

AIRPORT2030 – LÖSUNGEN FÜR DEN EFFIZIENTEN LUFFTTRANSPORT DER ZUKUNFT

K. H. Lütjens, A. Lau, T. Pfeiffer, S. Loth, V. Gollnick,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
H. Klimek, B. Greßmann, S. Löwa, C. Blank, TU Hamburg-Harburg
J. Binnebesel, mb+Partner

Zusammenfassung

Im Flightpath 2050, in der Hightech-Strategie der Bundesregierung und der Strategie des Hamburger Luftfahrtclusters werden Ziele für die Effizienz des Lufttransports hinsichtlich Nachhaltigkeit, Komfort, Reisezeit und Intermodalität benannt. Im Verbundprojekt Airport2030 werden am Beispiel des Flughafen Hamburg ausgewählte Technologien und Maßnahmen zu Flughafenanbindung, Terminalbetrieb, Flughafenprozesssteuerung, Flugzeugkonfigurationen und Bodeninfrastrukturen untersucht und bewertet. Es werden hier ein Überblick über das Verbundprojekt gegeben und ausgewählte Ergebnisse der bisherigen Projektlaufzeit vorgestellt. Das Verbundprojekt Airport2030 bildet den Leuchtturm III innerhalb der Spitzencluster-Förderung des Luftfahrtclusters Metropolregion Hamburg durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

1. EINLEITUNG

Für Flughäfen sind Kapazität und zunehmend auch Umweltauflagen limitierende Faktoren. Aus Passagiersicht machen die Anreise zum Flughafen, die Passagier- und Gepäckabfertigung im Terminal und die luftseitigen Abfertigungsprozesse einen erheblichen Teil der Reisezeit im Lufttransport aus und haben überdies einen wesentlichen Einfluss auf den Komfort einer Flugreise [1].

Im Flightpath 2050 [2] wird die Vision formuliert, dass der Lufttransport Teil eines integrierten durchgängigen, energieeffizienten und intermodalen Systems ist, in dem Reisende und ihr Gepäck sicher, bezahlbar, schnell, planbar und ohne Störungen von Tür-zu-Tür gelangen. Dies beinhaltet unter anderem die ständige Verfügbarkeit von schnellen und personalisierten Kommunikationsdiensten. Diese Dienste werden auch genutzt, um die Prozessgeschwindigkeit und den Komfort durch dynamische Informationen an den Passagier auf allen Stationen der Reise zu erhöhen. Weitere in [2] formulierte Ziele sind das Erreichen des Zielortes innerhalb von vier Stunden für 90% der innereuropäisch Reisenden sowie die Ankunft der Flüge innerhalb einer Minute der geplanten Ankunftszeit.

Die Ziele des Luftfahrtclusters Metropolregion Hamburg stehen mit dieser Vision im Einklang und werden unter der Strategie „Neues Fliegen“ zusammenfasst: Fliegen soll noch ökonomischer, ökologischer, komfortabler, zuverlässiger und flexibler werden. Das hier behandelte Verbundprojekt Airport2030 bildet den Leuchtturm III innerhalb der Spitzencluster-Förderung des Luftfahrtclusters Metropolregion Hamburg durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. In den darin enthaltenen Projekten „Effizienter Flughafen 2030“, „Green Airport“, „Validierung von Luftverkehrsszenarien“ und „DiBUS“ werden am Beispiel des Flughafen Hamburg ausgewählte Maßnahmen und Technologien aus den

Bereichen Flughafenanbindung, Terminalbetrieb, Flughafenprozesssteuerung, sowie neue Flugzeugkonfigurationen und Bodeninfrastrukturen untersucht und erarbeitet. Die Forschung in den genannten disziplinären Feldern wird umrahmt von einem Systems Engineering Prozess und der Bewertung der erforschten Technologien [3].

Am Verbund beteiligt sind die Institute und Einrichtungen für Flugführung, Flughafenwesen und Luftverkehr und Lufttransportsysteme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), die Institute für Telematik und Verkehrsplanung und Logistik der Technischen Universität Hamburg-Harburg, die Aircraft Design und Systems Group (AERO) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, das Institut für Technische Informatik Systeme der Universität Hamburg, die Flughafen Hamburg GmbH, die Airbus Operations GmbH, die Siemens AG und das Start-Up Unternehmen mb+Partner.

Im Kapitel 2 wird auf die Struktur und die übergreifende Methodik des Verbundprojektes Airport2030 eingegangen. Im Kapitel 3 werden die bisherigen Forschungsergebnisse anhand ausgewählter Beispiele dargestellt und im Kapitel 4 folgen die Zusammenfassung und ein Ausblick auf weitere bis zum Ende des Projektverbundes zu erreichende Ergebnisse.

2. PROJEKTSTRUKTUR UND METHODIK

Das Projekt „Effizienter Flughafen 2030“ folgt in seiner übergreifenden Methodik einem Systems Engineering Prozess (BILD 1). Zu Beginn des Projektes wurde eine Problemfeldmatrix erstellt, die auf Basis von Experteninterviews sowohl eine Bestandsaufnahme und Analyse der Prozesse am Flughafen Hamburg beinhaltet als auch Handlungsbedarfe identifiziert. Zudem wurden auf Grundlage der ACARE-Szenarien [4] drei Zukunftsszenarien speziell für die lokale Perspektive und den mittelgroßen Flughafen Hamburg entwickelt:

Gehemmttes Wachstum, Effiziente Technologien (starkes Wachstum), Hochsicherheitszone (Stagnation). Anhand der Problemfeldmatrix und der Szenarien wurden anschließend funktionale und technische Anforderungen an die im Projekt zu erforschenden Technologien abgeleitet und in einem Anforderungskatalog zusammengefasst.

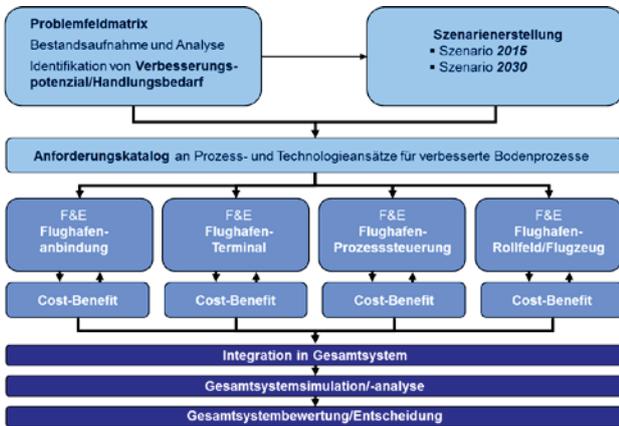


BILD 1. Projektstruktur und Methodik des Projektes

Unter Berücksichtigung der erarbeiteten Anforderungen erfolgten die Forschungsarbeiten zu ausgewählten Technologien und Maßnahmen in vier Bereichen. Die landseitige Anbindung des Hamburger Flughafens wird anhand eines detaillierten Gesamtverkehrsmodells der Metropolregion Hamburg untersucht, welches alle Verkehrswege und auch die Verkehrslast berücksichtigt. Im Bereich Flughafenterminal wird eine Digitale Boarding Assistenz (DigiBA) für Passagiere mit ausgewählten Funktionalitäten untersucht und deren Wirkung mit der Passagierflusssimulation TOMICS (Traffic Oriented Microscopic Simulator) bewertet. Bei der Flughafenprozesssteuerung werden neue Arbeitsplätze für Bodenabfertiger- und Vorfeldlotsen sowie ein Flughafenleitstand erarbeitet. Im Bereich Flughafenrollfeld und Flugzeug werden als neue Flugzeugkonfigurationen ein Box Wing [5][6][7][8], ein SmartTurboprop [9] und ein Blended Wing Body unter adäquater Berücksichtigung des Reisefluges und der Bodenprozesse entworfen. Als neue Flughafen-Infrastruktur wird ein bodengebundenes Fahrwerksystem (GroLaS) anhand von Konzepten zu Strukturentwurf, Antrieb, Sensorik, Sicherheit und Betrieb untersucht. In jedem der vier Bereiche erfolgt eine eigenständige Kosten-Nutzen-Analyse (Cost-Benefit-Analyse, CBA) bezogen auf das jeweilige Teilsystem des Flughafens, in dem die Technologie zum Einsatz kommt.

