteckungsgefahr in einer Flugzeugkabine effizient zu reduzieren, ohne negativ auf andere Indikatoren der Schnittstellenprozesse beim Turnaround zu wirken. Abschließend wird ein Ausblick gegeben, wie die Minimierung der Risiko-Begegnungen beim Entwurf zukünftiger und zur Bewertung bestehender Kabinenkonzepte berücksichtigt werden kann.

## 1. EINLEITUNG

Die Corona-Pandemie hat einen nie dagewesenen Einfluss auf den Flugverkehr. Seit dem zweiten Weltkrieg befand sich die Anzahl der Passagiere im globalen Luftverkehr in einem nahezu stetigen Wachstum. Selbst internationale Krisen in der Weltpolitik hatten einen eher geringeren Einfluss auf den Kurvenverlauf (siehe BILD 1). Im Gegensatz dazu sorgten die Pandemie und die damit einhergehenden Restriktionen für einen dramatischen Rückgang der Flugbewegungen und der Passagierzahlen. So ist Anzahl der angebotenen Sitzkapazitäten seit Pandemiebeginn um 50% eingebrochen und die ICAO-Prognose zeigt, dass vorpandemische Kapazitäten auch im dritten Jahr der Pandemie (2022) noch nicht wieder erreicht werden, sondern etwa 20% darunter liegen [1].

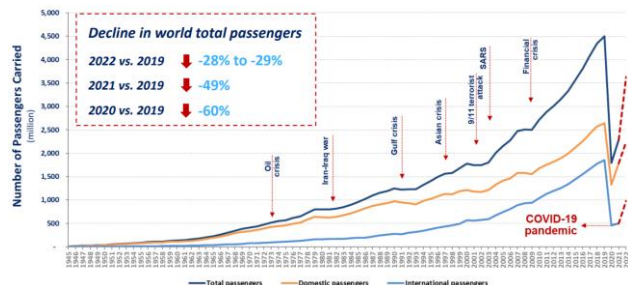


BILD 1. Entwicklung des weltweiten Personenverkehrs 1945 – 2022 [1]

Um zukünftige Kabinenkonzepte nutzerzentriert zu gestalten, müssen Airlines zukünftige Nutzergruppen und das sich stetig verändernde Anforderungsspektrum beobachten. [2]. Gleichzeitig müssen diese Konzepte flexibel gestaltet sein, um schnell und effektiv auf ein

verändertes Anforderungsspektrum reagieren zu können. So ist 87% der Passagiere der Komfort in der Flugzeugkabine besonders wichtig [3].

Weiterhin wird vor dem Hintergrund möglicher auch nachfolgender pandemischer Restriktionen eine schnelle Reaktion auf gegebene Regularien erwartet. Während der Covid-19-Pandemie existierten zusätzlich zum Tragen einer Maske in der Flugzeugkabine noch zwei wesentliche Änderungen zum Vergleich eines normalen Turnarounds. Für die Passagiere war es erforderlich beim Ein- und Aussteigen einen bestimmten Abstand einzuhalten und zusätzlich zu den normalen Reinigungsverfahren wurde die Flugzeugkabine nach jeder Landung desinfiziert [4].

Auch wenn die Restriktionen inzwischen nach und nach wieder zurückgefahren werden, bleibt auch zukünftig das Risiko ansteckender Krankheiten über die Atemwege in der Flugzeugkabine bestehen. Um dieses Risiko dauerhaft bemessen zu können, wurden unterschiedliche Varianten des Boardingverhaltens auf ihre möglichen Risikokontakte in der Boardingsimulation modelliert und erweitert, untersucht und miteinander verglichen. Zur Vergleichbarkeit wurde auf die gleiche Simulation zurückgegriffen, die zur Unterstützung des Flugzeugkabinenentwurfs Anwendung fand [5]. Dabei wird der Algorithmus zur Bestimmung von Corona-Risikobegegnungen angewendet, der in der Corona-Warn-App genutzt wird und der sich aus einer Kombination von zu geringem Abstand und die Dauer der Abstandsunterschreitung zusammensetzt.

Einen ganz ähnlichen durch die Covid-19-Pandemie beeinflussten Ansatz verfolgten ebenfalls Schultz et al. [4], allerdings liegt dort der Fokus auf das Einhalten der Abstände auch während des Fluges. So wurden Sitzplätze freigehalten um Sicherheitsabstände zu gewährleisten. Dadurch konnten die Risikokontakte zwar minimiert werden, allerdings blieben Sitzplätze ungenutzt. Unser Ansatz hingegen geht von einer vollbesetzten Flugzeugkabine aus, mit dem Ziel durch Beeinflussung des Boardingverhaltens eine deutliche Reduzierung von möglichen Risikobegegnungen herbeizuführen.

