

EINSETZBARKEIT GEIELTER AUSSTEIGE VARIANTEN BEIM DEBOARDING VON FLUGZEUGEN

Dipl.-Ing. H. Appel, Univ.-Prof. R. Henke
Institut für Luft- und Raumfahrt, RWTH Aachen
Wüllnerstraße 7, 52062 Aachen, Germany

Zusammenfassung

Der Turnaround-Prozess von Flugzeugen beinhaltet eine Vielzahl miteinander interagierender Prozesse wie die Reinigung, Betankung und das Ein- und Aussteigen der Passagiere, bei denen eine Optimierung der passagierbezogenen Prozesse aufgrund ihrer Unvorhersagbarkeit eine schwierige Aufgabe ist. Eine bessere Planbarkeit und Verkürzung der Turnaround-Zeit kann sowohl Kosten für die beteiligten Unternehmen einsparen, Verspätungen von Flugzeugen reduzieren als auch die Kapazität von Flughäfen erhöhen.

Im Bereich des Boardings der Passagiere wurden in der Vergangenheit bereits viele verschiedene Einsteigemethoden entwickelt und untersucht. Auch werden von den Fluggesellschaften die verschiedensten Methoden angewendet, wie beispielsweise das freie (Random) Boarding bei Low-Cost-Carriern und das Block-Boarding bei traditionellen Fluggesellschaften.

Bei der Betrachtung des Deboardings der Passagiere wird ersichtlich, dass hierfür keine Aussteigevarianten angewendet werden und die Passagiere nach einem selbstorganisierten Prinzip das Flugzeug verlassen. Aufgrund der Selbstorganisation dieses Prozesses und der schlechten Umsetzbarkeit etwaiger Aussteigemethoden sind zu diesem Thema bisher kaum Untersuchungen angestellt worden.

Um zum Thema des Deboardings quantifizierbare Aussagen über den Nutzen und ein mögliches Einsparungspotential von definierten Aussteigevarianten machen zu können, beschäftigt sich diese Arbeit mit der Modellierung und Auswertung verschiedener Aussteigevarianten, die in einer Simulationsumgebung untersucht werden. Abschließend werden auf Basis dieser Untersuchungen Aussagen über den möglichen Nutzen dieser Methoden im Vergleich zum heutigen Stand gegeben und bewertet.

1. EINLEITUNG

Aufgrund weltweit steigender Flugbewegungen und steigendem Kostendruck für Fluggesellschaften rückt der Flugzeug-Turnaround-Prozess immer weiter in den Fokus für Optimierungen. Da eine Fluggesellschaft mit einem am Boden befindlichem Flugzeug keine Transportarbeit verrichtet und somit keinen Gewinn erwirtschaftet, sollte die Turnaround-Zeit so kurz wie möglich gehalten werden. Weiterhin ist auch der Flugzeug-Turnaround Ursache vieler Verspätungen, die u. a. zu einer schlechten Planbarkeit und hohen Zusatzkosten für die Fluggesellschaften führen. Der Fortschritt bezüglich der Pünktlichkeit der Flugbewegungen in Europa zeigt heutzutage nur schwache Resultate. Im Vergleich zum ACARE Ziel, bei dem eine Pünktlichkeit von 99% mit weniger als 15 Minuten Verspätung angestrebt wird, liegt der Durchschnittswert in Europa bei lediglich 78,4% (Stand 2008). Eine kürzere Turnaround-Zeit und bessere Vorhersagbarkeit der Prozesse kann sowohl Verspätungen verringern als auch Kosten für alle Beteiligten verringern sowie die Flughafenkapazitäten erhöhen. Die Hauptaufgabe zur Verbesserung der Pünktlichkeit ist die Vorhersagbarkeit der Prozesse zu verbessern, indem deren Varianz verringert wird.

Der Flugzeug-Turnaround beinhaltet eine Vielzahl an interagierenden Subprozessen, die während der Vorbereitung für den nächsten Flug durchgeführt werden. Diese sind beispielsweise die Reinigung, Betankung und das Ein- und Aussteigen (Boarding und Deboarding) der

Passagiere. Im übergeordneten Turnaround-Prozess ist eine Optimierung der passagierbezogenen Prozesse eine der schwierigsten Aufgaben. Dies kommt zum einen von der Masse an Personen, die auf engstem Raum ihr Ziel in der Flugzeugkabine ansteuern und zum anderen aus der Unvorhersagbarkeit dieser Prozesse. Auch heutzutage beinhalten diese Prozesse noch ein hohes Potential für Verbesserungen und sind daher im Bereich des Boardings eines der am meisten untersuchten Turnaround-Prozesse.

