

Simulation und Bewertung unterschiedlicher Boarding-Strategien am Beispiel des Airbus A320

Jürgen Wunderlich^{1*}

¹Fakultät Informatik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut, Am Lurzenhof 1, 84036 Landshut, Deutschland; *juergen.wunderlich@haw-landshut.de

Zusammenfassung. Der vorliegende Beitrag vergleicht auf Basis eines Simulationsmodells des Airbus A320 die Boarding-Zeiten bei Anwendung des Random-Boarding sowie der Boarding-Strategien Back-to-Front Boarding, Outside-In Boarding und einer Kombination von Back-to-Front und Outside-In Boarding. Dabei wird deutlich, dass sich einerseits durch das Outside-In Boarding eine Verkürzung der Boarding-Zeiten von über 12% realisieren lässt, aber andererseits hierfür auch eine hohe Disziplin erforderlich ist.

Einleitung

Boarding-Strategien sind immer wieder Gegenstand interessanter Diskussionen. So entwickeln sowohl Reisende als auch Fluggesellschaften und Flughäfen regelmäßig Ideen zur Verbesserung.

Umgesetzt wurden diese Ideen vor der Pandemie kaum. Eventuell ändern aber aktuelle Herausforderungen sowie ein schlankes Simulationsmodell diese Haltung.

1 Motivation

In Zeiten von Corona haben viele Fluggesellschaften den Boarding-Prozess angepasst, um den Mindestabstand sicherzustellen [3]. Das stellt nun eine Steilvorlage dar, generell über andere Boarding-Strategien als das bisher am häufigsten praktizierte Verfahren [2] – nämlich die Passagiere gruppenweise in die Maschine zu lassen und dabei, nachdem First-Class- und andere Vorzugsgäste eingestiegen sind, mit den hinteren Reihen anzufangen – nachzudenken.

Hinzu kommt, dass das Boarding einen Teilabschnitt des Turnaround-Prozesses darstellt. Dieser bezeichnet die Abfertigung eines Flugzeugs zwischen Landung und Start und sollte so schnell bzw. effizient wie möglich ablaufen, was umso wichtiger wird, je stärker der Flugverkehr wieder zunimmt. Denn bestimmte Aktivitäten, wie z.B. die Anweisungen zur Sicherheit durch die Flugbegleiter, können erst begonnen werden, wenn sich alle Passagiere an Bord befinden. Insofern gilt es, mehrere Kriterien und deren Wechselwirkungen zu

beachten, wofür sich die Ablaufsimulation als praktisches Experimentierfeld eignet.

2 Zielsetzung

Das finale Ziel der Untersuchung stellt die Verbesserung des Ablaufs und der Effizienz des Boarding-Prozesses durch die Auswahl einer geeigneten Boarding-Methode dar. Die Grundidee hierbei ist, durch eine Variation der Reihenfolge der einsteigenden Passagiere, Stauungen im Gang möglichst zu vermeiden, was zu einer Beschleunigung des Boardings und somit zu einer Verringerung der benötigten Boarding-Zeit bzw. der Turnaround-Prozesszeit führen soll.

Da der Turnaround-Prozess für die meisten Flugzeugtypen ähnlich von statten geht und sich lediglich der Ablauf und die Dauer einzelner Subprozesse unterscheiden, wird weiterhin angestrebt, die Studie so aufzubauen, dass die Kernaussagen leicht auf andere Flugzeugtypen übertragbar sind. Hierfür erfolgt zunächst die Definition eines realitätsgetreuen Referenzsystems, auf dessen Grundlage schließlich die Erstellung des Simulationsmodells sowie die Bewertung der Vor- und Nachteile der untersuchten Boarding-Strategien stattfindet.

3 Referenzsystem

Mit mehr als 14.000 verkauften Flugzeugen ist die A320-Familie der größte Erfolg von Airbus [4], weshalb dieser Flugzeugtyp für die Simulation gewählt wird. Dessen Sitzplätze werden in Business und Economy Class aufgeteilt und in einer Konfiguration von 154 Sitzen mit 30 Sitzreihen, wovon 2 Sitzreihen nicht für Passagiere vorgesehen sind, angeordnet. Davon befinden sich 28 Sitze mit den ersten 7 Reihen in der Business Class und 126 Sitze mit den Reihen 8-30 in der Economy Class [5]. Bei den Passagieren wird zwischen Geschäftsreisenden und Touristen bzw. danach unterschieden, ob sie im Gepäckfach zu verstauendes Handgepäck mitführen.