## 2. IMPLEMENTIERUNG DER SIMULATIONSUMGEBUNG

Um das Verhalten der Passagiere beim Betreten und Verlassen der Flugzeugkabine simulativ abzubilden, wird wie zur Unterstützung des Flugzeugkabinenentwurfes [5] die Simulationssoftware Anylogic [7] genutzt. Für die Modellierung wird das Social Force Modell angewendet, dieses Modell beschreibt das Verhalten von Personen durch Gleichungen der Newtonschen Mechanik [8]. So wird sowohl die individuelle Richtung und Geschwindigkeit der Person vom eigentlichen Ziel und Anziehungs- und Abstoßungskräften durch Hindernisse und anderen Personen beeinflusst. Dabei stellt die Person wiederum eine Kraft dar, die auch auf andere Personen wirken kann.

### 2.1. Algorithmus zur Erfassung und Bewertung der Risikokontakte in der Corona-Warn-App

Die Corona-Warn-App ist eine vom Robert-Koch Institut (RKI) herausgegebene Anwendung für Smartphones, die helfen soll, Infektionsketten des Corona-Virus in Deutschland nachzuverfolgen und zu unterbrechen. Sie ist sowohl für Android-Systeme ab Version 6 und iOS ab Version 12.5 verfügbar und kann über die entsprechenden Downloadmöglichkeiten des App-Store und Google Play für die jeweiligen Systeme auf das persönliche Smartphone heruntergeladen und installiert werden. Die App basiert auf Technologien mit einem dezentralisierten Ansatz und informiert Personen, wenn sie mit einer infizierten Person in Kontakt standen. Das bedeutet, wenn der Nutzer anderen Menschen zu nah kommt, werden über Bluetooth pseudonyme Codes ausgetauscht und in der App hinterlegt. Sobald eine Begegnung der letzten 14 Tage anonym ein positives Testergebnis meldet, wird der Nutzer gewarnt.

Der zu protokollierende Datentransfer zwischen den Nutzern erfolgt über die Funktechnik Bluetooth mit dem Exposure Notification Framework (ENF) [10] als Schnittstelle. Das ENF wurde von Apple Inc. und Google als Protokollspezifikation entwickelt, um die digitale Kontaktverfolgung während der COVID-19-Pandemie zu erleichtern. Alle Erfassungsereignisse werden von dem Framework intern erfasst und in sogenannten "Expositionsfenster" aufgeteilt, die alle Fälle darstellen, in denen ein anderes spezifisches Gerät (ohne bekannte Identität) innerhalb eines 30-Minuten-Fensters entdeckt wurde. Jedes dieser Expositionsfenster enthält dabei die folgenden Informationen.

*infectiousness and report type* - diese Parameter werden von der sendenden App an den jeweiligen Diagnoseschlüssel zur Bestimmung der Ansteckungsgefahr einer Covid-19 Infektion angehängt.

*day of the exposure* - dieser Parameter wird von dem ENF auf der Grundlage des Zeitpunkts bestimmt, zu dem der jeweilige Identifizierungsschlüssel (Rolling Proximity Identifier – RPI) empfangen wurde. Zu beachten ist, dass in dem ENF zwar genaue Zeitstempelinformationen vorhanden sind, aber nur der Tag selbst angegeben wird.

*multiple scan instances* - dieser Parameter steht für Ereignisse, bei denen das andere Gerät während des Scanvorgangs aktiv identifiziert wurde. Eine Scan-Instanz besteht aus "Sekunden seit dem letzten Scan", d. h. wie lange das andere Gerät identifiziert wurde, und Dämpfungsinformationen als Maß für die Entfernung zwischen den Geräten.

Für die Bestimmung, ob der in dem Expositionsfenster des ENF erfasste Kontakt als Risikokontakt klassifiziert wird, wird eine Risikokalkulation durchgeführt, die sich aus der Dauer des Kontaktes, der Signaldämpfung zur Distanzberechnung und des Übertragungsrisikos (Transmission Risk Level, TRL) der anhand des Zeitpunkts des Hochladens der Identifizierungsschlüssel und der Angabe des Tages erster Symptome geschätzt wird, zusammensetzt.