In der Vergangenheit wurde bereits eine Vielzahl an Einsteigevarianten mittels mathematischer, simulativer, statistischer und empirischer Ansätze von Fluggesellschaften, Forschungseinrichtungen und anderen Stellen entwickelt. Diese zeigen in Computersimulationen ein großes Potential, die Einsteigezeit zu verringern. Nichtsdestotrotz sind zum Aussteigeprozess der Passagiere aus Flugzeugen, dass auf den selben Prinzipien wie das Einsteigen beruht, kaum Untersuchungen veröffentlicht oder anderweitig publik gemacht worden. Hierbei lässt sich kein alternativer Ansatz für das Aussteigen der Passagiere, noch die Begründung für einen Verzicht darauf finden. Eine Ursache hierfür liegt darin, dass es sich beim Aussteigen bisher um einen ungeordneten und selbstorganisierten Prozess handelt, der nur schwer zu beeinflussen ist. Aus diesem Grund müssen auch die entsprechenden Schwachstellen in der Prozesskette erst noch identifiziert werden. Der Untersuchungsbedarf zeigt sich auch daran, dass sich die einzige Fundstelle zu Aussteigevarianten im Internet als ein Diskussionsforum von hauptsächlich

Fluggästen darstellt, die über den nicht zufriedenstellenden Prozess des Aussteigens aus dem Flugzeug diskutieren. Da sowohl eine Verkürzung der Einsteigezeit als auch der Aussteigezeit zu einer direkten Verkürzung der gesamten Turnaround-Zeit führt, sollte auch der Bereich des Aussteigens nicht vernachlässigt werden.

Der Hauptunterschied zwischen dem Ein- und Aussteigeprozess der Passagiere liegt darin, dass beim Einsteigen alle Passagiere durch die gleiche Quelle (die Kabinentür) den Simulationsbereich (die Flugzeugkabine) betreten und unterschiedliche Ziele (die jeweiligen Sitze) haben. Beim Aussteigen hingegen haben die Passagiere unterschiedliche Quellen (ihre Sitze) und das gleiche Ziel (die Flugzeugtür). Während beim Einsteigen die Passagiere am Gate noch sortiert werden und sich nach Betreten des Flugzeugs im Gang verteilen können, befinden sich beim Aussteigen bereits alle Passagiere in der Kabine auf engstem Raum und versuchen so schnell wie möglich das Flugzeug zu verlassen. Weiterhin ist ihr Ziel ein gemeinsames Ziel im Flugzeug, wodurch weitere Stauungen entstehen. Konkret bedeutet dies für den Aussteigeprozess, dass solange Platz im Gang ist Fluggäste von ihren Sitzplätzen aufstehen und versuchen, ihr Gepäck aus den Gepäckfächern zu nehmen um das Flugzeug schnellstmöglich zu verlassen. Aus diesem Grund wird heutzutage normalerweise eine *Random Deboarding Methode* verwendet, nach der die Passagiere in einem selbstorganisierten, chaotischen Prinzip das Flugzeug verlassen.

Aus diesem Grund sollen in dieser Untersuchung verschiedene alternative Aussteigeverfahren beim Turnaround-Prozess von Flugzeugen untersucht werden. Hierzu werden in den folgenden Abschnitten aus den bereits untersuchten Einsteigeverfahren angepasste Aussteigeverfahren abgeleitet und entwickelt. Diese werden anschließend aufgrund ihrer Komplexität und zahlreichen Interaktionen zwischen den einzelnen Passagieren in einer Computersimulation mit verschiedenen Rahmenbedingungen für die Passagiere simuliert und die Ergebnisse auf ihre Dauer und Vorhersagbarkeit der Aussteigezeit untersucht. Mit diesen Ergebnissen soll geprüft werden, ob die Anwendung von definierten Aussteigemethoden in Bezug auf die Dauer und Vorhersagbarkeit sinnvoll ist, oder ob hierfür das bestehende System das effektivste ist. Hierzu soll in dieser Untersuchung herausgefunden werden, ob eine Verkürzung der Aussteigezeit durch die Anwendung gezielter Aussteigeverarianten überhaupt möglich ist, bevor sich mit der technischen Umsetzung solcher Methoden beschäftigt wird.

2. CHARAKTERISIERUNG DES DEBOARDING-PROZESSES

Bei der Betrachtung des Aussteigeprozesses steht der Passagier im Vordergrund. Dieser versucht in der Regel nicht, ein Optimum für das gesamte Flugzeug zu erreichen, sondern schnellstmöglich selbst das Flugzeug zu verlassen. Der hier relevante Ablauf besteht im Wesentlichen aus: Aufstehen vom Sitzplatz und in den Gang treten; Erreichen der Gepäckablage und Ausladen des Gepäcks; Bewegung zum Ausgang des Flugzeugs und Verlassen des Flugzeugs durch die Flugzeugtür.