Weiterhin geht das Referenzsystem und in der Folge auch die Simulation von acht Annahmen aus:

- das Boarding beginnt mit dem Aufruf der Passagiere, wobei sich zu diesem Zeitpunkt sowohl alle eingetragenen Passagiere als auch das Flugzeug bereits am Gate befinden
- jeder Passagier ist bereits einem festen Sitzplatz zugewiesen, d.h. es erfolgt keine freie Sitzplatzwahl
- die Bordkartenkontrolle erfolgt durch das Flughafenpersonal und stellt die Einhaltung der Aufrufreihenfolge sicher
- die Passagiere betreten das Flugzeug in der Aufrufreihenfolge durch die vordere Flugzeugtür über eine Fluggastbrücke
- durch den Flugzeugtyp A320 ist ein Single-Aisle festgelegt, was bedeutet, dass im Flugzeug nur ein Gang zum Passieren zur Verfügung steht
- im Flugzeug verhalten sich die Passagiere höflich und überholen sich nicht
- die Passagiere sind im Besitz von einem oder keinem Handgepäckstück, das bereits die richtigen Maße aufweist
- es ist genügend Stauraum für das Handgepäck eines jeden Passagiers vorhanden, so dass eintretende Passagiere dieses ohne kapazitätsbedingte Zeitverzögerungen verstauen können

Als einfachste Boarding-Methode wird das Random-Boarding angewandt, das beispielsweise die Airlines Lufthansa und Eurowings am Flughafen München praktizieren. Bei der Random Boarding-Methode haben alle Passagiere einen fest gebuchten Sitzplatz, können das Flugzeug aber ohne Vorgaben in zufälliger Reihenfolge betreten. Lediglich die einzelnen Buchungsklassen (Zone 1 für Business und Zone 2 für Economy Class) werden nacheinander geboardet.

Diese Methode besticht grundsätzlich durch ihre Einfachheit. Ein zusätzlicher Vorteil liegt in der verteilten Auslastung des Flugzeuggangs. Es drängen nicht die ganze Zeit Passagiere in die gleichen Reihen bzw. an die selben Gepäckfächer. Bei dieser Boarding-Methode kommt es zwar auch zu Staus – z.B. weil immer wieder Personen aufstehen müssen, um andere durchzulassen –, aber diese verteilen sich wenigstens über den gesamten Flugzeuggang. Nachteil dieser Methode ist, dass keine Einflussnahme auf die Boarding-Reihenfolge stattfinden kann.

Der Boarding-Prozess selbst beginnt mit der Bordkartenkontrolle. Danach durchlaufen die Passagiere

den Pufferärmel, bevor sie an die erste Gangreihe gelangen. Dort prüfen sie, ob sich ihr Sitzplatz darin befindet. Ist das der Fall, wird – sofern vorhanden – zunächst das Handgepäck verstaut. Im Anschluss daran erfolgt die Einnahme des Sitzplatzes. Die hierfür benötigte Dauer hängt davon ab, wo genau sich der Sitzplatz befindet und wie viele Plätze vor dem zugeordneten Sitzplatz bereits belegt sind. Solange ein Fluggast noch nicht seine Zielreihe erreicht hat, läuft er eine Gangreihe weiter. Der genaue Ablauf ist in Abb. 1 dargestellt. Bei einem Business Class Passagier ändert bzw. verkürzt sich im Vergleich zu einem Economy Class Passagier lediglich die Zeit für die Sitzplatzeinnahme, da es in der Business Class nur zwei Sitze auf jeder Seite gibt.