Für die Gewichtung eines Signals gelten für die Signaldämpfung folgende Parameter. Zeiten mit einer Dämpfung < 63 dB werden mit 80 % gewichtet. Zeiten mit einer Dämpfung >= 63 dB und <73 dB werden mit 100 % gewichtet. Und Zeiten mit einer Dämpfung >= 73 dB und <79 dB werden mit 10 % gewichtet. Zeiten mit einer Dämpfung > 79 dB werden nicht berücksichtigt. Wie in Tabelle TAB 1 zu sehen, ergibt sich daraus dann ein Summenprodukt zur Berechnung der Signalgewichtung.

Time *t* at minimum \* attenuation *att* (*t<sub>i</sub> \* att*)

$$\begin{aligned}
 & t(att < 63 \text{ dB}) * 0.8 \\
 & + \\
 & t(att \geq 63 \text{ dB} \ \&\& \ att < 73 \text{ dB}) * 1.0 \\
 & + \\
 & t(att \geq 73 \text{ dB} \ \&\& \ att < 79 \text{ dB}) * 0.1 \\
 & + \\
 & t(att \geq 79 \text{ dB}) * 0.0
 \end{aligned}$$

TAB 1. Signalgewichtung

Zusätzlich dazu wird noch das Übertragungsrisiko (Transmission Risk Level = TRL) als Multiplikator bestimmt und hinzugefügt [11]. Über die Tabelle in BILD 2 lässt sich das jeweilige Risikolevel ableiten. Sie berücksichtigt die Risikokontakte der vergangenen 14 Tage in Relation zum Infektionsgeschehen und der Symptome des Nutzers der Corona Warn App in den vergangenen 21 Tagen. Der Nutzer trägt also sein positives Testergebnis und den Zeitpunkt der ersten Symptome in die CWA ein und daraus ergibt sich dann für alle in den letzten 14 Tagen erfassten Kontakte das individuelle Übertragungsrisiko.

Exemplarisch nehmen wir an, der Nutzer hat 4 Tage nach den ersten Symptomen das positive Ergebnis seines PCR-Tests erhalten und es wird umgehend in der CWA eingetragen. Dann lässt sich bei der Zeile mit der Bezeichnung 4, für die Anzahl der Tage seit den ersten Symptomen, direkt ablesen, welchen TRL die Kontakte an den jeweiligen Tagen der vorhergehenden zwei Wochen hatten. So werden Kontakte die direkt am aktuellen Tag erfasst wurden mit einem TRL von 3 bewertet, für den Tag davor ergibt sich ein TRL von 5, bei zwei Tagen davor liegt der TRL bei 6. Für den Zeitraum von 4-6 Tagen bevor das Testergebnis eingetragen wurde, hat das Übertragungsrisiko den höchsten Wert mit 8. Ab dem 7. Tag sinkt der TRL wieder, bis er dann bei 10 Tagen zuvor den Wert 1 als Minimum erreicht.

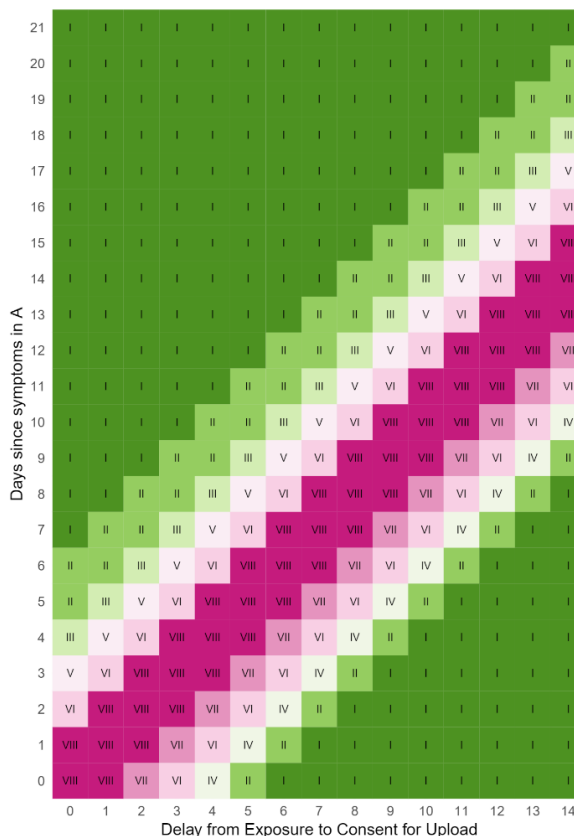


BILD 2. TRL-Bestimmung [11]

Anhand des so bestimmten TRLs wird dann ein weiterer Faktor zu Bestimmung der Risikobewertung, der Transmission Risk Value (TRV), abgeleitet. Dieser Wert lässt sich dann aus der folgenden Tabelle TAB 2 ablesen.