Da sich alle Passagiere auf die Flugzeugtür als Ziel hinbewegen, muss sich der Passagierstrom zwangsläufig zwischen dem Aufstehen vom Sitzplatz und dem Verlassen des Flugzeugs verdichten. Unter Berücksichtigung des schmalen Ganges im Flugzeug ergeben sich hierbei zwangsläufig Stauungen und Verzögerungen des Passagierflusses.

2.1. Entwicklung von Aussteigeverarianten

2.1.1. Stand der Technik – Einsteigeverarianten

Bisher werden gezielte Varianten, bei denen die Passagiere in einer definierten Reihenfolge agieren müssen, nur beim Einsteigen und nicht beim Aussteigen angewendet. Auch theoretische Untersuchungen sind bisher nur für den Bereich des Einsteigevorganges veröffentlicht. Aus diesem Grund kann bei der Erarbeitung von Aussteigeverarianten nicht auf existierende Vorarbeiten zurückgegriffen werden. Für die Definition und Erarbeitung neuer Varianten wurden aus diesem Grund bereits angewandte Einsteigemethoden als Grundlage genommen und daraus durch Anpassungen Aussteigeverarianten entwickelt.

Hierzu soll zunächst kurz auf die bestehenden Einsteigeverarianten eingegangen werden. Diese variieren je nach Flugzeugtyp oder auch Betreiber-Philosophie (Low-Cost-Carriers oder traditionelle Airline). Die benötigte Zeit zum Ein- und Aussteigen der Passagiere hängt hauptsächlich von der Reihenfolge der Passagiere und somit von den verursachten Störungen ab. Störungen können beim Einsteigen sowohl in der Sitzreihe auftreten, wenn ein bereits sitzender Passagier wieder aufstehen muss, weil ein wartender Passagier näher am Fenster sitzt oder auch im Gang, wenn beispielsweise ein Passagier sein Gepäck in der Gepäckablage verstaut und nachfolgende Passagiere hierdurch warten müssen, da sie den Gang nicht passieren können. Um solche Störungen zu verringern und den Einsteigeprozess zu verbessern wurden hierzu verschiedenen Varianten entwickelt, die hauptsächlich auf drei Variationen beruhen.

Das einfachste System ist das *Random Boarding*. Hierbei werden den Passagieren keine festen Sitzplätze zugeordnet. Diese einfache Methode wird häufig von Low-Cost-Carriers eingesetzt. Ein Hauptproblem ist, dass viele Passagiere zu Beginn des Einsteigevorganges in das Flugzeug wollen, um auf einem guten Platz zu sitzen und das Gepäck möglichst nahe an ihrem Sitz verstauen zu können, was zu einem chaotischen Einsteigevorgang führt. Nichtsdestotrotz führt diese Variante zu einem schnellen Boarding, da sich nachfolgende Passagiere bei einer Stauung im Gang aufgrund nicht im Vorhinein fest verteilter Sitzplätze spontan für einen anderen Sitzplatz entscheiden können und so die Stauungen reduziert werden.

Eingesetzte Möglichkeiten zum Sortieren der Passagiere beim Einsteigen bietet eine Unterteilung der Flugzeugkabine in ihrer Längs- und/oder Querrichtung. Hierbei steigen die Passagiere von hinten nach vorne ein, um Interferenzen im Gang zu vermeiden oder auch von außen nach innen (von den Fenster- zu den Gangplätzen). Als Resultat treten immer noch Stauungen in den einzelnen Abschnitten auf, sind aber auf diese

Abschnitte begrenzt und finden nicht im ganzen Flugzeug statt.

2.1.2. Neue Deboarding Methoden

Anhand der vorgestellten Einstiegevarianten können nun abgeleitete Aussteigevarianten entwickelt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass beim Aussteigen der Passagiere ein anderer Ablauf hinsichtlich des Passagierflusses stattfindet. Stauungen im Gang müssen im Fall des Aussteigens nicht zu einem Erliegen des Passagierflusses führen, da durch Interferenzen und somit Blockierungen des Ganges im hinteren Bereich der Kabine weiter vorne sitzenden Passagieren ermöglicht wird, ihrerseits ihre Plätze zu verlassen und so den Gang aufzufüllen. Weiterhin sind beim Aussteigen der Passagiere keine Interferenzen in den Sitzreihen zu beachten, da einmal im Gang stehende Passagiere sich normalerweise nicht wieder auf ihren Sitz setzen.