Parallel zur Forschung in den disziplinären Feldern wird eine Simulationskette entwickelt [10][11], die insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den Teilbereichen Flughafen-Anbindung[12], -Terminal[13][14] und -Luftseite[15] abbilden soll. Die im Projekt erforschten Technologien sollen in der Simulationskette soweit möglich abgebildet werden. Ziel ist es dabei, in Ergänzung zu den Kosten-Nutzen-Analysen in den Teilsystemen, Technologiewirkungen auf Gesamtflughafenebene zu identifizieren. In die Gesamtsystembewertung fließen sowohl die Kosten-Nutzen-Analysen aus Sicht der Teilsysteme als auch die Ergebnisse der Gesamtsystemsimulation ein.

In der zweiten Förderphase des Luftfahrtclusters

Metropolregion Hamburg wurden zusätzliche Forschungsprojekte ergänzt, die komplementär zu den vorher begonnenen Aktivitäten sind. Im Projekt „Green Airport“ werden Modelle und Systeme zur umweltgerechten Flughafensteuerung und für die Umweltbewertung von Flughafentechnologien erforscht. Das Projekt „Validierung von Luftverkehrsszenarien“ befasst sich mit der verbesserten Prognose und dem Prognose-Monitoring für das Passagieraufkommen und den Flugplan. Im Projekt „DiBUS“ werden die Funktionen und Ortungstechnologien der DigiBA auf Smartphones übertragen.

3. AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Im Folgenden wird auf ausgewählte Projektergebnisse des Airport2030-Verbundes eingegangen.

3.1. Airport2030-Szenarien

Als Grundlage für die Definition von Anforderungen an die im Projekt zu erforschenden Technologien wurden basierend auf den ACARE-Szenarien drei Zukunftsszenarien speziell für die lokale Perspektive und den mittelgroßen Flughafen Hamburg entwickelt (BILD 2): Gehemmttes Wachstum, Effiziente Technologien (starkes Wachstum), Hochsicherheitszone (Stagnation).

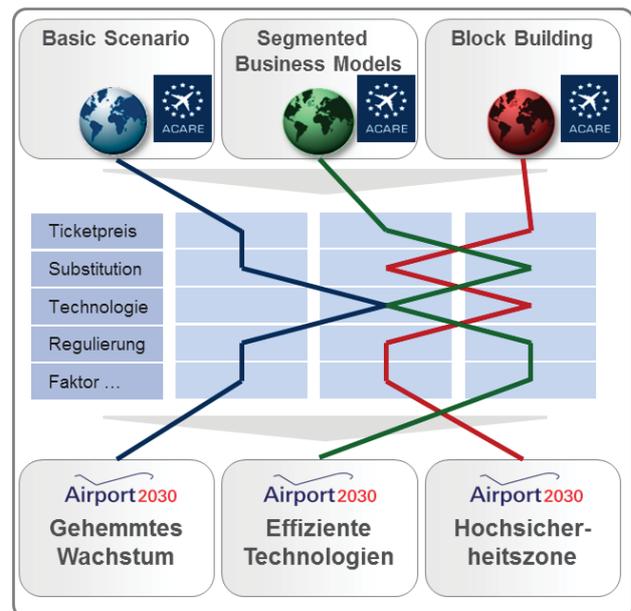


BILD 2. Ableitung der Airport2030-Szenarien aus den ACARE-Szenarien

Die entwickelten Szenarien können mit ihren zentralen Inhalten wie folgt zusammengefasst werden:

3.1.1. Szenario A: „Gehemmttes Wachstum“

Dieses Szenario basiert auf dem ACARE Szenario „Constrained Air Traffic Growth“, das weitgehend moderate Wachstumsraten für die Weltwirtschaft (3% p.a.) annimmt. Kapazitätsengpässe an Flughäfen verstärken sich trotz technischer und prozessualer Verbesserungen, weil Infrastrukturentwicklungen nur schleppend vorankommen. Dadurch wird das Luftverkehrswachstum gebremst und pendelt sich lokal

bei ca. 3% p.a. ein. Der wachsende Bedarf an Transportqualität führt zu einer erhöhten Anzahl von Point-to-Point Verbindungen und höherer Verkehrsdichte. Ein stark ansteigendes Umweltbewusstsein im Bereich lokaler und globaler Emissionen führt zu einer sowohl durch lokale operationelle Limitierungen als auch durch Entgelte getriebenen Luftfahrtemissionsgesetzgebung. Die Ausdehnung der operationellen Einschränkungen des Flugbetriebs aufgrund des hohen öffentlichen Drucks und der individuellen Sensibilität tragen zur Ausweitung der Kapazitätsproblematik bei. Vor allem tertiäre Flughäfen außerhalb von Ballungsräumen profitieren von dieser Entwicklung, weil sie in ihrem operationellen Betrieb weniger stark eingeschränkt sind und ihnen im Rahmen von Flughafenkooperationen erweiterte Aufgaben zugewiesen werden. Aufgrund der ansteigenden Kaufkraft wachsen Nachfrage und Ansprüche an Service und Komfort (Verkehrsanbindung, Passagierabfertigung, Shopping, etc.) sowohl im Leisure- als auch im Business-Segment moderat weiter.

3.1.2. Szenario B: „Effiziente Technologien“ (starkes Wachstum)

Dieses Szenario basiert auf dem Szenario „Segmented Business Models“ von ACARE. Nach einer schnellen Überwindung der Finanzkrise in den Jahren 2008-2010 setzt der Globalisierungsprozess wieder in vollem Ausmaß ein und führt zu einem starken lokalen Wachstum von Wirtschaft (3,5% p.a.) und Luftverkehr (5% p.a.) bei stabiler politischer und wirtschaftlicher Lage. Das sehr hohe Luftverkehrswachstum erfordert allerdings die verstärkte Nutzung von sekundären und tertiären Flughäfen. Die hohe Investitionsbereitschaft in Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz vor allem im stationären Bereich führen ab 2020 zu einer Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energiebedarf. Die größere Anzahl an Airlines in unterschiedlichen Segmenten und der erhöhte Wettbewerbsdruck in Kombination mit moderaten Kerosinpreisen führen zu einer Stabilisierung der durchschnittlichen Ticketpreise. Passagiere reagieren auf das Preis-Leistungs-Verhältnis von Flugreisen aufgrund der großen Auswahlmöglichkeiten an Airlines und deren angebotenen Leistungen sensitiver.