TRL	1	2	3	4	5	6	7	8
TRV	0.0	0.0	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6

TAB 2. Multiplikator aus TRL

Berechnet wird der Risikowert für einen Kontakt, aus der Summe der Produkte zwischen der Kontaktdauer und der Dämpfung, der so ermittelten Signalgewichtung. Dieser Wert wird dann noch mit dem wie oben beschriebenen ermittelten Transmission Risk Value multipliziert. Damit ergibt sich dann folgende Formel zur Bestimmung des Risikokontaktes in der CWA, wobei count(K) der Anzahl der Begegnungen mit einem Kontakt in einem Expositionsfenster (also innerhalb von 30 Minuten) entspricht.

$$\left( \sum_{i=1}^{count(K)} (t_i * att) \right) * TRV = risk\_value$$

*count(K)* = Encounter count

*t<sub>i</sub>* = Encounter duration

*att* = attenuation

*TRV* = Transmission Risk Level (TRL) to Value (TRV)

Dieses so errechnete Ergebnis, der *risk\_value* sagt je nach Wert aus, ob es sich bei dieser erfassten Begegnung um einen Risikokontakt handelt oder nicht. Ist dieser Wert 9

oder größer, war es eine Begegnung mit hohem Infektionsrisiko. Liegt der Wert zwischen 5 und 9 gilt diese Begegnung als eine Begegnung mit niedrigem Risiko. Ist der Wert kleiner als 5 so wird dieser Kontakt als Nicht-Risiko-Begegnung interpretiert.

## 2.2. Risikokontakte in der Simulation

Als Simulationsmodell wird die in dem Projekt InDiCaD entwickelte Kurzstreckenvariante verwendet [5]. Das Simulationsmodell basiert dabei auf den Konzeptentwurf aus der Applikation des Design Thinking Ansatzes [6]. Dieses Modell wurde besonders in Hinblick auf zukünftige Anforderungen hinsichtlich des individuellen Komforts einzelner Nutzergruppen und Leistungsfähigkeit beim Turnaround entwickelt.

Der Rumpf der Maschine basiert im Wesentlichen auf einen Airbus A330 und besteht aus einer Ebene. Die Business-Class befindet sich regulär im vorderen Teil des Decks und die Economy-Class im hinteren Bereich. Ausgehend vom A330 wurde der zentrale Bereich des Flugzeugs vergrößert, um mehr Freiraum für die Integration nutzerzentrierter Kabinenkonzepte zu erreichen. Bei der Bestuhlung wurde eine Konfiguration gewählt, die die Thesen aus den Simulationen der Konzeptphase berücksichtigt [5]. Die Bestuhlung besteht auf beiden Ebenen aus 2 Gängen und eine zweite Türreihe in der Mitte der Kabine wurde eingefügt. Das Besondere ist, dass in diesem Entwurf die Türen simultan als Ein- und Ausgangstüren genutzt werden können. Ein zentrales Designelement dieses Kabinenentwurfes bildet der Empfangs-, Informations- und Aufenthaltsbereich in der Kabinenmitte. In diesem Bereich können Passagiere weiterführende Informationen erhalten und auch ein direkter Austausch mit dem Personal oder den Passagieren untereinander in einer ansprechenden Umgebung soll ermöglicht werden.

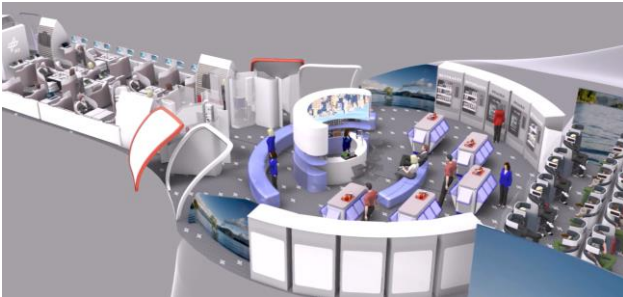


BILD 3. Ausschnitt des entwickelten Rumpfes

BILD 3 zeigt einen Scan des finalen Entwurfs. Gut zu erkennen ist der Empfangs- und Aufenthaltsbereich in der Kabinenmitte. Im Simulationsmodell werden zwei unterschiedliche Varianten des Boarding miteinander verglichen. In der einen Variante steigen die Passagiere zufällig verteilt in die Kabine ein (*random*), in der anderen Variante erreichen die Passagiere streng geordnet von hinten nach vorne und vom Rand zur Kabinenmitte ihren Sitzplatz. Diese Variante wird *outside\_in\_back\_to\_front* (*oi\_btf*) genannt.