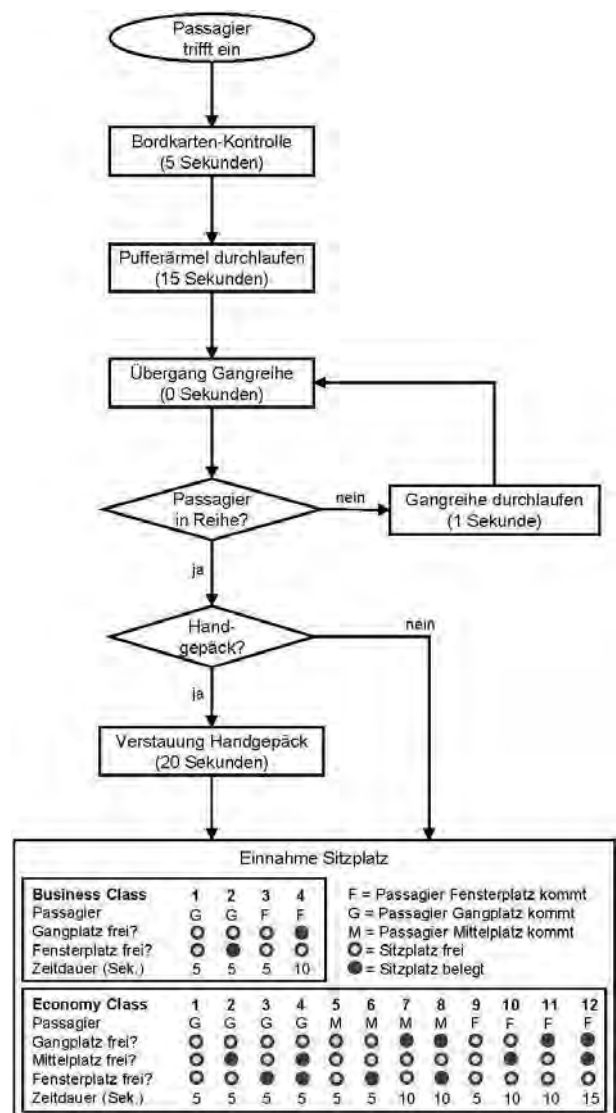


Abbildung 1: Flussdiagramm des Boarding-Prozesses aus Sicht eines Fluggastes

Die Zeiten für die einzelnen Prozessschritte wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Martin Bertling, einem Prozessplaner des Flughafens München, ermittelt. Dabei erfolgte eine Orientierung am offiziellen Dokument für Flughafenplaner „AIRBUS A320 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING Chapter 5-2-0“ (Feb. 2018) [1]. Weiterhin fand eine Ergänzung noch fehlender Daten auf Basis der Dissertation „Analyse der Verzögerungen beim Boarding von Flugzeugen und Untersuchung möglicher Optimierungsansätze“ von Holger Stefan Appel (2014) [2] statt.

Bezeichnung	Zeitangaben	Quelle
mittlere Boardingdauer	18 Minuten	Prozessplaner Flughafen München, offizielles Dokument für Flughafenplaner
Bordkartenkontrolle	5 Sekunden	Prozessplaner Flughafen München
Eintrittszeit Flugzeug ohne Warteschlange	15 Sekunden	Prozessplaner Flughafen München
Einnahme Sitzplatz	keine Person: 5 s eine Person: 10 s zwei Personen: 15 s	Prozessplaner Flughafen München
Handgepäckanteil	Geschäftsreisende: 95% Touristen: 90%	Prozessplaner Flughafen München, Diss. Holger Appel
Handgepäckzeit	20 Sekunden	Prozessplaner Flughafen München, Diss. Holger Appel

Tabelle 1: Datengrundlage für den Boarding-Prozess

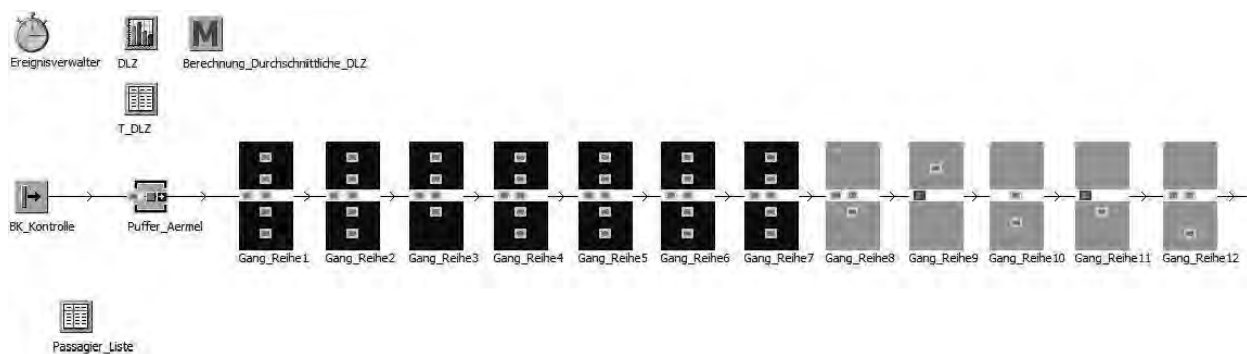


Abbildung 2: Simulation Random-Boarding (Ausschnitt)

