

Effizientes Boarding für Kurzstreckenflugzeuge

*Dr. Michael Schultz
Institut für Flugführung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

Dieser Artikel ist in leicht geänderter Form
im Ingenieurspiegel 03/2017 erschienen

Einleitung

Der zukünftige Luftverkehr muss sich den wachsenden Anforderungen einer zunehmend mobilen Gesellschaft stellen. Für die Erreichung der ACARE2035 Ziele (bspw. die Verbindung aller europäischen Städte innerhalb von 4 Stunden) müssen sowohl multi-modale Verkehre, also die parallele Verwendung von Verkehrsträgern, als auch die inter-modale Transportkette, die Verknüpfung verschiedener Verkehrsmoden zu einer Transporttrajektorie, weitgehend reibungsfrei ablaufen. Die rasante Entwicklung von autonomen Systemen und deren Einbindung in das Luftverkehrsmanagement aber auch der Fortschritt des „elektrischen Fliegens“ fordern den Luftverkehr im besonderen Maße. Neben den technologischen Herausforderungen müssen in diesem Zusammenhang auch nachhaltige infrastrukturelle und operationelle Konzepte entworfen und umgesetzt werden. Dabei stellt sich regelmäßig die Frage, in wie weit die vorhandenen Strukturen und die aktuellen Anforderungen aus rechtlicher, betrieblicher, gesellschaftlicher, sicherheitsrelevanter Sicht auch auf den zukünftigen Luftverkehr übertragbar sind. Die Entwicklungsentscheidungen können dabei zwischen einer evolutionären Anpassung und einer revolutionären Änderung liegen. Um den zu erwartenden Kapazitätsengpässen an den internationalen Großflughäfen zu entgegnen, erstellt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) einen nachhaltigen Gesamtsystementwurf für ein leises Kurzstreckenflugzeug, welches die Kapazitäten von regionalen Flughäfen nutzen kann („Quiet Short Take-off and Landing“, QSTOL). Für einen effizienten (Boden-) Betrieb müssen die Flughafenprozesse enger verzahnt und auf die spezifischen Anforderungen des Kurzstreckenflugzeuges optimiert werden. Mit dem Ziel einer kurzen Verweilzeit am Boden (Turnaround) resultiert hieraus u.a. die Notwendigkeit einer beschleunigten Flugzeugabfertigung, eine Verbesserungen der Führung am Boden (und in der Luft), sowie eine höhere Störungsresistenz im Zusammenwirken der verschiedenen Prozess-Trajektorien (DLR, 2015).

Der Turnaround eines Verkehrsflugzeuges besteht im Wesentlichen aus den Prozessen Deboarding, Cleaning, Catering, Fueling und Boarding, begleitet von den parallel laufenden Frachtprozessen. Während die Abfertigungsprozesse im Allgemeinen durch Bodenverkehrsdienstleister kontrolliert und durchgeführt werden, ist beim Boarding das Verhalten des Passagiers entscheidend für einen zeitgerechten Ablauf. Da sich das Boarding regelmäßig auf dem kritischen Pfad des Turnaroundprozesses befindet, bedeutet ein unplanmäßiger Verlauf des Boardings auch immer einen unmittelbaren Einfluss auf die Dauer der Abfertigung des Flugzeuges am Boden.

Boarding

Zur Evaluierung von Boardingverfahren wurden bereits eine Vielzahl an Studien durchgeführt, wobei für die Suche nach der „besten Sequenz“ verschiedene mathematische, physikalische und ingenieurwissenschaftliche Methoden Anwendung fanden (siehe Schultz, 2014). Dabei wurde zumeist der

A320 als typisches *single aisle* Referenzflugzeug untersucht. Der A320 besitzt eine Sitzplatzkapazität von 150-190 Sitzen, von denen jeweils drei links und rechts vom Gang angeordnet sind. Das Boarding am Gate erfolgt durch die vordere linke Tür, während auf Vorfeldpositionen (Walk oder Bus Boarding) auch zwei Türen zur Verfügung gestellt werden können. Je nach Größe des Verkehrsflugzeuges und der Ausgestaltung des Gate-Bereiches können auch mehrere Brücken von Seiten des Flughafens bereitgestellt werden.