3.1.3. Szenario C: „Hochsicherheitszone“ (Stagnation)

Das dritte Szenario basiert auf dem „Block Building“ Szenario von ACARE und zeichnet sich durch ein schwaches Wirtschafts- (1,0% p.a.) und Luftverkehrswachstum (1-2% p.a.) aus. Wirtschaftliche, religiöse und politische Konflikte dominieren die Entwicklung, wodurch der internationale Handel mit Waren und Dienstleistungen (und damit die gesamte Globalisierung) massiv eingeschränkt werden. Da durch diese Konflikte und den generell erschwerten Zugang zu international gehandelten Gütern auch Öl erneut zum knappen Gut wird, steigen die Energiepreise und verbleiben auf hohem Niveau. Die steigenden Energiepreise sind ebenso für das verlangsamte Wachstum des Luftverkehrs verantwortlich. Vor allem im Bereich der Security Gesetzgebung kommt es aufgrund politischer und religiöser Spannungen zu einer erheblichen Erhöhung des Aufwandes. Das Ticketpreisniveau wird kontinuierlich angehoben,

Flugreisen werden daher im Vergleich zum verfügbaren Einkommen teurer. Deshalb wird die Bahn vor allem auf der Kurzstrecke als Verkehrsträger attraktiver. Non-Aviation-Revenues gewinnen für die Flughäfen zunehmend an Bedeutung, weil die durch Flugaktivitäten erzielten Erlöse aufgrund des stagnierenden Luftverkehrs kaum steigen.

3.2. Gesamtverkehrsmodell und Erreichbarkeitsanalyse für den Flughafen Hamburg

Im Rahmen des Projekts wird eine multimodale Simulation für den Passagier- und Wirtschaftsverkehr der Metropolregion Hamburg unter besonderer Berücksichtigung des Luftverkehrs entwickelt [16]. Auf dieser Grundlage sollen mögliche Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Hamburger Verkehrsinfrastruktur im Hinblick auf die Erreichbarkeit des Hamburger Flughafens bewertet werden. Das Verkehrsmodell basiert auf sozioökonomischen Daten, Flugplänen, Verkehrsprognosen und Prognosen über die Veränderung der Landnutzung und des Reiseverhaltens. Der Flughafen Hamburg liegt 8,5 km nördlich des Stadtzentrums. Seit 2008 existiert eine S-Bahnverbindung zwischen dem Hauptbahnhof und dem Flughafen. Der Flughafen ist darüber hinaus erreichbar durch lokale Buslinien und regelmäßige Busverbindungen in die nördlich gelegenen Städte Kiel, Neumünster und Lübeck. 75 % der Passagiere stammen aus der Metropolregion Hamburg, die Landkreise aus Schleswig-Holstein und Niedersachsen umfasst. Etwa 50% der Passagiere kommen direkt aus dem Hamburger Stadtgebiet.

3.2.1. Erreichbarkeitsanalyse auf Basis öffentlicher Verkehrsmittel

Eine der durchgeführten Untersuchungen ist eine Erreichbarkeitsanalyse des Flughafen Hamburg, gemessen in Minuten, mit verschiedenen Verkehrsmitteln [17]. Die Erreichbarkeit ist ein wesentlicher Einflussfaktor für das Passagieraufkommen des Flughafen Hamburg im Wettbewerb mit bodengebundenen Verkehrsträgern oder anderen Flughäfen. BILD 3 zeigt das Ergebnis der Erreichbarkeitsanalyse für die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel. Diese basiert auf S-Bahn-, U-Bahn-, Zug- und Buslinien und den entsprechenden Fahrplänen. Das Modell wählt dabei die schnellsten Routen zu einem definierten Abfahrtszeitpunkt von jeder Haltestelle des Hamburger Verkehrsverbunds zum Flughafen unter der Annahme eines unbelasteten Netzwerks ohne Verspätungen. Es wird deutlich, dass die Erreichbarkeit entlang der Bahnlinien deutlich besser ist als in den Achsenzwischenräumen. Von Startpunkten südlich der Elbe beträgt die Reisezeit mindestens 50 Minuten. Auch von Startpunkten unmittelbar westlich des Flughafens liegt diese bei mindestens 50 Minuten, da das Rollbahnsystem umfahren werden muss. Abgesehen von den Bahnstrecken nimmt die Erreichbarkeit des Flughafens jenseits des Hamburger Stadtgebietes rapide ab. Aus dem Kreis Steinburg im Nordwesten, der nicht zum Hamburger Verkehrsverbund gehört, erfordert die Anreise mehr als 90 Minuten. Eine Untersuchung des Verkehrsmittelwahlverhaltens für die Fahrt zum Flughafen Hamburg für die Stadt Hamburg und ihr Umland [18] zeigt zudem, dass neben der zeitlichen Erreichbarkeit auch Fahrtkosten, die Ausstattung mit einer Zeitkarte und der Startort des Passagiers von Bedeutung sind.

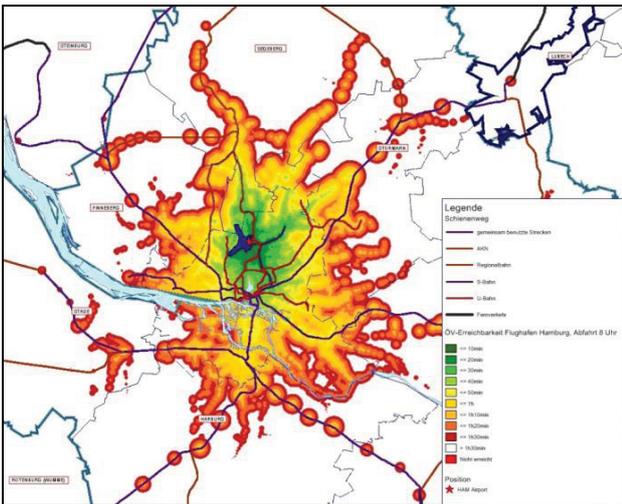


BILD 3. Erreichbarkeit des Flughafen Hamburg mit öffentlichen Verkehrsmitteln um 8 Uhr (Farbskala in 10 Min. Schritten, dunkelgrün <10 Min., dunkelrot <=1h30Min, weiß >1h30 min.)

3.2.2. Erreichbarkeitsanalyse auf Basis des motorisierten Individualverkehrs

BILD 4 zeigt die Erreichbarkeit des Flughafen Hamburg in einem unbelasteten digitalisierten Straßennetz auf Basis einer computerbasierten Wegfindung. Insbesondere für die schlecht an das öffentliche Nahverkehrsnetz angebundene Gebiete nördlich des Flughafens ist die Anreise mit dem PKW deutlich schneller. Die Elbe ist auch für den Individualverkehr ein Hindernis, trotzdem sind die Reisezeiten auch von Gebieten südlich der Elbe schneller als mit öffentlichen Verkehrsmitteln.

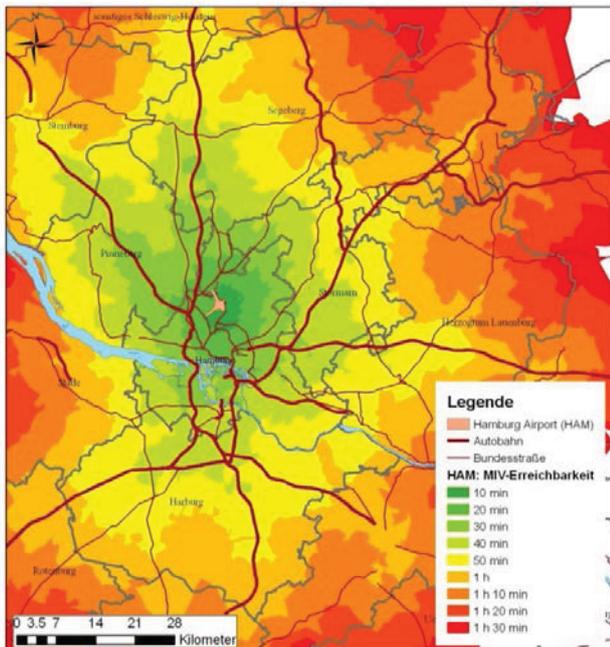


BILD 4. Erreichbarkeit des Flughafen Hamburg mit dem motorisierten Individualverkehr (dunkelgrün <10 Min., dunkelrot <=1h30Min, weiß >1h30 min.)

