



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

DEPARTMENT FAHRZEUGTECHNIK UND FLUGZEUGBAU

Schlussbericht

FHprofUnd-Projekt "ALOHA"

Flugzeugentwurf für kostenoptimierten Bodenabfertigung
(Aircraft design for LOW cost ground HANDling)

Zuwendungsgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Projektträger: Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
"Otto von Guericke" e.V. (AiF)
FKZ: 1748X07
Laufzeit: 1. März 2007 – 28. Februar 2011

Dieter Scholz, Philip Krammer, Diana Rico Sánchez

28. Februar 2011

Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
Aero - Forschungsgruppe Flugzeugentwurf und -systeme
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

Tel.: 040 / 428 75 – 88 25 und 040 / 18 11 98 81
Fax: 040 / 428 75 – 88 29
E-Mail: info@ProfScholz.de

Dipl.-Ing. Philip Krammer, Dipl.-Ing. Diana Rico Sánchez

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
Aero - Forschungsgruppe Flugzeugentwurf und -systeme
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

Dokumentationsblatt

1. Berichts-Nr. ALOHA_AB	2. Auftrags-titel ALOHA (Flugzeugentwurf für kostenoptimierten Bodenabfertigung)	3. ISSN / ISBN ---
4. Sach-titel und Untertitel Schlussbericht FHprofUnd-Projekt "ALOHA"		5. Abschlussdatum 28.02.2011
		6. Ber. Nr. Auftragnehmer ALOHA_AB
7. Autor(en) (Vorname, Name) Dieter Scholz (info@ProfScholz.de) Philip Krammer Diana Rico Sácnhez		8. Vertragskennzeichen 1748X07
		9. Projektnummer K-Z205-BM01
10. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) Fakultät Technik und Informatik Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau Aero - Forschungsgruppe Flugzeugentwurf und -systeme Berliner Tor 9 D - 20099 Hamburg		11. Berichtsart Schlussbericht
		12. Berichtszeitraum 01.03.2007 - 28.02.2011
		13. Seitenzahl 91 plus Anhänge 1, 3 und 4
14. Fördernde Institution / Projektträger (Name, Anschrift) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53175 Bonn - Bad Godesberg Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) Bayenthalgürtel 23, 50968 Köln		15. Literaturangaben 62
		16. Tabellen 2
		17. Bilder 17
18. Zusätzliche Angaben Sprache: Deutsch; URL: http://ALOHA.ProfScholz.de		
19. Kurzfassung Im Verbundvorhaben ALOHA wurden Möglichkeiten untersucht, die Kosten und die Dauer der Bodenabfertigung von Passagierflugzeugen zu reduzieren. Mittels Experteninterviews und einer ausführlichen Analyse von 168 Turnarounds an insgesamt vier Flughäfen konnten Schwachpunkte in der Bodenabfertigung identifiziert werden. Erweitert wurden Methodiken für die Berechnung von Bodenabfertigungskosten sowie Simulations- und Entwurfsprogramme. Es konnten somit innovative Bodenabfertigungsgeräte hinsichtlich deren Einsatz im Flugzeug bewertet werden. Des Weiteren wurde ein kompletter Neuentwurf eines Flugzeuges durchgeführt. Die daraus resultierende Hochdeckerkonfiguration mit Hecktriebwerken lässt ein Potential in der Bodenabfertigung erkennen führt jedoch aufgrund einer höheren Gesamtmasse zu einer negativen Gesamtbewertung. Durch diese Erkenntnisse konnte jedoch eine Flugzeugkonfiguration vorgeschlagen werden, die eine attraktive Gesamtlösung des Entwurfsproblems darstellt.		
20. Deskriptoren / Schlagwörter Flugzeugentwurf, Bodenabfertigung, direkte Betriebskosten		
21. Bezugsquelle Aero, Department F+F, HAW Hamburg, Berliner Tor 9, D - 20099 Hamburg		
22. Sicherheitsvermerk öffentlich - unbegrenzt	23.	24. Preis