Die für diese Untersuchung entwickelten Aussteigevarianten sind:

- Random Deboarding:

Dieses Verfahren stellt den heutzutage verwendeten Ablauf des Aussteigens dar. Hierbei wird lediglich ein Unterschied zwischen den einzelnen Sitzklassen gemacht. Da diese die aktuell verwendete Methode darstellt, wird sie als Referenz für alle weiteren Untersuchungen verwendet.

- Back-to-front Deboarding:

Das Back-to-front Deboarding kann aus der entsprechenden Einstiegsmethode abgeleitet werden. Hierbei verlassen die Passagiere das Flugzeug von hinten nach vorne in definierten Blöcken. Diese Methode wird allerdings nur auf die Economy-Klasse angewendet. Die Business-Klasse wird ebenfalls in Blöcke aufgeteilt, steigt aber von vorne nach hinten aus, damit zu Beginn des Aussteigens keine zu großen Leerzeiten entstehen.

- Front-to-back Deboarding:

Bei dieser Methode wird die Business-Klasse genau wie beim Back-to-front Deboarding von vorne nach hinten ausgeladen. In der Economy-Klasse hingegen wird das Flugzeug in umgekehrter Reihenfolge im Vergleich zur vorhergehenden Methode, also ebenfalls von vorne nach hinten entladen. Dies hat den Vorteil, dass von hinten kommende Passagiere nicht weiter vorne sitzende Passagiere am Verlassen ihres Platzes und am Ausladen des Gepäcks aus den Gepäckablagefächer hindern.

- Inside-out Deboarding:

Diese Methode stellt eine Umkehrung des Outside-in Boardings dar. Mit dieser Methode soll eine Auflockerung des Passagieraufkommens im Gang erreicht werden um den Komfort zu steigern und das Erreichen der Gepäckablage zu erleichtern.

- Extended Back-to-front Deboarding:

Um der langen Leerzeit beim Back-to-front Deboarding entgegenzuwirken, verlässt bei dieser Methode die komplette Gangreihe gleichzeitig ihren Sitzplatz. Anschließend wird von hinten nach vorne und vom Gang zum Fenster ausgestiegen. Hierbei wird versucht, die Vorteile des Back-to-front und des Inside-out Deboardings zu kombinieren.

- Side-by-side Deboarding:

Bei dieser Methode wird die Flugzeugkabine in ihre linke und rechte Hälfte unterteilt und nacheinander

verlassen. Hierdurch soll eine Auflockerung des Passagieraufkommens in der Kabine erreicht werden.

Die folgenden Grafiken stellen eine Draufsicht auf die Sitze der Flugzeugkabine dar, wobei die vordere Tür für das Deboarding verwendet wurde (links in der Grafik). Die Nummern in den Abbildungen repräsentieren die Reihenfolge für das Verlassen des Flugzeugs. Gleiche Nummern definieren hierbei Blöcke von Passagieren, die zur selben Zeit ihren Sitzplatz verlassen und aussteigen.

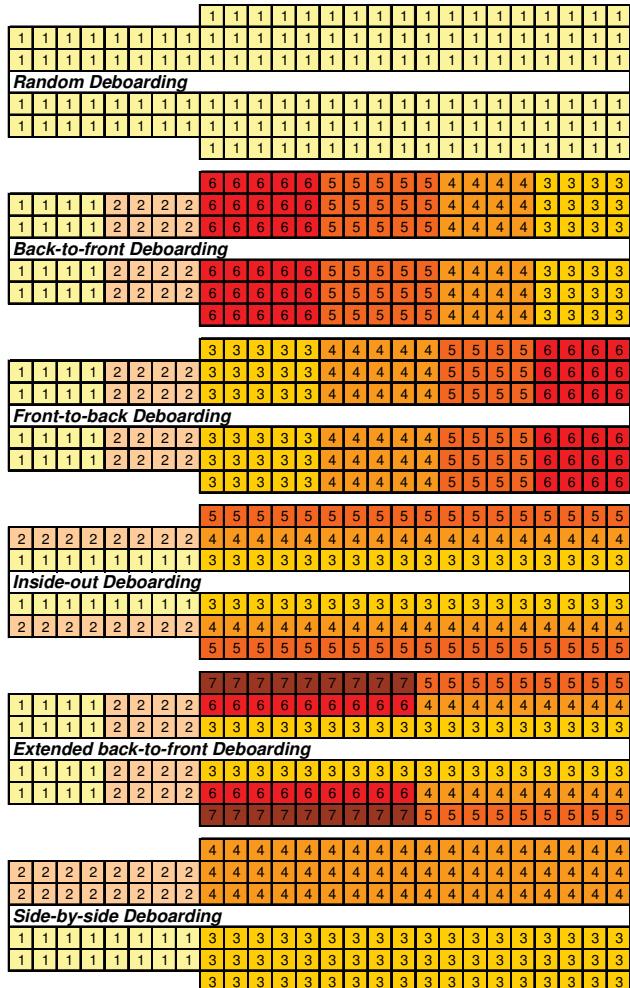


BILD 1. Untersuchte Aussteigevarianten.