4 Simulationsmodell

Ausgangspunkt für die Simulation in Plant Simulation ist eine Passagierliste. Diese legt die Reihenfolge der eintreffenden Passagiere bei der Bordkartenkontrolle fest und enthält für jeden Passagier den Eintrittszeitpunkt, den zugewiesenen Sitzplatz sowie die Anzahl an Handgepäckstücken, wobei die Reihenfolge der Passagiere und die Anzahl an bzw. das Vorhandensein von Handgepäckstücken auf Zufallszahlen basieren.

Der Flugzeugtyp A320 ist in 28 belegbare Sitzreihen unterteilt, welche im Modell als separate Anwendungsbausteine dargestellt sind. Jeder Anwendungsbaustein umfasst entweder vier (Business Class) oder sechs (Economy Class) Sitzplätze, die in Form von Einzelstationen nachgebildet sind. Sowohl die Belegung der Sitzplätze, als auch die sich im Gang beziehungsweise einer Sitzreihe befindlichen Passagiere, werden mithilfe von Animationen veranschaulicht. Jeder Passagier wird als Fördergut in die Simulation eingesetzt. Das Eintreffen des ersten Passagiers in der Bordkartenkontrolle stellt den Anfangszeitpunkt der Simulation dar. Die Simulation ist beendet, sobald der letzte Passagier seinen Sitzplatz (Einzelstation) eingenommen hat.

Das Simulationsmodell wurde anhand der Gesamtdurchlaufzeit für einen Boardingprozess validiert. Die aus mehreren Simulationsläufen resultierende durchschnittliche Durchlaufzeit für das Random Boarding betrug 17 Minuten und 43 Sekunden. Damit beträgt die Abweichung von den 18 Minuten, die der Prozessplaner des Flughafens München als mittlere Boarding-Dauer angegeben hat, lediglich 1,57%, womit das Modell als valide angesehen werden kann.

5 Experimente

Als Alternativen zum Random Boarding werden in der Literatur v.a. die Boardingstrategien Back-to-Front Boarding, Outside-In Boarding und die Kombination von Back-to-Front und Outside-In Boarding genannt. Daher erfolgt nun nach einer kurzen Erläuterung eine simulationsgestützte Untersuchung dieser drei Methoden.

Die Grundidee des **Back-to-Front Boardings** ist es, Passagiere von hinten nach vorne einsteigen zu lassen [2]. Damit soll vermieden werden, dass der hintere Teil des Ganges zu Beginn des Boardings eine Zeit lang ungenutzt bleibt, weil im vorderen Teil bereits die ersten Passagiere den Gang blockieren, um ihr Handgepäck zu verstauen. Es betreten somit die hinten sitzenden Passagiere das Flugzeug als erstes (ausgenommen Business Class), damit jeder Passagier mit möglichst wenigen Unterbrechungen zu seinem Sitzplatz gelangen kann. Dabei ergab sich in der Simulation eine mittlere Durchlaufzeit von 17 Minuten und 55 Sekunden für das Back-to-Front Boarding, was eine Verlangsamung um zwölf Sekunden im Vergleich zum Random Boarding bedeutet.

Bei der **Outside-In Boarding-Methode** wird die Maschine von außen nach innen, also zuerst mit den Fensterplätzen, anschließend mit den Mittelplätzen und als letztes mit den Gangplätzen geboardet [2]. Dabei spielt es keine Rolle, in welcher Reihe die Passagiere sitzen. Jedoch gilt auch hier, dass die Passagiere der Business Class eine höhere Priorität genießen und damit beginnen. In der Simulation konnte für diese Boarding-Methode eine mittlere Durchlaufzeit von 15 Minuten und 34 Sekunden erzielt werden. Verglichen mit dem Ausgangswert stellt dieses Ergebnis eine Verbesserung von zwei Minuten und neun Sekunden bzw. 12,1% dar.