Report Documentation Page

1. Report-Number ALOHA_AB	2. Project Title ALOHA (Aircraft Design for Low Cost Ground Handling)	3. ISSN / ISBN ---
4. Title and Subtitle Final Report FHprofUnd Project "ALOHA"		5. Report Date 2011-02-28
7. Author(s) (First Name, Last Name) Dieter Scholz (info@ProfScholz.de) Philip Krammer Diana Rico Sácnhez		6. Performing Org. Rep. No ALOHA_AB
10. Performing Agency (Name, Address) Hamburg University of Applied Sciences (HAW) Faculty of Engineering and Computer Science Department of Automotive and Aeronautical Engineering Aero - Forschungsgruppe Flugzeugentwurf und -systeme Berliner Tor 9 D - 20099 Hamburg		8. Contract Code 1748X07
14. Sponsoring / Monitoring Agency (Name, Address) Federal Ministry of Education and Research (BMBF) Heinemannstraße 2, D - 53175 Bonn - Bad Godesberg Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) Bayenthalgürtel 23, D - 50968 Köln		9. Project Number K-Z205-BM01
18. Supplementary Notes Language: German; URL: http://ALOHA.ProfScholz.de		11. Report Type Final Report
19. Abstract Within the joint-research project ALOHA, possibilities to reduce costs and time of ground handling processes of passenger aircraft have been investigated. Weak points in the ground handling have been identified through expert interviews and a thorough analysis of 168 turnarounds on four different airports in total. Methods to calculate ground handling costs and software for simulation and design have been extended. With help of these, the usage of innovative ground handling equipment in passenger aircraft has been analysed. Also, a new aircraft has been designed. The resulting shoulder wing configuration yielded a potential in the ground handling, but exhibited drawbacks in the overall assessment due to a higher total aircraft mass. This knowledge has been transferred into a new aircraft design, which represents an attractive solution of the overall design problem.		12. Time Period 01.03.2007 - 28.02.2011
20. Subject Terms aircraft, design, ground handling, Direct Operating Costs (DOC)		13. Number of Pages 91 plus attachments 1, 3 and 4
21. Distribution Aero, Department F+F, HAW Hamburg, Berliner Tor 9, D - 20099 Hamburg		15. Number of References 62
22. Classification / Availability unclassified - unlimited		16. Number of Tables 2
23.	24. Price	17. Number of Figures 17

Inhalt

	Seite
Verzeichnis der Bilder.....	7
Verzeichnis der Tabellen.....	7
1 Allgemeines zum Projekt	8
1.1 Projektdaten.....	8
1.2 Aufgabenstellung.....	9
1.3 Voraussetzungen	10
1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens	12
1.4.1 Aufteilung der Arbeitspakete	12
1.4.2 Zeitlicher Ablauf des Vorhabens.....	14
1.5 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn.....	17
1.6 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens genutzt wurden	18
1.7 Verwendete Fachliteratur	19
1.8 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	24
1.9 Liste der erstellten Dokumentationen und Software	27
2 Erzielte Ergebnisse	29
2.1 Grundlegende Effekte.....	30
2.1.1 Minimierung der Bodenabfertigungskosten	30
2.1.2 Minimierung der Bodenabfertigungszeit.....	31
2.2 Ergebnisse der Analyse von derzeitigen Turnaround-Prozessen.....	34
2.2.1 Ergebnisse der Experteninterviews	34
2.2.2 Ergebnisse der Turnaroundanalysen.....	36
2.3 Simulationssoftware CAST Ground Handling.....	38
2.4 Flugzeugentwurf.....	40
2.4.1 Adaptionmöglichkeiten des bestehenden Flugzeugs	40
2.4.2 Neuentwurf eines Flugzeugs	45
2.5 Zusammenfassung	50
2.6 Ausblick.....	51
3 Verwendung der Zuwendung	53
4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	53
5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	53
6 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	57
Literaturverzeichnis	58

Anhang A Veröffentlichung „Improvements to Ground Handling Operations and their Benefits to Direct Operating Costs“ 60

Anhang B Veröffentlichung „Aircraft Design for Low Cost Ground Handling – The Final Results of the ALOHA Project“ 72