3. SIMULATIONSUMGEBUNG

Zur Untersuchung der zuvor definierten Aussteigemethoden wurde ein Testfall in einer Simulationsumgebung aufgebaut. Hierbei wurde ein Flugzeuglayout mit 140 Sitzen in einer 2-Klassen Bestuhlung (Business-Klasse: 2-2; Economy-Klasse: 3-3) und einer Flugzeugtür für das Verlassen des Flugzeugs gewählt. Um die Simulation möglichst realitätsnah zu gestalten, wurden verschiedene Passagiertypen mit verschiedenen Rahmenbedingungen (wie Laufgeschwindigkeit und Platzbedarf) definiert. Diese sind im Rahmen dieser Simulation Geschäftsreisende (höchste Laufgeschwindigkeit, schnellste Platzfindung, am meisten schweres Handgepäck), Touristen (reisen häufig in Gruppen, selten schweres Handgepäck), Kinder (langsame Laufgeschwindigkeit, kein großes Gepäck) und

Passagiere mit körperlichen Einschränkungen (langsamste Laufgeschwindigkeit). Weiterhin wird die Menge und Größe (kein, leichtes und schweres Gepäck) des mitgeführten Handgepäcks in der Simulation berücksichtigt um diese Störungen des Prozesses in der Simulation abzubilden. Handgepäck ist hierbei ein großes Problem für reibungsfreie Prozesse, da heutzutage viele Passagiere große Trolleys in der Kabine mit sich führen und für das Ausladen lange Zeit im Gang stehen, ohne dass nachfolgende Passagiere überholen können. Als letzten Punkt für die Untersuchung wurde die Auslastung der Kabine für die Simulation auf 100% angesetzt, um Schlussfolgerungen für das ungünstigste Szenario treffen zu können.

Um die aufgeführten Eingangsparameter in der Simulation erfassen zu können, wurde in einem ersten Schritt ein Ablaufplan für das Aussteigen anhand der oben genannten Eingangsparameter, der zu untersuchenden Aussteigemethode und den definierten statistischen Einstellungen für die Verteilung der Passagiertypen, Handgepäck, usw. erstellt. Nach Vorgabe dieser Rahmenbedingungen wurden für jede Konfiguration 5 Ablaufpläne mittels eines Zufallsgenerators erstellt. In einem zweiten Schritt werden diese Ablaufpläne in einem Flugzeuglayout mittels des Simulationstools TOMICS simuliert. TOMICS ist ein auf Personenprozesse ausgelegtes Simulationsprogramm, das vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt wurde. In einem letzten Schritt werden die einzelnen Durchläufe zeitlich gemittelt um durchschnittliche Aussteigezeiten und die Vorhersagbarkeit der einzelnen Methoden durch ihren minimalen und maximalen Wert zu erhalten.

Bei der Untersuchung der definierten Aussteigvarianten ist die richtige Anpassung der Zeiten zwischen den einzelnen Blöcken eine schwierige Aufgabe. Sind diese Zeiten zu klein gewählt, tritt eine zu starke Vermischung der Blöcke auf und es wird indirekt nahezu das Random-Deboarding simuliert. Werden die Abstände zu groß dimensioniert, entstehen zu große Lücken zwischen den einzelnen Blöcken und das Simulationsergebnis fällt zu groß aus. Somit müssen diese Zeiten in der Simulation iterativ angepasst werden und müssen in der Realität je nach Fortschritt der vorhergehenden Gruppe angepasst werden. Hierzu wurden für die verschiedenen Aussteigvarianten Events definiert, zu denen das Aufstehen der Passagiere eines Blockes erfolgt. Diese Events sind:

(1) *Deboarding in Blöcken von vorne nach hinten:*
Block „2“ beginnt mit dem Deboarding, sobald alle Passagiere von Block „1“ aufgestanden sind und ihr Gepäck ausgeladen haben.



BILD 2. Deboarding in Blöcken von vorne nach hinten.

(2) *Deboarding in Blöcken von hinten nach vorne:*

Block „2“ beginnt mit dem Deboarding, sobald alle Passagiere von Block „1“ den gesamten Bereich von Block „2“ passiert haben.