Genauso wie bei der Back-to-Front Boarding-Methode betreten bei der **Kombination aus Back-to-Front und Outside-In Boarding** die Passagiere von hinten nach vorne das Flugzeug. Zeitgleich werden nach dem Prinzip des Outside-In Boardings zuerst die Fensterplätze, dann die Mittelplätze und zu guter Letzt die Gangplätze belegt [2].

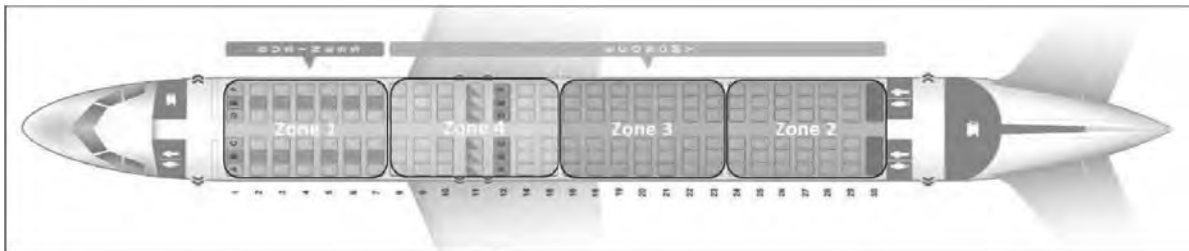


Abbildung 3: Back-to-Front Boarding

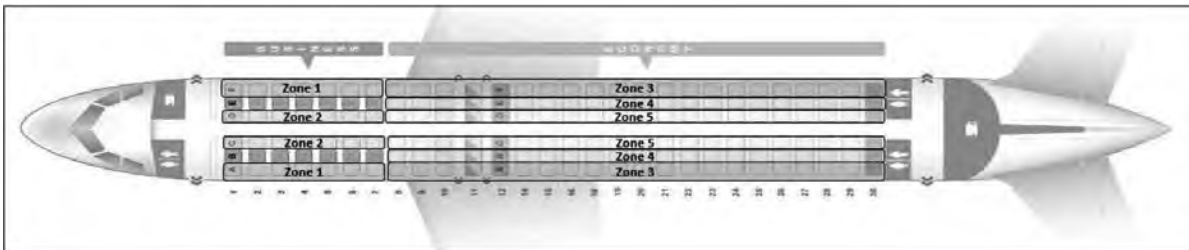


Abbildung 4: Outside-In Boarding

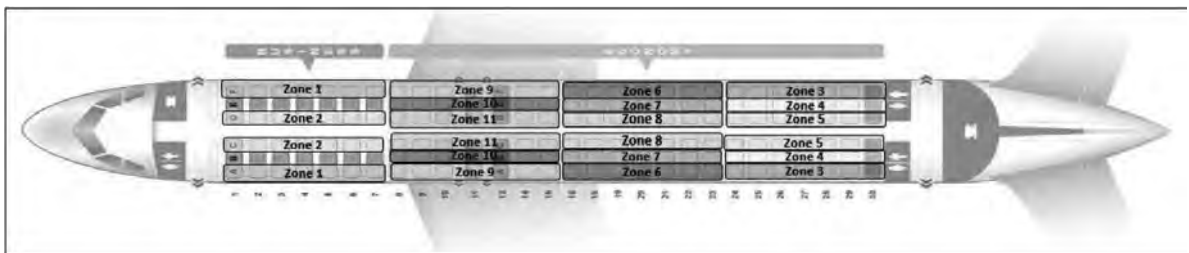


Abbildung 5: Kombination aus Back-to-Front und Outside-In Boarding

Auch hier werden als Erstes die Business Class Passagiere und als Zweites die Economy Class Passagiere geboardet. In den Simulationsläufen ergab sich für diese Boarding-Methode eine durchschnittliche Durchlaufzeit von genau 16 Minuten. Dieser Wert bedeutet zwar immer noch eine Verbesserung von einer Minute und 43 Sekunden gegenüber dem Random Boarding, aber eine Verschlechterung von 26 Sekunden im Vergleich zum reinen Outside-In Boarding.