3.3. Digitale Boarding Assistenz

Im Teilsystem Flughafenterminal wird im Projekt das Ziel verfolgt, ein Digitales Boarding Assistenz (DigiBA) System für Passagiere prototypisch zu entwickeln [19]. Für ein solches System wurden drei wesentliche Funktionen identifiziert:

- Benachrichtigung des Passagiers zu prozess-relevanten Themen, z. B. Gate-Änderung
- Information des Passagiers auf dessen Anfrage
- Navigation durch das Flughafen-Terminal

Für die technische Umsetzung werden zwei Wege verfolgt: Erstens in Form eines an die Passagiere zu verteilenden sehr kostengünstigen, integrierten, mobilen Gerätes mit beschränkten Ressourcen, Zweitens durch Implementierung der geforderten Funktionen auf leistungsfähigen Smartphones mit unterschiedlichen Betriebssystemen im kürzlich gestarteten Ergänzungsprojekt DiBUS. Im Folgenden wird auf den ersten Fall Bezug genommen.

3.3.1. Anforderungen

Die Anforderungen an das DigiBA System wurden aus den oben genannten Funktionen abgeleitet. Für die Funktion Benachrichtigung müssen der Flughafen und die Fluggesellschaften wichtige Hinweise an einzelne Passagiere oder Gruppen versenden können, z. B. bezüglich Änderungen der Abflugzeit und des Boarding-Gates und der verbleibenden Zeit für den Passagier. Wichtige Benachrichtigungen müssen vom Passagier bestätigt werden können. Für den Flughafen und die Fluggesellschaft muss erkennbar sein, welche Passagiere die Benachrichtigung erhalten und welche diese zusätzlich bestätigt haben. Für die Funktion Information soll der Passagier selber vordefinierte Anfragen an das System stellen können. Die Kommunikation mit den Endgeräten muss also bidirektional sein. Nachrichten müssen sowohl an einzelne Endgeräte als auch an Gruppen von Endgeräten versendbar sein. Für die Funktion Navigation muss das System in der Lage sein, den Standort des Passagiers zu bestimmen und ihm den Weg zur nächsten Prozessstelle oder einem anderen Ziel anzuzeigen. Das DigiBA-System muss somit die Position der Endgeräte mit einer Genauigkeit von wenigen Metern bestimmen können. Während dies im Freien mit GPS bereits eine Standard-Funktion darstellt, ist das für die Navigation in Gebäuden derzeit noch eine Herausforderung. Die Endgeräte müssen mit einem Bildschirm ausgestattet sein, der Nachrichten, Navigationshinweise und das Benutzermenü darstellen kann, und einer Benutzerschnittstelle, die die Auswahl von Menüeinträgen ermöglicht. Das Endgerät muss Abmessungen von wenigen Zentimetern und einen sehr geringen Energieverbrauch aufweisen. Um einen positiven Effekt auf die Abläufe am Flughafen und den Komfort der Passagiere zu haben, sollte es von einem hohen Anteil der Passagiere gleichzeitig nutzbar sein.

3.3.2. Technische Umsetzung

Die Systemarchitektur besteht aus mobilen Endgeräten (DigiBAs), Basisstationen und einem zentralen Server. Der Prototyp der DigiBA verfügt über einen monochrom Bildschirm (128x64 pixel), einen Joystick und einem Signalgeber (BILD 5).



BILD 5. Prototyp der Digitalen Boarding Assistenz

Für die technische Umsetzung der bidirektionalen Kommunikation und der Ortsbestimmung wurden die Kommunikationstechnologien WLAN, GSM/UMTS, Bluetooth, RFID und IEEE 802.15.4 untersucht. Unter anderem aufgrund des geringen Energieverbrauchs, der bereits enthaltenen Funktion der Ortsbestimmung und der hohen Reichweite wurde der IEEE 802.15.4-Standard ausgewählt. Es wird ein energiesparender Sendempfangschip im 2.4 GHz-Frequenzband mit einer Datenrate von 250kBit/s verwendet. Die Basisstationen fungieren als Schnittstelle zwischen den mobilen Endgeräten und den Servern. Auf den Servern läuft die DigiBA-Control-Center Software, welche die ausgegebenen DigiBAs mit den jeweiligen Passagierdaten initialisiert, die Kommunikation mit den DigiBAs steuert und deren Status überwacht. Auch die Funktion der optimalen Wegfindung als Basis für die Navigationshinweise der Passagiere wird aufgrund der notwendigen Rechenleistung zentral auf den Servern angesiedelt sein.

3.4. Integrierter Groundhandling-Arbeitsplatz

Im Bereich Flughafenprozesssteuerung werden neue Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI) für die Arbeitsplätze von Groundhandling (GH)- und Vorfeldlotsen sowie neue Zusammenarbeitskonzepte im Rahmen eines Flughafenleitstandes erarbeitet.

Basierend auf den vorangegangenen Projekten „Wettbewerbsfähiger Flughafen (WFF)“ und „Car Management on Aprons (CARMA)“ wurde die Umsetzung eines GH-Arbeitsplatzes weiter vorangetrieben und wird Ende 2012 am Flughafen Hamburg mit Operateuren getestet. Das entwickelte System soll es den Bodenverkehrsdiensten ermöglichen, die begrenzten Ressourcen effizienter einzusetzen, indem sowohl die Fahrer von Bodenfahrzeugen als auch die Disponenten bei der Koordination und Durchführung ihrer Arbeiten unterstützt werden. Zentrales Element ist dabei ein verbessertes Situationsbewusstsein und eine reduzierte Arbeitsbelastung.

3.4.1. Technische Voraussetzungen und Umsetzung des GH-Arbeitsplatzes

Während in CARMA und WFF eigene Displaylösungen erarbeitet wurden, erfolgte die Umsetzung für die Bodenabfertigungs- und Vorfeldarbeitsplätze in Airport2030 auf Basis der Entwicklungsplattform eDEP (early Demonstration & Evaluation Platform) [20] der Eurocontrol, die umfangreiche Funktionen zur Verfügung stellt, validiert ist und auch in SESAR (Single European Sky ATM Research) verwendet wird.

Da das Testen der entwickelten Systeme im realen Umfeld erfolgt, ist eine entsprechende Integration am Flughafen notwendig. Dies konnte durch die Nutzung der in Kooperation von DLR, Deutsche Flugsicherung (DFS) und Flughafen Hamburg betriebenen Testplattform erreicht werden. Hierbei können sowohl Livedaten verarbeitet werden als auch Testszenarien aufgezeichnet und in Arbeitsplätze eingespielt werden. Über gesicherte Verbindungen zu den operationellen Flughafensystemen (Datenbank, A-SMGCS) werden die Daten im Forschungsnetzwerk zur Verfügung gestellt und können ohne Beeinflussung des Flughafengeschehens verarbeitet werden.

Das erarbeitete Konzept zum GH-Arbeitsplatz basiert auf einem Gesamtsystem zur Optimierung des Fahrzeugeinsatzes, bei dem Fahrzeuge und Einsatzzentralen mit entsprechenden Systemen ausgerüstet sind. In den Projekten CARMA und WFF wurden ein solches System und die dazugehörigen Komponenten entworfen und in der Testplattform Hamburg implementiert. Diese stehen für das Projekt Airport2030 zur Verfügung, womit die Verwendung und das Testen der integrierten Arbeitsplätze möglich sind. Für die Kommunikation zwischen den Beteiligten steht ein drahtloses Netzwerk zur Verfügung, das eine datenlinkbasierte Kommunikation realisiert und somit die angestrebte Reduktion des Sprechfunks ermöglicht. Die Entwicklungsumgebung wurde zunächst beim DLR Institut für Flugführung in Braunschweig aufgebaut und um Softwarekomponenten erweitert, die in der Lage sind, einen Großteil der Flugbewegungen und die damit verbundenen, sich kontinuierlich ändernden Daten abzubilden. Neben der zeitsynchronen Darstellung der Bewegungsabläufe der Luftfahrzeuge (Positionsdaten) ist es jetzt auch möglich, die sich ändernden Flugplandaten zeitsynchron einzuspielen.