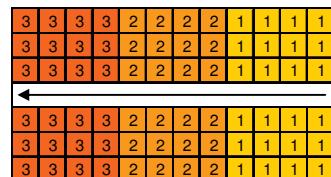


BILD 3. Deboarding in Blöcken von hinten nach vorne.

(3) *Deboarding in Blöcken von innen nach außen:*

Block „2“ beginnt mit dem Deboarding, sobald alle Passagiere aus Block „1“ den Gang verlassen haben.

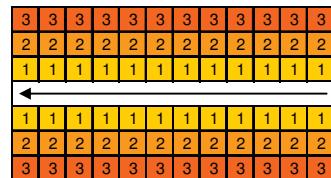


BILD 4. Deboarding in Blöcken von innen nach außen.

4. SIMULATIONSERGEBNISSE

In diesem Abschnitt werden erst die Analyseergebnisse der einzelnen Aussteigemethoden dargestellt, bevor eine zusammenfassende Betrachtung durchgeführt wird. Anschließend soll noch auf mögliche Weiterentwicklungen und Schlussfolgerungen aus diesen Simulationen eingegangen werden.

4.1. Ergebnisse der Simulationen

Die *Random-Deboarding* Methode liefert im Vergleich zu den anderen untersuchten Methoden die kürzeste Aussteigezeit. Dies hängt damit zusammen, dass jeder Passagier das Ziel verfolgt, das Flugzeug schnellstmöglich zu verlassen und somit das beste Resultat erzielt wird. Betrachtet man den Prozess genauer, wird ersichtlich, dass am Anfang des Prozesses durch das gleichzeitige Heraustreten der Passagiere in den Gang dieser komplett ausgelastet ist und so anfangs keine Lücken entstehen. Haben die ersten Passagiere aber ihr Gepäck entladen, treten Nachteile an diesem Verfahren durch die gegenseitigen Behinderungen im Gang auf, der zu diesem Zeitpunkt schon voll ausgelastet ist. Auch werden durch die bereits im Gang stehenden Passagiere die näher am Fenster sitzenden Passagiere daran gehindert, die Gepäckablagefächer zu erreichen. Ebenso behindern diese Passagiere ein reibungsfreies Aussteigen der Passagiere, die bereits ihr Gepäck haben (Ganginterferenzen). Ebenfalls tritt das Problem auf, dass durch die Auslastung des Ganges keine weiteren Passagiere in den Gang treten können und manche Passagiere künstlich Stauungen verursachen, indem sie den Aussteigeprozess aufhalten um Mitreisende aufzustehen zu lassen. Weiterhin fällt auf, dass die Passagiertür eine weitere Engstelle des Prozesses bildet,

indem sich Passagiere vor der Tür aufstauen, was die Bewegung im Gang ausbremsst.

Das Back-to-front Deboarding ist im Vergleich die langsamste Methode. Ursache hierfür ist, dass die Blöcke in der Mitte des Flugzeugs warten müssen, bis die dahinter liegenden Blöcke vorbei gegangen sind. Weitere Lücken im Passagierfluss entstehen, wenn ein weiter hinten gelegener Block den nächsten Block passiert hat und dieser daraufhin erst mit dem Ausladen des Gepäcks beginnen kann, wodurch über lange Zeiträume keine Passagiere an der Flugzeugtür ankommen. Zusätzlich treten innerhalb der einzelnen Blöcke weiterhin große Passagierdichten im Gang auf, die das Ausladen des Handgepäcks erschweren.

Im zeitlichen Vergleich stellt das Front-to-back Deboarding nach dem Random Deboarding eine gute Alternative dar. Auch wenn das Ziel, dass seltener Passagiere von hinten die vorderen Passagiere am Ausladen des Gepäcks und am Aussteigen hindern, erreicht wird, herrscht immer noch eine große Passagierdichte innerhalb des Blocks. Weiterhin entstehen auch hier Lücken im Prozess, wenn die vorderen Passagiere bereits in Richtung Tür laufen und die hinteren ihr Gepäck noch nicht komplett ausgeladen haben. Hierdurch entstehen im Gang größere Gruppen von Passagieren, die zeitlich versetzt die Flugzeugtür erreichen.

Das Inside-out Deboarding liefert in der Simulation relativ schlechte Ergebnisse und weiß die höchste Streuung bei den Simulationsergebnissen auf. Auch wenn mit dieser Methode Auflockerungen beim Ausladen des Gepäcks für jeden einzelnen Passagier erreicht werden, führt die Trennung dieser Gruppen zu langen Wartezeiten für die nächste Gruppe und zu großen Lücken im Passagierfluss. Weiterhin wird der Vorteil des schnelleren Vorankommens des einzelnen Passagiers durch die geringere Dichte im Gang dadurch relativiert, dass langsamere Passagiere der begrenzende Faktor sind, was bei dieser Methode besonders auffällt.