Für den Vergleich wird für beide Varianten der Personenfluss in der Kabine simuliert und mit einem Algorithmus für einen pseudonymen Nachrichtenaustausch

(sogenannter *code\_shares*), auf Basis der Beschreibung der CWA in 2.1 erweitert. Dabei gelten folgende Annahmen zur Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Varianten. Für die Fokussierung der Kontakte auf die Flugzeugkabine werden ausschließlich die Bewegungen im Inneren der Kabine betrachtet.

- Sitzende Personen senden keinen Code aus.
- Dämpfung / Gewichtung wird über Distanz berücksichtigt.
- TRL wird nicht betrachtet.
- Zum Vergleich wird die Anzahl der *code\_shares* gezählt und verglichen.

Um bei beiden Varianten die Unterschiede in der Anzahl der Kontakte herauszuarbeiten, senden Personen die in der Simulation ihren Sitzplatz erreicht haben keinen weiteren Code aus.

Es ist anzunehmen, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen der Anzahl der *code\_shares* und der Erkennung von Risikokontakten besteht, so dass aus weniger erfassten *code\_shares* weniger Warnungen in der CWA generiert werden, was wiederum auf weniger Risikokontakte schließen lässt.

Insgesamt wurden zur Erfassung 700 Simulationsläufe durchgeführt, das entspricht dann 350 Läufe pro Variante. Erzeugte *code\_shares* werden dabei in folgendem Listenformat für die weitere Bewertung in der Datenbank hinterlegt.

$[(sim\_time), (Pax\_ID\_1), (Pax\_ID\_2), (dist), (run\_nr)]$

- *sim\_time* : Simulationszeit an dem der *code\_share* stattfand.
- *Pax\_ID\_1* und *Pax\_ID\_2*: beteiligte Passagiere an dem *code\_share*.
- *dist* : Entfernung zwischen den Passagieren.
- *run\_nr* : Nummer des Simulationslaufes

Zusätzlich dazu, werden in der visuellen Repräsentation des Simulationsmodells die Personen, die bereits an einem Datenaustausch beteiligt wurden, werden in Rot dargestellt. Personen ohne bisherigen Datenaustausch werden Grün dargestellt (BILD 4).

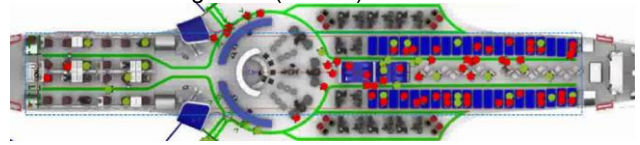


BILD 4. Ausschnitt aus der Passagiersimulation

## 3. SIMULATIONSERGEBNIS

Insgesamt wurden 131.663 Nachrichten in allen Simulationsläufen generiert. Verteilt auf die beiden Boardingvarianten wurden 79454 Datenaustausche für die Läufe mit einem zufälligen Einsteigen der Passagiere (*random*) und 52209 für die Läufe der *outside\_in\_back\_to\_front*-Variante (*oi\_btf*) also des geordneten Einstiegs gezählt. Damit liegen die Werte in der *oi\_btf*-Variante etwa 35% unter dem Wert der *random*-Variante.

Neben den absoluten Zahlen über alle Läufe, zeigen auch die Vergleiche über die einzelnen Läufe ein deutliches Bild,



so ist die Anzahl der *code\_shares* im *random* fast immer deutlich höher als im *oi\_btf*.