3.4.2. Gestaltung des GH-Arbeitsplatzes

Das zentrale Element des neuartigen Arbeitsplatzes ist die Verknüpfung von Verkehrslage, Flugplaninformationen und Interaktion auf einem System und einem Monitor. Das Konzept des GH-Arbeitsplatzes beinhaltet detaillierte Beschreibungen für Darstellung, Farbe und Interaktion sowie diverse Use-Cases. Auf dem Display werden die Topografie des Flughafens, die Position aller Flugzeuge und Bodenfahrzeuge, die Fahrzeugart und deren Betriebszustände (verfügbar, belegt) angezeigt (BILD 6)

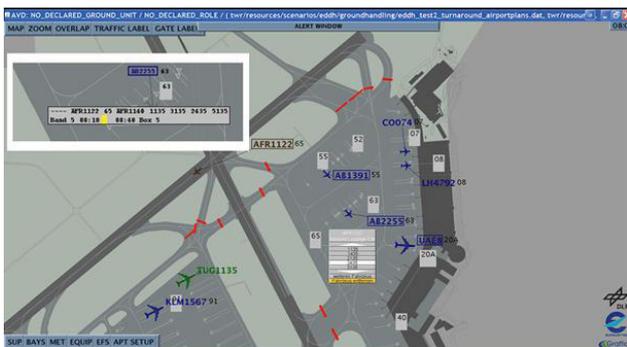


BILD 6. Bildschirmansicht für den GH-Arbeitsplatz

Weitere Anzeigen können vom GH-Disponent hinzugeschaltet werden. Während die Flugliste (beispielhaft in BILD 7) Informationen zu allen vom GH abgefertigten In- und Outbound-Flügen enthält, stellt die Fahrzeug-Liste Informationen zu den zugeordneten Fahraufträgen, den Betriebszuständen der Fahrzeuge, sowie zu den Schicht- und Pausenzeiten der Fahrer dar. In einem An-/Abflug-Fenster sind alle an- und abfliegenden Luftfahrzeuge im Nahbereich des Flughafens sowie deren Reihenfolge klar erkennbar, was die vorausschauende Koordination des Disponenten unterstützt.

Fluginformationen			Fahrzeuginformationen		
Flugnummer Outb.	SOBT/TOBT	Parkposition	Fzg name	FZG/Auftragsstatus	Box-Nummer
Dest. Anz. Gepäck	Liz Typ Registration	Bahn	Fahrername	Schichtzeiten	Pausenzeit des Fahrers
Flugnummer Inb.	EIBT/AIBT	Parkposition	Fzg name	FZG/Auftragsstatus	Zielband

BILD 7. Zweigeteilte Flugliste: Flüge mit den zugewiesenen Fahrzeugen und deren Auftragsstatus

Ein wichtiger Aspekt des Verkehrslage-Displays ist die Gestaltung der Symbole für Fahrzeuge, Flugzeuge und Standplätze. Die verschiedenen Fahrzeugarten wie z. B. Gepäckfahrzeuge, Schlepper und Busse sollen durch verschiedene Fahrzeugsymbole dargestellt werden. Durch die verschiedene Farbgebung der Symbole lässt sich auf den Betriebszustand eines Fahrzeuges schließen.

Beim Flugzeugsymbol spiegelt dessen Größe die Größe des Flugzeugs und die Farbe den Flugzustand (Outbound/Inbound) wieder. Das Flugzeugsymbol enthält Informationen über Flugnummer, Flugzeugtyp und die geplante Parkposition. Über verschiedene Interaktionen können Label erweitert werden und zusätzliche Informationen wie Flugnummer für In- und Outbound, Registration, EIBT bzw. SIBT, EOBT bzw. TOBT, Passagierzahlen, Registration, Origin und Destination und Ladung angezeigt werden.

Das Standplatzsymbol (BILD 8) symbolisiert im Verkehrslage-Display die Parkposition auf dem Vorfeld. Anhand der Farbe erkennt der Disponent, den Abfertigungsstatus eines Fluges.

FZG 2	AFR1122	65	AFR1123	FZG 3
Band 6	0800/0805		0850/0855	BOX 603

BILD 8. Erweitertes Standplatzsymbol

Inwieweit alle Funktionalitäten und Ideen aus dem Konzept umgesetzt werden können, hängt von der Verfügbarkeit von Daten und entsprechenden Systemanbindungen ab.

3.4.3. Optimierung

Neben den Konzepten und Umsetzungen zum HMI erfolgt im Hintergrund eine Optimierung des Fahrzeugeinsatzes. Basierend auf aktueller Position und Staus der Fahrzeugressourcen erfolgt eine Berechnung zum kürzesten Weg und der sich damit ergebenden Zuweisung eines Abfertigungsauftrages. Genutzt werden hierzu MATLAB-Module, die auf umfangreiche Matrizenberechnung ausgelegt sind. Es werden systemisch Empfehlungen erarbeitet und dem Disponenten dargestellt. Dieser behält jedoch die Kontrolle und kann diese Empfehlung umsetzen oder eigene Entscheidungen treffen. Erreicht werden sollen dadurch bessere Auslastungen der Fahrzeuge und geringere Wegstrecken, die direkt mit Einsparungen bei Treibstoff und Emissionen verbunden sind.

3.5. Flugzeugkonfiguration und Bodenprozesse für den Zeithorizont 2030

Im Bereich Flughafenrollfeld und Flugzeug ist es das Ziel, Herausforderungen des Flughafenbetriebs zu identifizieren, die aus dem Einsatz zukünftiger Konfigurationen und Bodeninfrastrukturen erwachsen. Im Zeithorizont 2030 sind Flugzeugkonfigurationen möglich, die sich deutlich von heutigen Mustern unterscheiden. Besonders tiefgreifende Eingriffe in die Bodenprozesse erfordern Blended-Wing-Body (BWB) Konfigurationen. In ihnen sind Rumpf und Flügel fließend ineinander integriert.

3.5.1. Optimierung der Referenzkonfiguration und der Flugzeugkonfiguration 2030 für den Reiseflug

Die Auslegung von BWB Konfigurationen ist anspruchsvoll, da die konventionellen Vorentwurfssysteme auf Statistiken oder elementaren physikalischen Modellen beruhen, die der integrierten Bauweise nicht gerecht werden [21]. Aus diesem Grund ist ein Gesamtentwurfssystem nach dem Prinzip der multidisziplinären Optimierung zu erstellen, in dem angemessen detailliert abbildende Analysewerkzeuge miteinander verkoppelt werden. Diese Arbeiten stützen sich auf das Entwurfssystem des DLR, welches Werkzeuge mittels der Softwareumgebung RCE (Remote Common Environment) und des einheitlichen Datenmodells CPACS (Common Parametric Aircraft Configuration Scheme) miteinander verkoppelt [22]. Im Rahmen des Projektes Airport2030 sind insbesondere die Schnittstellen hinsichtlich BWB Konfigurationen zu erweitern, Werkzeuge für die strukturelle Modellierung zu erstellen sowie Werkzeuge für Flughafen-spezifische Analysen in das System zu integrieren. Um den Einfluss dieser neuen Konfiguration quantifizieren zu können, wurden zunächst ein konventionelles Referenzflugzeug entworfen und die Sensitivitäten der primären Entwurfsparameter und der Technologiefaktoren berechnet.