Das Extended Back-to-front Deboarding liefert wie erwartet bessere Ergebnisse gegenüber dem normalen Back-to-front Deboarding. Zum einen wird der Gang besser ausgenutzt, zum anderen wird der Vorgang des Gepäckausladens aufgelockert. Das bereits beschriebene grundsätzliche Problem des Back-to-front Deboardings tritt allerdings auch hier auf: zwischen den Blöcken entstehen relativ große Lücken im Passagierfluss. Diese Lücken fallen aber kleiner als beim reinen Back-to-front Deboarding aus, da bei dieser Methode die Dichte im Gang geringer ist.

Das Side-by-side Deboarding erzielt im Vergleich noch relativ gute Ergebnisse. Hierbei wird der Platz für die Passagiere im Gang erhöht, wodurch diese ihr Gepäck leichter erreichen können. Nichtsdestotrotz kann durch die geringere Dichte die Kapazität der Passagiertür nicht voll ausgenutzt werden. Vorteilhaft bei dieser Methode ist ihre Einfachheit und gute Umsetzbarkeit.

4.2. Zusammenfassende Betrachtung

Die Analyse der verschiedenen Aussteigevarianten in der Simulationsumgebung hat gezeigt, dass teilweise stark

unterschiedliche Abläufe und damit verbunden unterschiedliche Zeiten inkl. Varianzen ermittelt werden. In BILD 5 sind die ermittelten Zeiten als Abweichungen gegenüber der Random Deboarding Methode aufgeführt. Die minimalen und maximalen Werte als Indikator für die Vorhersagbarkeit der Prozesse sind hier nicht aufgeführt, weil sie mit Ausnahme der Inside-out Deboarding Methode bei lediglich 1-2% je nach Methode lagen und so alle hier untersuchten Methoden eine vergleichbare Vorhersagbarkeit haben.

In diesen Ergebnissen fällt besonders auf, dass die standardmäßig angewandte Random Deboarding Methode die schnellste der untersuchten Methoden ist.

Bei der Untersuchung der vorgestellten Aussteigevarianten konnten verschiedene Probleme im Ablauf identifiziert werden, die einen reibungsfreien Prozess behindern:

- Die Dichte im Gang sollte für ein ungestörtes Vorankommen der Passagiere nicht zu hoch sein.
- Wenn sich ein Passagier im Gang nach hinten bewegen muss, um sein Gepäck ausladen zu können, ergeben sich zusätzliche Interferenzen im Prozess.
- Während ein Passagier sein Gepäck auslädt, hindert er andere Passagiere daran, sich zur Flugzeugtür zu bewegen.
- Passagiere können sich im Gang meistens nicht mit ihrer normalen Geschwindigkeit bewegen, sondern müssen sich langsameren Passagieren anpassen.
- An der Flugzeugtür kommt es meistens zu einem Aufstauen der Passagiere.

Für eine Verbesserung des Aussteigeprozesses sind die Häufigkeit oder die Auswirkung obiger Probleme zu verringern.

4.3. Theoretisch effektive Aussteigemethode

Aus den zuvor beschriebenen Problemen beim Aussteigen der Passagiere sind zur Entwicklung einer theoretisch schnellen Methode einige Anforderungen zu definieren. Diese sind:

- Das Flugzeug muss von vorne nach hinten entladen werden. Dies verhindert, dass Passagiere beim Gepäckausladen von anderen behindert werden.
- Es sollten keine großen, zusammenhängenden Blöcke fürs Aussteigen verwendet werden, weil hierdurch immer Lücken im Passagierfluss entstehen.
- Passagiere sollten genug Freiraum haben, um ihr Gepäck ausladen zu können.

Eine Möglichkeit diese Anforderungen zu erfüllen ist die Wahl kleiner Blöcke, nämlich genau in der Größe einer Sitzreihe, die zeitlich versetzt von vorne nach hinten aufstehen. Hierdurch kann eine geringe Dichte im Gang erzielt werden, es entstehen keine großen Lücken im Passagierfluss und die Passagiere behindern sich gegenseitig nur geringfügig. Durch diese kontinuierliche Verteilung über die Ganglänge beginnt sich die Ansammlung von Passagieren von vorne nach hinten aufzulösen, ähnlich wie bei einem Stau. Anhand dieser Methode können vor allem die Ganginterferenzen verringert werden.

Diese Methode im Vergleich zu den zuvor untersuchten Aussteigemethoden kann nachfolgendem Diagramm entnommen werden.