In der Gesamtbetrachtung ist das Back-to-Front Boarding am ineffizientesten. Das Hauptproblem liegt darin, dass Passagiere viel Zeit mit Warten auf dem Gang verbringen, weil relativ viele Passagiere gleichzeitig versuchen, wenige Reihen zu besetzen. Zum einen kommt es hierbei zu Störungen in der Sitzreihe, wenn ein bereits sitzender Passagier wieder aufstehen muss, weil ein wartender Passagier am Fenster oder in der Mitte sitzt und zum anderen können lediglich die ersten an der Sitzreihe ankommenden Passagiere ihr Handgepäck verstauen, während alle nachrückenden Passagiere den Gang nicht zum Verstauen des Gepäcks, sondern häufig nur als Wartebereich nutzen können. Im Ergebnis verlagert sich dadurch die Warteschlange von der Gangway in das Flugzeug. Vorteilhaft erscheint, dass diese Methode, genauso wie das Random Boarding, einfach zu verstehen ist, da das Flugzeug in nur wenige Bereiche mit gleichzeitig boardenden Passagieren unterteilt wird.

Für das Outside-In Boarding spricht, dass sich keine Stauungen im Flugzeuggang aufgrund von im Weg stehender Passagieren ergeben. Im Gegensatz zum Back-to-Front Boarding erfolgt hier eine bessere Verteilung hinsichtlich der Auslastung des Gangs (ähnlich zum Random Boarding) gegeben. Es müssen nämlich Passagiere, die einmal sitzen, nicht wieder aufstehen und blockieren somit nicht erneut den Gang. Die Vorteile der Boarding Methoden sind in der verbesserten Durchlaufzeit erkennbar. Als entscheidender Nachteil wird in der Literatur genannt, dass die Plätze einer Sitzreihe nicht gemeinsam geboardet werden. Das heißt, dass sich Reisegruppen bzw. Familien beim Einstieg in das Flugzeug kurzzeitig trennen müssen. Demnach ist die Akzeptanz gegenüber dieser Boarding Methoden gering, da die meisten Passagiere einen gewissen Komfort beim Fliegen erwarten. Somit verwarfen viele Fluggesellschaften diese Boarding-Methode nach einer kurzen Testphase. Eine Lösung hierfür wäre, dass z. B. Familien – ähnlich wie Business Class Passagiere – beim Einsteigen bevorzugt werden.

Mit der Kombination der Back-to-Front und der Outside-In Boarding Methode wird versucht, die Vorteile dieser beiden Methoden zu verbinden. Das Boarding des Flugzeugs erfolgt von hinten nach vorne, so dass die Auslastung im Flugzeuggang möglichst gleichmäßig ist. Gleichzeitig wird das Flugzeug aber auch von außen nach innen geboardet, um Störungen innerhalb der Reihen, also Reiheninterferenzen, zu vermeiden. In der vorliegenden Simulation waren diese Vorteile bei einer Flugzeugauslastung von 100% jedoch nicht nachweisbar (sondern erst bei weiteren Versuchen mit einer Auslastung von 90% und weniger). Hinzu kommt, dass diese Methode in der Praxis einige Nachteile mit sich bringt. Zum einen stellt die richtige Anordnung der Passagiere vor dem Flugzeugeintritt eine Herausforderung dar und zum anderen müssen sich wie bereits unter der Boarding Methode Outside-In beschrieben, auch hier Familien, bzw. Reisegruppen generell, trennen.

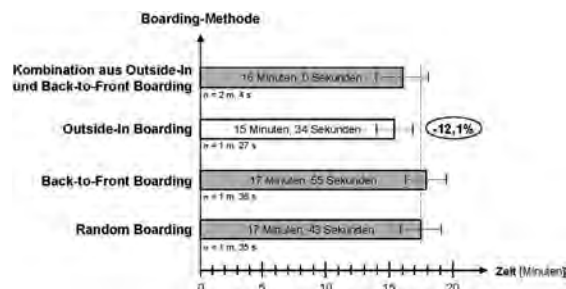


Abbildung 6: Mittlere Boarding-Dauer und Standardabweichung der einzelnen Boarding-Methoden nach jeweils 35 Simulationsläufen

Sollten sich Fluggesellschaften aufgrund der bisherigen Ergebnisse und der aktuellen Situation überlegen, ihre bisherige Boarding-Strategie zu ändern, bietet das vorliegende Simulationsmodell eine gute Ausgangsbasis für zusätzliche bzw. zukünftig mögliche Erweiterungen, um den simulierten Boarding-Prozess noch weiter an die Realität anzunähern und damit für konkrete Umgebungs- bzw. Auslastungssituationen die optimale Boarding-Strategie zu ermitteln. Ansätze für mögliche Erweiterungen sind z.B. die Aufnahme zusätzlicher Boarding-Methoden, die Differenzierung nach Anzahl und Art des Handgepäcks in Trolley, Rucksack und Jacke einschließlich Kapazitätsbeschränkungen der Gepäckfächer sowie die Berücksichtigung unterschiedlicher persönlicher Laufgeschwindigkeiten und einer Fehlerquote für verspätete Passagiere.