3.5.2. Analyse der Bodenprozesse der Flugzeugkonfiguration 2030

Die Ableitung der Werkzeuge für die Analyse der Bodenprozesse im Zeithorizont 2030 erfolgt aus dem Geometriemodell und den Flugleistungen der BWB-Konfiguration. So können ein Kabinen- und ein Frachtraummodell aus der Geometrie der BWB-Konfiguration abgeleitet werden (BILD 9).

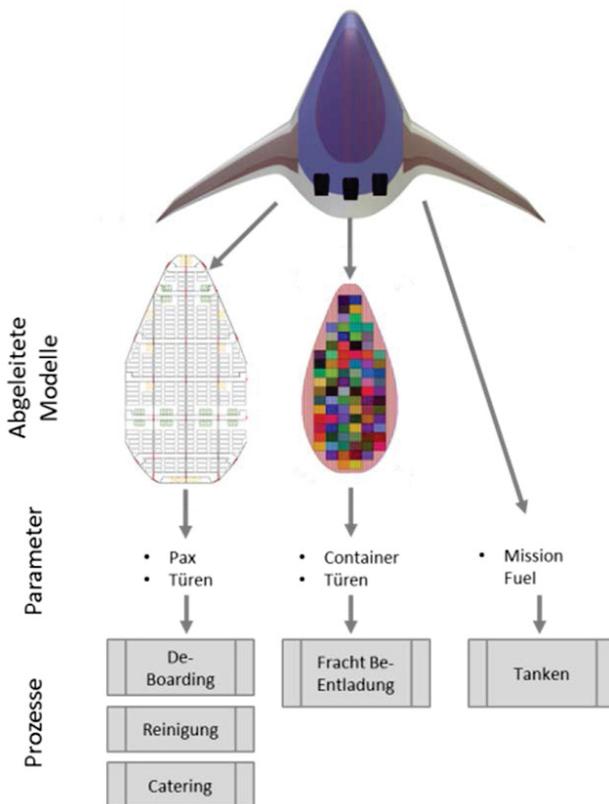


BILD 9. Ableitung der Abfertigungsprozesse aus dem Geometriemodell des BWB

Für die Generierung des Kabinen-Modells wurde eine voll parametrische Methode aufgebaut, die es ermöglicht, aus einer gegebenen Geometrie das Modell automatisiert zu erstellen. Dies beinhaltet Sitzpositionen, Gänge, Küchen, Toiletten und Türen. Basierend auf diesem Kabinen-Modell können Schnittstellen zum Flughafen definiert werden. Dies bildet die Grundlage für die Boarding-Simulation sowie für die Ermittlung der Prozesszeiten für die Kabinen-Reinigung und das Catering. Der Frachtraum ergibt sich aus dem noch zu Verfügung stehenden Platz, der sich unter der Kabine befindet und der nicht für Fahrwerk oder andere Systeme verwendet wird. Die Grundlage für dieses Verfahren ist eine homogene Werkzeug- und Datenkette.

Für die Abschätzung der Zeiten für Boarding- und Deboarding wurden zwei Methoden aufgebaut (BILD 10). Die eine Methode basiert darauf, dass die Kabine stark vereinfacht wird und in Quellen und Senken klassifiziert wird. Diese Methode wird hier Fast Simulation genannt und bietet eine schnelle Abschätzung der Prozesszeit. Die zweite Methode ist eine detaillierte Simulation in der sich

jeder Passagier einzeln durch die Kabine bewegt und mit anderen Passagieren interagiert. Diese Methode wird hier Detail Simulation genannt und wird dann verwendet, wenn die Fast Simulation den Prozess nicht mehr genau genug abbilden kann.

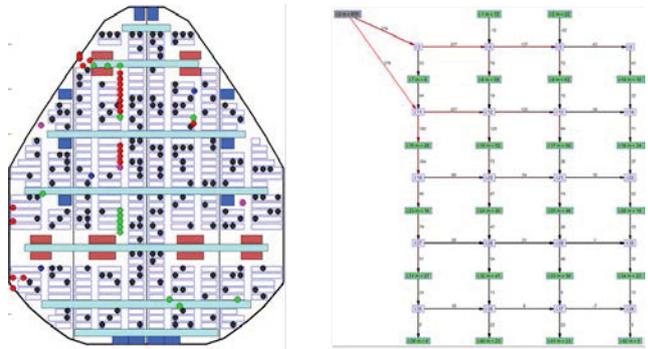


BILD 10. Detail Simulation (links) und Fast Simulation (rechts) für das De-/Boarding des BWB

3.6. Bodeninfrastruktur für den Zeithorizont 2030

Für den Zeithorizont 2030 wird von der Kombination revolutionärer Konzepte für die Flugzeugkonfiguration (vgl. Abschnitt 3.5) und die Flughafeninfrastruktur ausgegangen, die einen maßgeblichen Einfluss auf die in der Einleitung genannten Auslegungskriterien Ökologie, Ökonomie, Zuverlässigkeit, Komfort und Flexibilität sowie auf die im Flightpath 2050 [2] formulierten Ziele haben.

3.6.1. Hintergrund

Die Leermasse eines Flugzeuges hat einen großen Einfluss auf dessen Wirtschaftlichkeit. Eine kleinere Leermasse sorgt bei gleich bleibendem maximalen Abfluggewicht oder bei konstanter Nutzlast für eine bessere Wirtschaftlichkeit, da entweder mehr Nutzlast transportiert werden kann oder sich durch die Reduktion der Masse ein geringerer Luftwiderstand und damit ein reduzierter Treibstoffverbrauch einstellt.

Das Fahrwerkssystem nimmt bei konventionellen Verkehrsflugzeugen, abhängig vom Flugzeugtyp, einen relativen Massenanteil von etwa 6% bis 10% [23] der Leermasse ein, und es hat während des Reisefluges keine Funktion. Das Fahrwerk wird am Boden für Start, Landung und Rollen verwendet. Weiterhin ist das Fahrwerk sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb aufgrund aufwändiger Wartung sehr kostenintensiv.

Ein Weglassen des Fahrwerkssystems hätte unter Berücksichtigung von so genannten Schneeballeffekten (verkettete Auswirkungen auf andere Systeme sowie den gesamten Flugzeugentwurf) eine Reduktion der Leermasse um bis zu 15% zur Folge [23]. Für den Flugzeuggbetreiber ergeben sich ökonomische (z.B. bis 12% weniger DOC), ökologische (z.B. bis 20% weniger CO₂, bis 35% weniger Lärm) und operationelle Vorteile

(z.B. Rollen ohne Haupttriebwerke, Verzicht auf Push-back Fahrzeuge), die zudem einen Sicherheitsgewinn mit sich bringen könnten (z.B. Seitenwindlandungen inkl. Windvorhaltewinkel, Notbremsysteme).

3.6.2. Funktionsbeschreibung

Um die oben genannten Vorzüge nutzbar zu machen, muss an Flughäfen ein bodenbasiertes Fahrwerkssystem installiert werden, das den Start-, Lande- und Rollvorgang fahrwerkloser Verkehrsflugzeuge ermöglicht. Flugzeugseitig wird hierfür das konventionelle Fahrwerkssystem durch deutlich leichtere Schnittstellen [23] zum Bodenfahrwerk ausgetauscht (siehe BILD 11). Ein solches am Boden befindliches Fahrwerkssystem wurde bisher für Landungen von Verkehrsflugzeugen noch nicht realisiert.