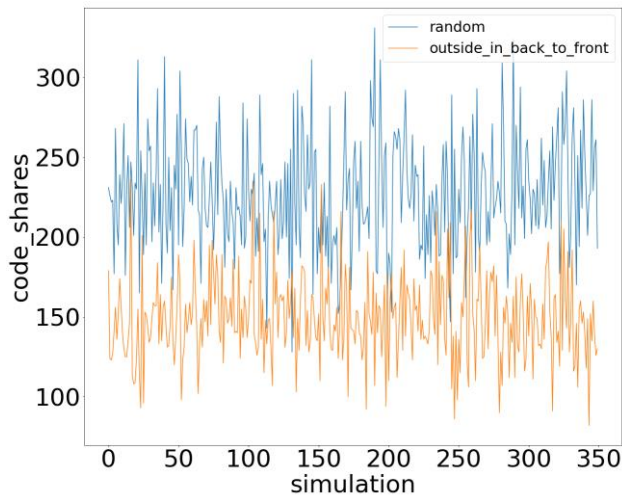


BILD 5. Anzahl der erfassten *code\_shares* über die einzelnen Läufe

BILD 5 zeigt die Anzahl der erfassten *code\_shares* über die einzelnen Läufe. In blau ist der Nachrichtenaustausch aus der *random*-Variante dargestellt und in orange die Kontakte aus der *oi\_btf*-Variante. Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der erfassten Kontakte in den meisten Fällen beim zufälligen Einsteigen der Passagiere deutlich über der Anzahl bei der geordneten Variante liegt.

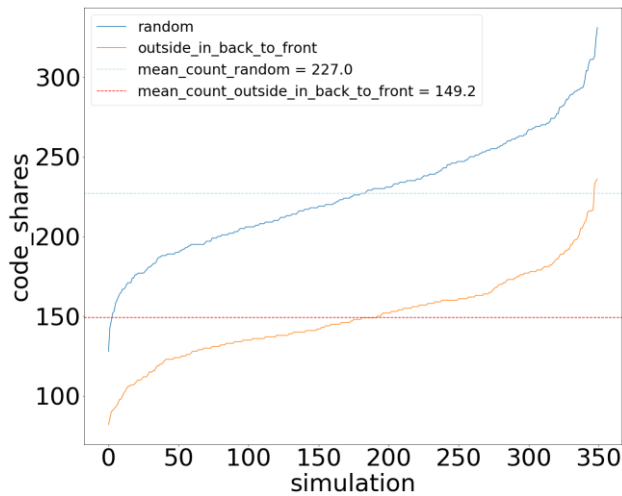


BILD 6. Anzahl der erfassten Risikokontakte geordnet nach Anzahl der *code\_shares*

Noch sichtbarer wird das Delta, wenn man die Läufe nach der Anzahl der erfassten Nachrichten sortiert. Wie in BILD 6 zu sehen, liegen die Werte für die *oi\_btf*-Variante erkennbar unter den Werten der *random*-Variante. Im arithmetischen Mittel ergeben sich so 227 gezählte *code\_shares* pro Simulationslauf für die *random*-Variante bei einer Standardabweichung von 35. Bei der *oi\_btf*-Variante wiederum ist der Wert um etwa 35 Prozent kleiner und liegt bei 149 Nachrichtenaustausche pro Simulationslauf mit einer etwas kleineren Standardabweichung von 26.

Die prozentuale Verteilung der erfassten Signale hinsichtlich ihrer Häufigkeit in den einzelnen Läufen lässt auf eine Normalverteilung um das arithmetische Mittel der jeweiligen Variante als Schwerpunkt und der entsprechenden Standardabweichung schließen. Sie bestätigt ebenfalls, dass in der *oi\_btf*-Variante deutlich weniger Datensätze erfasst werden, wie in BILD 7 zu erkennen ist.

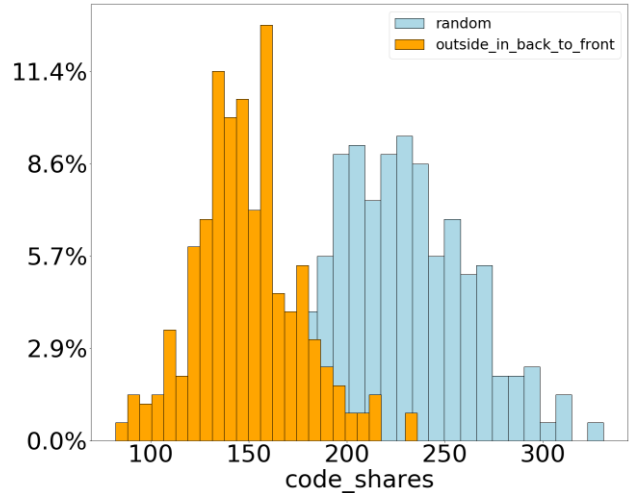


BILD 7. Prozentuale Verteilung der erfassten *code\_shares*

Weit weniger eindeutig sind die Ergebnisse hinsichtlich der Distanz und damit der einhergehenden Signaldämpfung zwischen den beiden Varianten die zur Berechnung des *risk\_values* und der Bestimmung des Transmission Risk Level (TRV) genutzt wird.