6 Conclusio

Bereits mit einem einfachen Simulationsmodell gelang es, die unterschiedlichen Boarding-Strategien anschaulich gegenüberzustellen. Auffällig war, dass sich zumindest bei einer Auslastung von 100% die einfachere Outside-In Boarding-Strategie gegenüber der Kombination aus Outside-In und Back-to-Front Boarding als vorteilhafter erwies. Dabei bestand der Vorteil nicht nur in einer um 26 Sekunden kürzeren mittleren Boarding-Dauer, sondern vor allem in einer mit einer Minute und 27 Sekunden deutlich niedrigeren Standardabweichung im Vergleich zur Standardabweichung von zwei Minuten und vier Sekunden bei der Boarding-Kombination. Dies erhöht die Planungssicherheit erheblich, was wiederum v.a. bei einer Auslastung von 100% wichtig erscheint, die bei den wenigen Flügen in der aktuellen Zeit durch die Fluggesellschaften angestrebt wird.

Im Zuge der Umsetzung in die Praxis werden zusätzlich mindestens visuelle Hilfsmittel erforderlich sein, um das Verständnis der Passagiere gegenüber der angewandten Boarding-Strategie und ihren Vorgaben zu erhöhen. Weiterhin gilt, sich in Erinnerung zu rufen, dass die erste Voraussetzung für eine erfolgreiche Realisierung ist, dass sich alle Fluggäste spätestens zu einer fest definierten Zeit am Gate eingefunden haben. Da sich das so gut wie nie zu 100% gewährleisten lässt, scheitert schon daran die Umsetzung von noch ausgeklügelteren Boarding-Strategien, als sie in diesem Beitrag vorgestellt wurden.

Ein Vertreter der Lufthansa hält das Boarding sogar für einen zu komplexen Ablauf, um es allein mit mathematisch-informatischen Methoden optimieren zu können. So müssten Experten, die modellieren und simulieren können, mit Psychologen zusammengebracht werden, die Gruppenphänomene verstehen und erklären. Insofern steht vor einer Verfeinerung des Simulationsmodells immer die Frage, welcher Aufwand damit verbunden ist und welcher Nutzen im Hinblick auf die Übertragbarkeit in die Praxis tatsächlich entsteht, sofern nicht bereits die Voraussetzungen des Modells als zu restriktiv eingeschätzt werden. Da das aus der Vor-Corona-Zeit bekannte Gedränge in Flugzeugen während der Pandemie auch aus Gründen des Infektionsschutzes vermieden werden muss, böte sich jetzt immerhin die Chance, einen Versuch in Richtung des vergleichsweise einfach verständlichen Outside-In-Boardings zu wagen.

References

- [1] Airbus. *A320 – Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning*; 2018.
- [2] Appel, H. *Analyse der Verzögerungen beim Boarding von Flugzeugen und Untersuchung möglicher Optimierungsansätze* [Dissertation]. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen; 2014
- [3] Condor. *Reisen in Zeiten von Corona*; <https://www.condor.com/de/blog/reisen-in-zeiten-von-corona/> (abgerufen am 01.07.2020)
- [4] Flug Revue. *Top 10 – Die größten Kunden der A320-Familie von Airbus*; [https://www.flugrevue.de/zivil/bestseller-aus-europa-top-10-die-groessten-kunden-der-a320-familie-von-airbus/Reisen in Zeiten von Corona](https://www.flugrevue.de/zivil/bestseller-aus-europa-top-10-die-groessten-kunden-der-a320-familie-von-airbus/Reisen%20in%20Zeiten%20von%20Corona); (abgerufen am 01.07.2020)
- [5] Seatguru. https://www.seatguru.com/airlines/Lufthansa/Lufthansa_Airbus_A320-200_NEK.php; (abgerufen am 01.07.2020)