Für die nachfolgenden Untersuchungen wird der A320 ebenfalls verwendet, um die gewonnenen Erkenntnisse auf das zu entwickelnde Kurzstreckenflugzeug übertragen zu können. In Abb.1 sind Boardingzeiten und -verläufe aus Messungen dargestellt, welche in enger Zusammenarbeit mit Airlines und Flughäfen im operationellen Betrieb erhoben wurden. Dabei standen nicht nur aggregierte Zeitstempel zur Verfügung, sondern es konnten Detailanalysen unter Berücksichtigung individueller Boardingabläufe durchgeführt werden. Während in Abb. 1 (links) die Klassifizierung von schnell, mittel und langsam ablaufenden Boardingprozessen bspw. von dem Flugziel, der Klientel, der Tageszeit, der Position (Gate, Vorfeld) abhängen, ist in der rechten Darstellung zu erkennen, dass auch unter vergleichbaren Randbedingungen der individuelle Passagier den Prozessablauf nachhaltig stören kann.

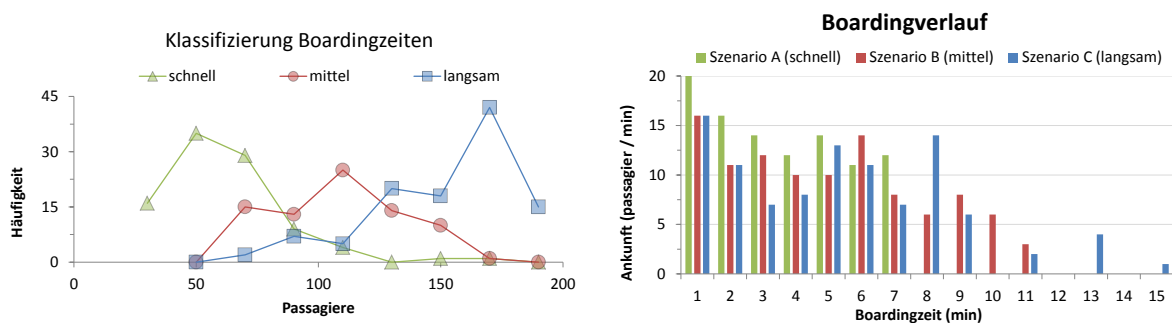


Abbildung 1: Klassifizierung von Boardingzeiten (links) und typische Boardingverläufe (rechts) (Schultz, 2017)

Diese datenbasierte Analyse erweiterte für die beteiligten Operateure das Situationsbewusstsein und ermöglichte die Validierung eines vorhandenen Modells zur Simulation individueller Abläufe beim Boarding (Schultz, 2010). Der Passagier betritt mit seiner Gruppe das Flugzeug an dem ihm zugewiesenen Eingang, bewegt sich bis zu seiner Reihe (kein Überholen), verstaut sein Gepäck und nimmt seinen Sitzplatz ein (vgl. Schultz, 2013). Seine Bewegungsgeschwindigkeit hängt von seinen physischen Fähigkeiten ab. Die Zeit zum Verstauen der Gepäckstücke ist von der Anzahl der Gepäckstücke abhängig und die Zeit zur Einnahme des Sitzplatzes wird durch die bereits besetzten Plätze bestimmt. Durch Prioritätsangebote der Airlines (Eltern mit Kindern, Business Class, etc.) oder durch zu spät erscheinende Passagiere können die Boardingverfahren von der geplanten Sequenz abweichen (im Modell durch einen Konformitätsfaktor berücksichtigt). Alle implementierten Prozesszeiten wurden in Messungen während verschiedener Feldtestkampagnen validiert und unterliegen stochastischen Schwankungen (100.000 Simulationsläufe werden pro Konfiguration berechnet). Das entwickelte Modell weist unter Verwendung der erhobenen Messdaten ein Signifikanzniveau von $\pm 5\%$ auf (Schultz, 2017).

In Abb. 2 ist die Simulationsumgebung mit dem zufälligen Boarding (*random*) dargestellt. In der Legende an der rechten Seite sind ungünstige Sitzkombinationen hervorgehoben. Wenn der Mittelplatz besetzt ist, können zwei Zustände eintreten: der nächste Passagier setzt sich auf den Gangplatz (jetzt günstig, gesamt ungünstig) oder an den Fensterplatz (jetzt ungünstig, gesamt günstig).