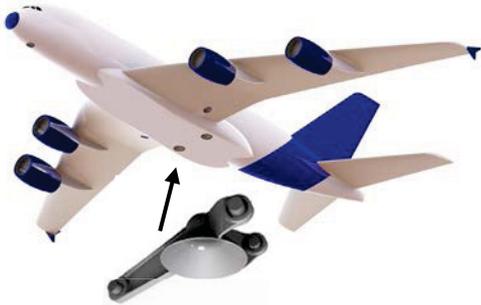


BILD 11. Flugzeugseitig integrierte Schnittstelle zur Kopplung mit einem Bodenfahrwerk [8]

Im Rahmen des Verbundprojektes Airport2030 wird ein neuartiges, bodenbasiertes Fahrwerkssystem (Akronym GroLaS: Ground-based Landing Gear System) für fahrwerklose Verkehrsflugzeuge konzipiert und untersucht. Der Entwurf des Systems sieht vor, dass die Struktur der herkömmlichen Landebahn erhalten bleibt und ein dualer Betrieb fahrwerkloser und fahrwerksgebundener Flugzeuge möglich ist. GroLaS hat zwei translatorische Freiheitsgrade (entlang der Bahn und quer zur Bahn) sowie einen rotatorischen Freiheitsgrad um die Hochachse. Bei einem Start unterstützt das System die Triebwerke bis zum Abheben. Somit kann der Startschub auf den minimal zulässigen Wert reduziert werden (Derated T/O). Für eine Landung positioniert sich GroLaS vor Erreichen der Bahnschwelle selbstständig unter dem anfliegenden Flugzeug und hält diesen synchronisierten Zustand auch unter Störeinflüssen, wie z.B. Windböen, bis zum Aufsetzen aufrecht. Das System ermöglicht so einen regulären Start- und Landevorgang von Flugzeugen ohne Fahrwerk.

Die Bewegungen längs und quer zur Bahn sowie die Rotation um die Hochachse werden auf drei Hauptkomponenten aufgeteilt (siehe BILD 12):

- 1.) Der Schlitten wird vom Hauptantrieb entlang der Bahn bewegt und synchronisiert sich mit der Geschwindigkeit und Position des anfliegenden Flugzeuges. Der Antrieb ist beidseitig neben der Landebahn zusammen mit der Schlittenführung installiert.

- 2.) Der Wagen bewegt sich entlang des Schlittens quer zur Bahn, um einen seitlichen Versatz des landenden Flugzeuges von der Mittellinie zuzulassen.
- 3.) Das Bodenfahrwerk stellt die bodenseitigen Schnittstellen für eine Kopplung mit den flugzeugseitigen Schnittstellen aus BILD 11 bereit. Gleichzeitig ermöglicht das Bodenfahrwerk durch seinen rotatorischen Freiheitsgrad um die Hochachse ein Aufsetzen des Flugzeuges mit einem Windvorhaltewinkel, ohne dass ein „De-crab“ Manöver durchgeführt werden muss. Das Bodenfahrwerk entkoppelt sich nach dem Abbremsvorgang vom Wagen und verbleibt während des „Turn-arounds“ unter dem Flugzeug. Der integrierte elektrische Eigenantrieb des Bodenfahrwerkes sorgt für ein emissionsfreies und leises Rollen am Flughafen und das Flugzeug kann nach der Abfertigung selbstständig einen Push-back ausführen (ohne auf einen Schlepper angewiesen zu sein).

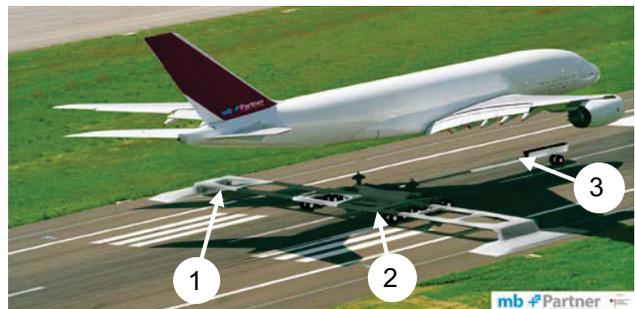


BILD 12. Hauptkomponenten des Bodenfahrwerkssystems GroLaS

Die Kombination elektrischer Antriebe [24] nach dem Langstator-Synchronmotor-Prinzip (siehe BILD 13) mit einem Energiesystem ermöglicht die Bereitstellung der Antriebsleistung aus regenerativen Energiequellen und die Nutzung der beim Bremsvorgang frei werdenden Energie. Die Verwendung des Umkehrschubes ist nicht mehr erforderlich, da der Hauptantrieb beim Abbremsen als Generator fungiert und somit unabhängig von der Bahnbeschaffenheit (z.B. Nässe, Eis, Schnee) oder den Umgebungsbedingungen (z.B. Hitze, Flugplatzhöhe) verzögern kann.

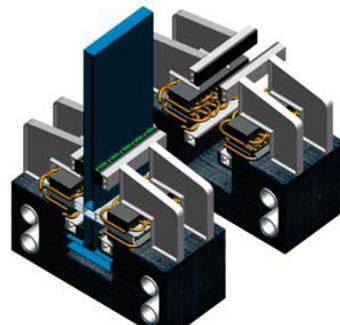


BILD 13. Hauptantrieb (Langstator-Synchronmotor in zweifacher Doppelkammeranordnung)

3.6.3. Betriebskonzept

Auf Basis der erarbeiteten technischen Konzepte wurde ein Investitionsbedarf von 500 Mio. € für das hier dargestellte bodengebundene Fahrwerkssystem pro Landebahn ermittelt. Für Langstreckenflüge könnte sich der Einsatz eines solchen Systems zunächst besonders lohnen, da zum einen das Verhältnis zwischen Flugzeit und Landungen hoch ist und zum anderen oftmals auf den gleichen Flugrouten beziehungsweise zwischen den gleichen Flughäfen verkehrt wird [25]. Ausgewählte Ausweichflughäfen müssen mit einem Notsystem ausgestattet werden. Weiterhin ist die Typenvielfalt bei Langstreckenflugzeugen begrenzt, welches die Notwendigkeit nach Adaptivität des Systems einschränkt und somit die Komplexität reduziert. Während einer sehr langen Übergangszeit muss Flugzeugen mit und ohne Fahrwerk die Landung ermöglicht werden (Parallelbetrieb). Dies wird durch die Installation von Antrieb und Schlittenführung neben der normalen Landebahn sichergestellt. Durch die Installation und Nutzung von GroLaS bleibt die Kontrolle des Flugzeugs beim Piloten, die Landung wird jedoch durch eine Dienstleistung des Flughafens unterstützt. Im Zuge der erheblichen notwendigen Investitionen auf Seiten der Flughäfen und des erheblichen Nutzens bei den Fluggesellschaften muss der Interessenausgleich durch ein Gebührenmodell erfolgen.



BILD 14. Flugzeug auf einem Bodenfahrwerk und freie Bodenfahrwerke mit Fahrwerks-Halle

3.7. Weitere Ergebnisse auf dem DLRK 2012

Für weitere aktuelle Ergebnisse des Airport2030-Verbundprojekts sei auf drei weitere Veröffentlichungen im Rahmen des Deutschen Luft- und Raumfahrtkongresses 2012 hingewiesen. Dabei handelt es sich um die Vorträge zum Flügelentwurf eines Box-Wing Flugzeuges für die Mittelstrecke [6], zur Bewertung von Lärm- und Schadstoffemissionen im Rahmen der direkten Betriebskosten von Verkehrsflugzeugen [7] und zum Sensorkonzept des bodengebundenen Fahrwerkssystems GroLaS [21].

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Es wurde ein Überblick über den Airport2030-Projektverbund und ausgewählte Ergebnisse aus der bisherigen Projektlaufzeit gegeben. Neben den erzielten inhaltlichen Ergebnissen wurde zwischen den Projektpartnern aus Industrie und Wissenschaft ein regelmäßiger Austausch von Informationen, Methoden und Daten erreicht, der insbesondere zu einem besseren Verständnis der Perspektiven von Flughafenbetreiber, Flugzeughersteller, Infrastrukturanbieter und Forschungseinrichtungen geführt hat.