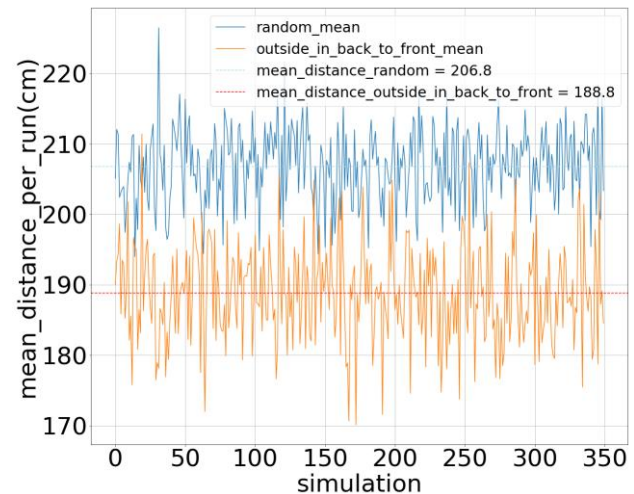


BILD 8. Durchschnittliche Distanz der *code\_shares* über die Simulationsläufe.

Die durchschnittliche Distanz der Datenaustausche zeigt in BILD 8 zwar meist leicht höhere Werte in der *random*-Variante, der Unterschied beträgt aber lediglich 15 bis 20 Zentimeter. So liegt das arithmetische Mittel der Distanz aller erfassten *code\_shares* über alle Läufe bei etwa 207 Zentimeter für die *random*-Variante und bei 189 Zentimeter für die *oi\_btf*-Variante. Erklären lassen sich die leicht höheren Distanzen dadurch, dass gerade beim geordneten Einstieg die Personen auch einen vergleichbaren Weg zu

ihrem jeweiligen Sitzplatz haben und damit auch in kürzerer Distanz zueinander in der Flugzeugkabine unterwegs sind.

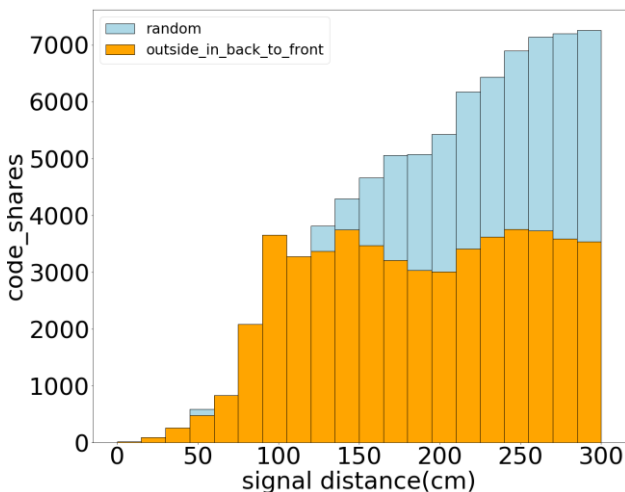


BILD 9. Verteilung der Distanz der *code\_shares* über die Simulationsläufe.

Auch die Verteilung der Distanz der erfassten Kontakte wie in BILD 9 zu sehen unterstützt diese Vermutung. Wie zu sehen ist, verhalten sich Werte in den Distanzen unter 120 Zentimeter in beiden Varianten in etwa gleich. Ab dieser Distanz über 120 Zentimeter bleibt die Anzahl der erfassten Begegnungen bei der *oi\_bt*-Variante in etwa konstant, während sie sich in der *random*-Variante kontinuierlich erhöht.

#### 4. FAZIT UND AUSBLICK

Mit den durchgeführten Simulationen konnte gezeigt werden, dass die Boardingreihenfolge einen erkennbaren Einfluss auf die Anzahl der *code\_shares* und der damit abgeleiteten Risikokontakte hat. So generiert die Variante für das zufällige Einsteigen etwa 35 Prozent mehr Signale die allerdings im hauptsächlich in einem höheren Distanzbereich liegen. Die Ursache dafür ist, dass die Passagiere beim geordneten Einstieg in der Regel den gleichen Weg haben und damit mit weniger Personen im Wirkungsbereich interagieren und diese Kontakte eher in niedrigen Distanzen passieren. Bei den Passagieren, die ungeordnet einsteigen gibt es diese gemeinsamen Wege in dem gewählten Designkonzept eher nicht, so dass die Interaktion mit weiteren Personen häufiger auftritt und dies dann auch über höhere Distanzen erfolgt.