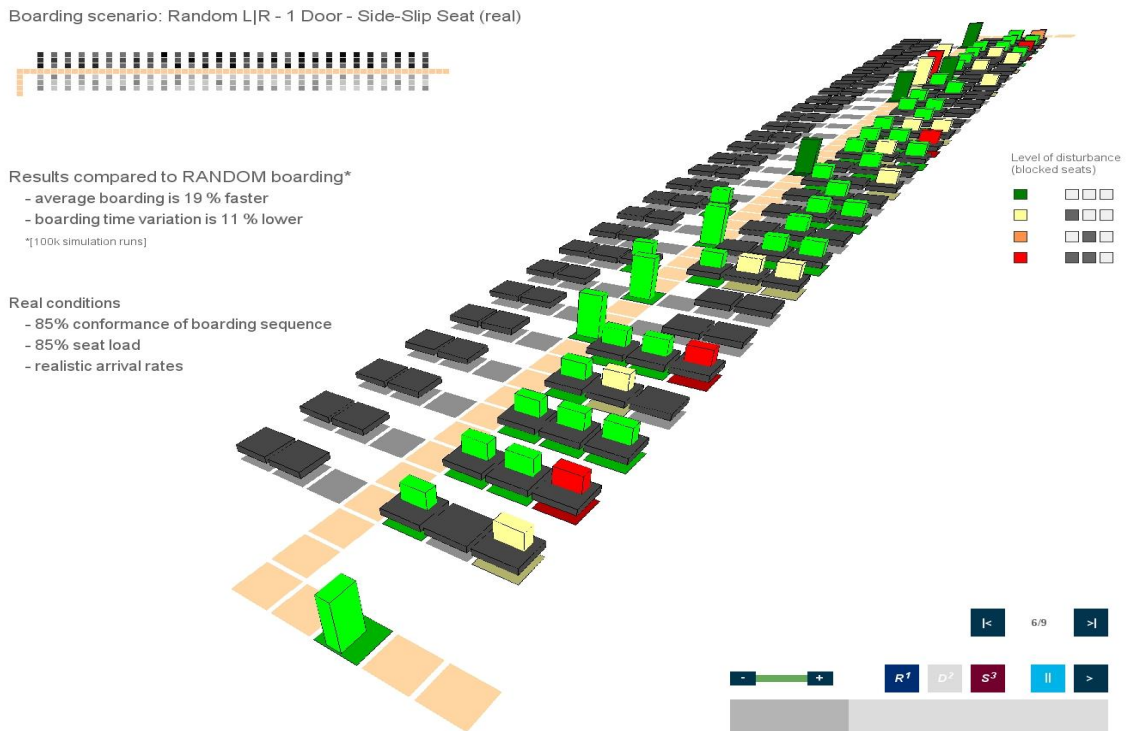


Abbildung 2: Simulationsumgebung zur Umsetzung verschiedener Boardingverfahren (rote Markierung: Passagier mit Fensterplatz wobei Sitze in der Mitte und im Gang besetzt sind, grüne Markierung: keine Interaktionen mit Passagieren notwendig, R¹: realitätsnahe Randbedingungen, D²: Nutzung von zwei Türen, S³: Infrastrukturänderung – Side-Slip Seat)

Mit Hilfe der validierten Simulationsumgebung konnten nicht nur eine große Zahl an verschiedenen Verfahren untersucht werden, sondern auch die Auswirkungen von technologischen Innovationen. Der Side-Slip Seat (Molon Labe Designs, 2013) stellt so eine Innovation dar: der Sitz am Gang ist in der Initialposition auf den Mittelsitz geschoben und ermöglicht eine Gangverbreiterung (Abb. 3, links). Diese Gangverbreiterung führt zu einer signifikanten Verbesserung der Bordingzeit.