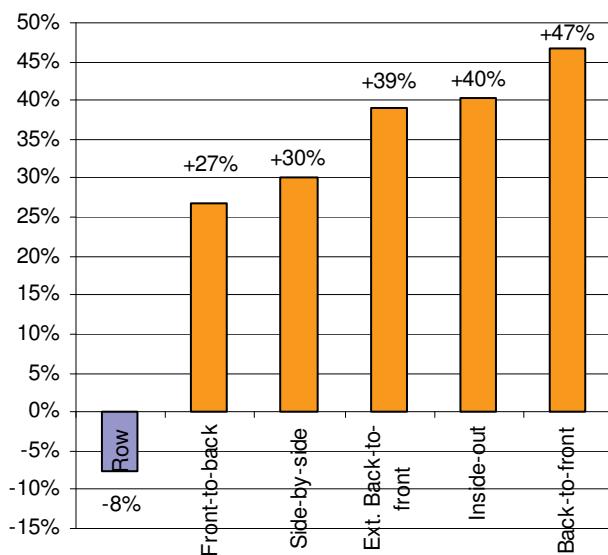


BILD 5. Vergleich der Aussteigevarianten als prozentuale Abweichung gegenüber der Random Deboarding Methode.

5. FAZIT

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die heutzutage standardmäßig angewandte Random Deboarding Methode im Bezug auf das hier untersuchte Single-Aisle Flugzeuglayout mit einer Tür für das Deboarding nahezu die schnellste im Vergleich zu anderen, aus Einsteigemethoden entwickelten Aussteigemethoden ist. Lediglich eine der hier gezeigten Methoden konnte die Aussteigezeit um etwa 8% verkürzen.

Zu diesen Ergebnissen ist anzumerken, dass die hier gezeigten Ergebnisse ausschließlich auf Computersimulationen beruhen, für die strikte „Ablaufregeln“ definiert wurden. Die Intention dieser Untersuchung war eine Überprüfung, ob Anpassungen beim Deboarding Prozess im Bezug auf die Dauer des Prozesses überhaupt möglich und sinnvoll sind. Ebenso wurden für diese Simulationen Vereinfachungen getroffen, wodurch die hier gemachten Ergebnisse keine absoluten Werte, sondern nur Deltas und Tendenzen aufzeigen.

Im Bezug auf die hier untersuchte Dauer des Aussteigens der Passagiere besteht nach diesen Ergebnissen wenig Handlungsbedarf, zumal die Durchsetzung einer definierten Aussteigemethode einen Mehraufwand für die Fluggesellschaft bedeuten würde. Es wurde aber auch erwähnt, dass viele Passagiere mit dem verwendeten chaotischen Aussteigeprinzip nicht zufrieden sind und sich ein geordneteres, stressfreieres Verfahren wünschen.

Ein weiterer Aspekt, der für die Einführung gezielter Aussteigemethoden sprechen würde, ist die Einbeziehung und gesonderte Behandlung von Transfer-Passagieren beim Aussteigeprozess. So könnten bei einem

verspäteten Flug die zeitkritischen Passagiere beim Einsteigen in einen vorher definierten Bereich platziert werden, so dass diese beim Aussteigen der Passagiere unter Verwendung einer definierten Methode als erstes das Flugzeug verlassen.

Somit sollten um abschließende Aussagen zu diesem Thema treffen zu können zusätzlich der Aufwand für die Fluggesellschaft und auch der Komfort und die Akzeptanz bei den Passagieren mit berücksichtigt werden.

Anmerkungen

Diese Arbeit ist im Rahmen des von der Europäischen Kommission im 7. Forschungsrahmenprogramm geförderten Forschungsprojektes ASSET (Aeronautic Study on Seamless Transport) entstanden.

Literaturverzeichnis

- [1] Barickman A., Sebenius E. and Sohi H. (2007). "A Practical Approach to Boarding/Deboarding an A380", University of Washington.
- [2] Hoogendoorn S.P. and Bovy P.H.L. (2002). "Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models", Delft University of Technology, Transportation and Traffic Engineering Section.
- [3] Internet: http://lesswrong.com/lw/t7/dumb_deplaning/ [9th June 2010]
- [4] Marelli S., Mattocks G., Merry R. (1998). "The role of computer simulation in reducing airplane turn time", Boeing Aero Magazine, Issue 1.
- [5] Steffen J.H. (2008). „Optimal boarding method for airline passengers“, Journal of Air Transport Management, Nr. 14.
- [6] Van Landeghem H. and Beuselinck A. (2002). "Reducing passenger boarding time in airplanes: A simulation based approach", European Journal of Operational Research.
- [7] Wu C.L. and Caves R. (2000). "Aircraft operational costs and turnaround efficiency at airports", Journal of Air Transport Management, Nr. 6, Issue 4.