Bis Ende 2013 werden für die Flughafenanbindung mehrere Infrastrukturmaßnahmen auf Basis des Hamburger Gesamtverkehrsmodells untersucht. Es wird ein Feldtest der Digitalen Boarding Assistenz und der Praxis-Test der Groundhandling- und Vorfelddarstellungsplätze am Flughafen Hamburg stattfinden. Erstmals werden eine prototypische Umsetzung eines Leitstandes mit direkter Datenanbindung an einem Flughafen erfolgen und erste Untersuchungen hinsichtlich der Nutzbarkeit dieser neuen Konzepte im realen Umfeld durchgeführt werden. Die entworfenen Flugzeugkonfigurationen BoxWing, SmartTurboprop und Blended-Wing-Body werden im Hinblick auf die Bodenprozesse analysiert und der Trade-Off zur Optimierung für den Reiseflug untersucht. Für das bodengebundene Fahrwerkssystem GroLaS wird auf Basis der erarbeiteten Entwurfskonzepte ein Simulator entwickelt. Alle Technologien und Maßnahmen werden bis zum Projektende einer Kosten-Nutzen-Analyse unterzogen. Übergreifende Auswirkungen der einzelnen Technologien für den Flughafen insgesamt werden zusätzlich in der Gesamtsystemsimulation [27] untersucht.



Förderkennzeichen: 03CL01, 03CL19, 03CL26, 03CL27

www.Airport2030.de

- [1] Gollnick, V., Schmidt, D., Blagnac, F. Untersuchungen zur Bewertung der Transporteffizienz verschiedener Verkehrsmittel, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2004, Dresden.
- [2] High Level Group on Aviation Research, Flightpath 2050, S.10-11, ISBN 978-92-79-19724-6, European Union 2011.
- [3] Langhans, S.; Gollnick, V.; Stumpf, E. A holistic approach to evaluate the air transportation system 26th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) Anchorage, Alaska, USA, 2008.

- [4] ACARE: Strategic Research Agenda 2 " Vol. 1. Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, 2004.
- [5] Schiktanz, D.; Scholz, D.: Box Wing Fundamentals - An Aircraft Design Perspective. In: DGLR: Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2011 : Tagungsband - Manuskripte (DLRK, Bremen, 27.-29. September 2011), S. 601-615. - ISBN: 978-3-932182-74-X. DocumentID: 241353. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>.
- [6] Schiktanz, D.; Scholz, D.: The Conflict of Aerodynamic Efficiency and Static Longitudinal Stability of Box Wing Aircraft. In: CEAS: 3rd CEAS Air&Space Conference: Proceedings (CEAS2011, Venice, 24. - 28. October 2011), pp 910-921. - ISBN: 978-88-96427-18-7. DocumentID: 313. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>.
- [7] Scholz, D.: Design Aspects of Passenger Box Wing Aircraft.(DLRK, Berlin, 10. - 12. September 2012).Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>.
- [8] Caja, R.; Scholz, D.: Box Wing Flight Dynamics in the Stage of Conceptual Aircraft Design. In: DGLR: Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2011 : Tagungsband - Manuskripte (DLRK, Berlin, 10. - 12. September 2012). - ISBN: 978-3-932182-74-X. DocumentID: 281383. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>.
- [9] Johannig, A.; Scholz, D.: Novel Low-Flying Propeller-Driven Aircraft Concept for Reduced Operating Costs and Emissions. In: CD Proceedings: ICAS 2012 - 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS, Brisbane, 23.-28. September 2012). Edinburgh, UK: Optimage Ltd, 2012. - ISBN: 978-0-9565333-1-9. Paper: ICAS2012-1.10.5 (510.pdf). Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>.
- [10] Widemann, M. et al. Prototypische Umsetzung einer Modellpipeline mit Rückkopplung, Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften 2011, Berlin.
- [11] Farschtschi, Y. et al Zusammenstellung von Alternativen zur MATLAB-Java-Kopplung, Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Shaker Verlag, 2011 Berlin. p. 179-192.
- [12] Löwa, S., Blank, C., Bohnet, M. Evaluation von Einflussfaktoren auf die Verweildauer von Flugreisenden ab dem Hamburger Flughafen, Theorie und quantitative Methoden in der Geographie - Kolloquiumsbeiträge; Helbich, M., Deierling, H., Zipf, A. (Hrsg.), Heidelberger geographische Bausteine, Heft 19, S. 43-55.
- [13] Farschtschi, Y. et al. Macroscopic Modelling of Passenger Streams on the Airport and its Adaptation in MATLAB-Simulink, in EUROSIM 2010. CSSS 2010 Prague, p. 159.
- [14] Widemann, M. et al. Macroscopic Modelling of Luggage streams in an airport terminal, EUROSIM 2010.
- [15] Dzikus, N., Gollnick, V. Modelling and Simulation of Vehicle Movements Using a SPPTW-Algorithm and the Application to Airport Surface Movement Analysis, 7th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, 2010, Prag.
- [16] Löwa, S. Konzept für ein Wirtschaftsverkehrsmodell der Metropolregion Hamburg mit Schwerpunkt flughafenaffiner Verkehre, Wirtschaftsverkehr 2011: Modelle-Strategien-Nachhaltigkeit, Dortmund, U.Clausen (Hrsg.), S.97-112.
- [17] Blank, C., Gertz, C., Löwa, S. Domestic German Air - Rail competition depends on the efficiency of local urban transport systems, Air Transport Research Society, 14th World Conference 2010, Porto.
- [18] Löwa, S. Airport Access by Public Transport in Hamburg: Does Demand Follow Supply?, 3rd World Planning Schools Congress, Paper No.488, 2011 Perth, Australia.
- [19] Greßmann, B., Klimek, H. und Turau, V. Intelligent Passenger Flows in Airport Terminals Using a Digital Boarding Assistance, 8th International Workshop on Intelligent Transportation, 2011, Hamburg.
- [20] <http://www.eurocontrol.fr/projects/edep/>
- [21] Ciampa, P.-D.; Zill, T.; Nagel, B. CST parametrization for unconventional aircraft design optimization, 27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS), 2010, Nizza, Frankreich.
- [22] Nagel, B., Böhnke, D., Gollnick, V., Schmollgruber P., Rizzi, A., La Rocca, G., Alonso J. J. Communication In Aircraft Design: Can We Establish A Common Language? 28th International Congress Of The Aeronautical Sciences, Brisbane, 2012.
- [23] Chowson, E. Konstruktiver Entwurf und Dimensionierung einer flugzeugseitigen Schnittstelle zwischen fahrwerklosen Verkehrsflugzeugen und einem bodengebundenen Fahrwerksystem, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2010, Hamburg.
- [24] Canisius, M. Konzeption der Antriebssysteme eines bodenbasierten Fahrwerksystems fahrwerkloser Flugzeuge, Diplomarbeit TU-Harburg/mb+Partner, 2010, Hamburg.
- [25] Gissa, B. Betriebskonzept für eine fahrwerklose Flugzeugkonfiguration in Kombination mit einem bodengebundenen Fahrwerksystem, Studienarbeit HWI/mb+Partner, 2011, Hamburg.
- [26] Helling, N. Preliminary Design and Simulation of a Sensor System for a Ground-based Landing Gear System (GroLaS) based on an Existing Sensor Concept to Detect and Track the Position and Attitude of Approaching Aircraft, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2012, Berlin.
- [27] Möller, D. P. F. Airport Technology Management In: Emerging Dimensions of Technology Management Ed. K. B. Akhilesh Springer Publ. 2013 (Due November 2012) ISBN 978-81-322-0791-7