In Abb. 3 (rechts) sind beispielhaft die Verteilungen der Boardingzeiten unter Verwendung des Side Slip Seat und zusätzlich unter Anpassung des Boardingverfahrens zu sehen (statt drei Blöcke wurde die linke Seite zuerst, gefolgt von der rechten Seite zum Boarding aufgefodert). Dabei konnte nicht nur die Boardingzeit um 15%-23% verbessert, sondern auch noch die Stabilität der Boardingzeit erhöht werden (Standardabweichung ist 8% geringer). Die enge Kooperation mit dem Sitzhersteller erlaubt es seit 2013 die wissenschaftlichen Ergebnisse zeitnah in den Entwicklungsprozess einfließen zu lassen.

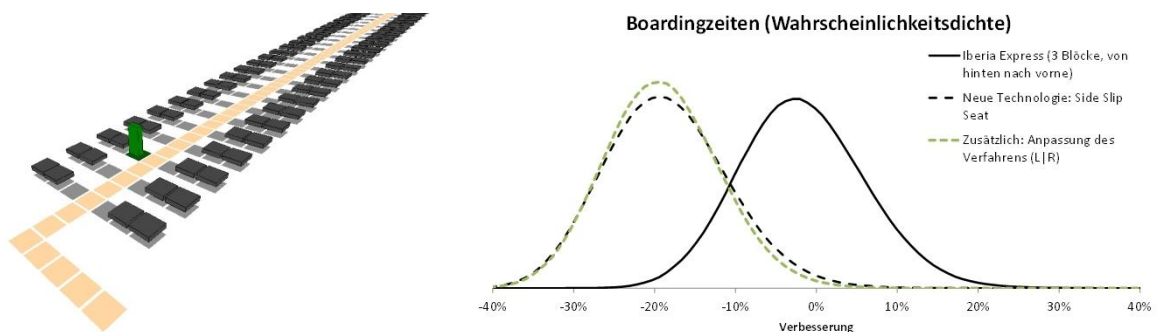


Abbildung 3: Side Slip Seat zur Verbreiterung des Gangs (rechts) und Verbesserung des Boardings durch abgestimmten Technologie und Verfahrenseinsatz (links)

Bereits bei der Entwicklung des Modells war es offensichtlich, dass die notwendige Vorsortierung der Passagiere ein Schlüsselement für die Umsetzung komplexerer Boardingverfahren ist (Schultz, 2010). Neben verschiedenen Ansätzen und Testfällen hat sich in der operationellen Praxis im Wesentlichen nur das blockweise aufrufen der Passagiere durchgesetzt (verbunden mit der Abweisung von nicht aufgerufenen Passagieren). Während individuelle Boardingverfahren jeden einzelnen Passagier adressieren könnten, erreicht die Blockeinteilung in der Praxis nur eine durchschnittliche Größenordnung von vier Blöcken. Der Boardingverlauf ist neben der Anzahl der Handgepäckstücke wesentlich von dem Status der Sitzreihen abhängig. Wenn in einer Sitzreihe der Gangplatz bereits besetzt ist, muss dieser Passagier immer erst aufstehen und in den Gang heraustreten, um die anderen Passagiere der Sitzreihe passieren zu lassen. Würde er hingegen am Fenster sitzen, wäre ein nachträgliches Aufstehen nicht mehr notwendig.

Technologien

Mit der Entwicklung des Side Slip Seat begann parallel die Konzepterstellung zu adaptiven Boardingverfahren. Wie schon in Abb. 2 (siehe Legende) zu erkennen ist, gibt es vier grundlegende Sitzplatzzustände, die sich unter Verwendung des Sitzladefaktors noch erweitern (Wahrscheinlichkeit, dass Sitze geplant unbesetzt bleiben). Befinden sich die Sitzreihen weiter vorne im Flugzeug führt der Wechsel der Sitzplätze in einer Reihe zu einer größeren Beeinträchtigung der nachfolgenden Passagiere. Da im Zeitverlauf die Anzahl der Passagiere ohne eingenommen Sitzplatz abnimmt, nimmt auch die Wahrscheinlichkeit ab, dass weitere Passagiere durch einen ungünstigen Platzwechsel negativ beeinflusst werden. Mit dieser grundlegenden Beschreibung wurde das *seatNow* Konzept entwickelt, welches den aktuellen Zustand des Flugzeuges durch ein Störpotential beschreibt. Wenn alle Gangplätze besetzt sind, ist das Störpotential größer, als bei Belegung aller Fensterplätze. Jedes effiziente Boardingverfahren muss versuchen, das Störpotential durch eine angepasste Passagiersequenz konsequent zu verringern. Die Idee des hierfür entwickelten *seatNow* Konzeptes ist es, die Sitzplätze erst während der Boardkartenkontrolle zuzuweisen und so auf den aktuellen Zustand dynamisch reagieren zu können. In Abb. 4. sind drei beispielhafte Szenarien dargestellt: *random* Boarding, *outside-in* Boarding (erst Fenster-, dann Mittel-, dann Gangplätze) und das dynamische Boarding (*seatNow*).