Um das Infektionsrisiko einer Begegnung in der Flugzeugkabine auch simulativ bestimmen zu können, bietet der Algorithmus der Corona-Warn-App einen guten Ausgangswert. Für weitergehende Untersuchungen empfiehlt sich die Berücksichtigung der Ausbreitung von Aerosolen, um dann über eine gekoppelte Simulation mit Passagierfluss und Aerosolen besonders vulnerable Bereiche in der Flugzeugkabine identifizieren zu können. Mit der Übertragung auf die reale Kabine könnten diese besonders belasteten Bereiche nachfolgend einer intensiveren Behandlung zur keimfreien Desinfektion unterzogen werden, als es andererseits in den weniger belasteten Bereichen notwendig wäre.

In den aktuellen hier vorgestellten Untersuchungen

fokussierte sich die Betrachtung auf die Designstudien eines futuristischen Flugzeugentwurfes, um die Erkenntnisse auf aktuelle Flugzeugkonfigurationen übertragen zu können. Hierbei können auch unterschiedliche Layout-Varianten, durch verschiedene Bestuhlungskonzepte [6] real existierender Flugzeugmodelle verwendet werden.

Weiterhin befindet sich die Covid-19 Pandemie seit Ende 2022 in einer endemischen Lage [12]. Das hat zur Folge, dass viele Verordnungen wie das Einhalten einer Maskenpflicht inzwischen aufgehoben wurden [13]. Damit bietet die simulative Betrachtung der unterschiedlichen Boardingvarianten ein prophylaktisches Werkzeug, um bei zukünftigen Infektionsausbrüchen über die Atemwege für aktuelle oder zukünftige Kabinennutzungskonzepte als Indikator ein Bewertungsmaß zu liefern.

#### REFERENZEN

- [1] ICAO Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx> (Stand 8.2021)
- [2] Anthropological Approaches to Airline Product Development <https://apex.aero/articles/anthropological-approaches-airline-product-development/> (Stand 9.2021)
- [3] BDL Verbraucherumfrage 2018 <https://www.bdl.aero/de/publikation/verbraucherumfrage/> (Stand 8.2021)
- [4] M. Schultz, M. Soolaki, J. Fuchte, O. Michler, P. Schwarzbach – Pandemiegerechte Passagierprozesse in der Flugzeugkabine (DLRK 2022)
- [5] F. Rudolph, F. Reimer, I. Moerland-Masic, T.-M. Bock – Modellierung von Personenbewegungen zur Unterstützung des Flugzeugkabinenentwurfsprozesses (DLRK 2021)
- [6] F. Reimer, F. Rudolph, W. Granzeier, I.-M. Masic, F. Meller, B. Nagel - Applikation des Design Thinking Ansatzes auf den Flugzeugkabinen Entwurfsprozess - (DLRK 2020)
- [7] AnyLogic: Softwarewerkzeuge für Simulationsmodellierung & geschäftliche Lösungen <https://www.anylogic.de/>
- [8] D. Helbing, P. Molnár - Social Force Model for Pedestrian Dynamics (Physical Review E 1995)
- [9] Open-Source-Projekt Corona-Warn-App (coronawarn.app) <https://www.coronawarn.app/de/> (Stand 12.2022)
- [10] Apple, and Google : Exposure Notifications Cryptography Specification V1.2." <https://static.cdn-apple.com/applications/covid19/current/static/contact-tracing/pdf/ExposureNotification-CryptographySpecificationv1.2.pdf> (Stand 12.2022)
- [11] CWA Team - Epidemiological Motivation of the Transmission Risk Level [https://github.com/corona-warn-app/cwa-documentation/blob/main/transmission\\_risk.pdf](https://github.com/corona-warn-app/cwa-documentation/blob/main/transmission_risk.pdf) (Stand 12.2022)
- [12] Das Ende der Corona-Pandemie: Wir erleben in diesem Winter die erste endemische Welle

<https://www.mdr.de/wissen/ende-corona-pandemie-weltweit-zweitausenddreihundzwanzig-deutschland-endemischer-zustand-100.html>

(Stand 12.2022)

[13] Maskenpflicht im Flugzeug entfällt (aero.de)

<https://www.aero.de/news-43450/Maskenpflicht-im-Flugzeug-entfaellt.html> (Stand 12.2022)