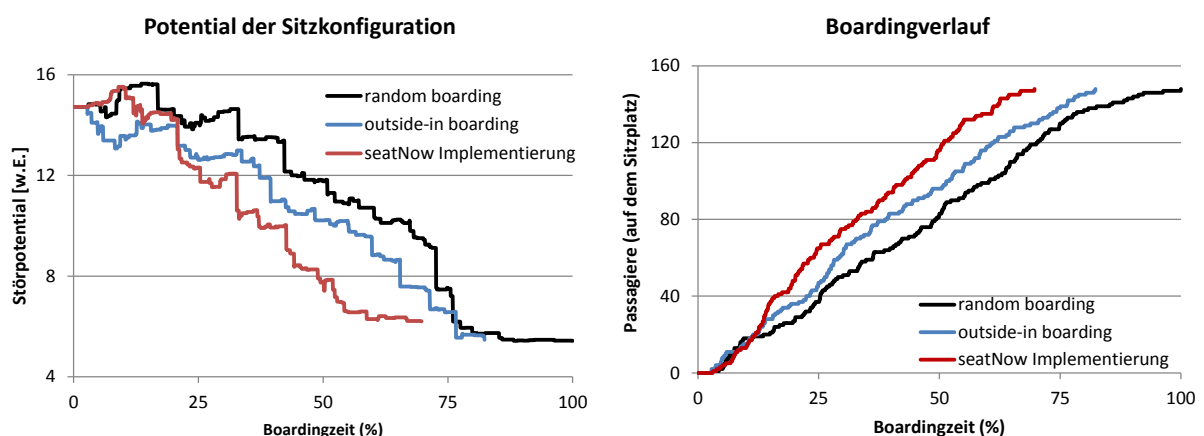


Abbildung 4: Verlauf des Störpotentials (links) und der Verlauf des Boardings (rechts) anhand von drei Boardingverläufen

Während das *random* Verfahren sogar das Störpotential durch das Besetzen von Gangplätzen erhöht, tritt dieser Effekt bei den anderen Verfahren nur selten auf (nur induziert durch den Konformitätsfaktor). Das *seatNow* Konzept verkürzt die Boardingzeit signifikant und ermöglicht damit auch einen

schnelleren Turnaround. Diese Technologie ist der Schlüssel für das effiziente Betreiben eines Kurzstreckenflugzeuges. Die Softwareimplementierung von *seatNow* ist abgeschlossen und ein Hardwareprototyp steht für den Einsatz im operativen Umfeld zur Verfügung. In Kooperation mit einer Airline sind sowohl Tests als auch Live-Trials geplant.

Referenzen

DLR (2015). [DLR Luftfahrtforschung, Leitkonzepte und Perspektiven](#)

Schultz (2017). *Fast Boarding - The seatNow concept* (in Vorbereitung)

Schultz (2017). *Aircraft Boarding - Data, Validation, Analysis*, ATM Seminar

Schultz (2014). [Boarding Efficiency - How to enter an aircraft, the most efficient way](#), ILA Berlin

Schultz, Kunze, Fricke (2013). [Boarding on the critical path of the turnaround](#), ATM Seminar

Schultz (2010). [Entwicklung eines individuenbasierten Modells zur Abbildung des Bewegungsverhaltens von Passagieren im Flughafenterminal](#), Dissertation, TU Dresden

Molon Labe Designs (2013), Side Slip Seat, www.airlineseats.biz