Anlage 1 Kurzbericht

Anlage 2 Erfolgskontrollbericht (wird separat verteilt)

Anlage 3 Endgültiger Verwertungsplan

Anlage 4 Berichtsblätter für Publikationen

Verzeichnis der Bilder

Bild 1.1	Zeitlicher Ablauf des Forschungsprojektes ALOHA	16
Bild 2.1	Relative tägliche Auslastung $U_{d,f,rel}$ über der Flugzeit t_f für unterschiedliche Bodenabfertigungszeiten	33
Bild 2.2	Notwendige Reduzierung der Bodenabfertigungszeit um die rel. tägliche Auslastung zu erhöhen.....	34
Bild 2.3	Gefilmte Position am Flughafen Hamburg.....	37
Bild 2.4	Gantt-Diagramm für den Turnaround einer traditionellen Fluggesellschaft.	37
Bild 2.5	Turnaround Simulation mit CAST Ground Handling.....	39
Bild 2.6	Darstellung der drei wesentlichen Bereiche der Bodenabfertigung und deren Abhängigkeiten.....	40
Bild 2.7	Schnittstellen der Luft- und Landseite am Beispiel der vier wesentlichsten Bodenabfertigungsprozesse	41
Bild 2.8	Autonomes „push-back“ System von Wheel Tug Plc.....	43
Bild 2.9	Beispiel einer Bordtreppe vorn am Flugzeug.....	44
Bild 2.10	Prinzipsskizze des Sliding Carpets.....	44
Bild 2.11	Beispiel eines zusammenklappbaren Flugzeugsitzes von AIDA Development GmbH.....	45
Bild 2.12	Systematische Annäherung an eine mögliche, optimierte Konfiguration	46
Bild 2.13	Flugzeugentwurf für kostenreduzierte Bodenabfertigung.....	47
Bild 2.14	Vergleich des Neuentwurfs mit der Referenzkonfiguration.....	49
Bild 2.15	Evaluierung des Neuentwurfs.....	50
Bild 2.16	Entwurf für langsames Fliegen bei gleichzeitiger Zeitkompensation durch optimale Bodenabfertigung.	52

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1.1	Liste der erstellten Dokumentation und Software	27
Tab. 2.1	Inkrementelle Veränderungen von Gewicht, Bodenabfertigungszeit, Kosten und Auslastung unter Berücksichtigung von unterschiedlichem Bodenabfertigungsgerät.....	42

1 Allgemeines zum Projekt

1.1 Projektdaten

Programm FHprofUnd:

Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen.

Projektträger:

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF)

Zuwendungsempfänger:

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg)

Förderkennzeichen

1748X07

Vorhabensbezeichnung:

Entwurf eines Flugzeuges für die kostenoptimierte Bodenabfertigung
(Aircraft design for LOW cost ground HANDling)

Kurztitel:

ALOHA

Homepage:

<http://ALOHA.ProfScholz.de>

Projektpartner:

- Airbus Operations GmbH (Future Project Office)
Airport Compatibility and A/C Infrastructure – EIXUC
Kreetslag 10, 21129 Hamburg
- Airport Research Center GmbH
Bismarckstr. 61, 52066 Aachen
- Flughafen Hamburg GmbH (Ground Handling Division)
Flughafenstraße 1-3, 22335 Hamburg

Name der antragstellenden Hochschule:

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg)

Name des zuständigen Projektleiters:

Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Laufzeit des Vorhabens:

01.03.2007 bis 28.02.2011 (48 Monate = 4 Jahre)

Antragssumme:

140250 € (Antragssumme der teilnehmenden Fachhochschule beim Projektträger)

Finanzieller Anteil der Partner:

67,7 % (Bar- und geldwerte Leistungen am Gesamtvolumen)

Gesamtvolumen des Vorhabens:

433850 €

1.2 Aufgabenstellung

In diesem Forschungsvorhaben sollen innovative konventionelle und unkonventionelle Flugzeugentwürfe von Kurz- und Mittelstrecken-Passagierflugzeugen untersucht werden. Ziel ist dabei, die Betriebskosten (Direct Operating Costs, DOC) zu senken. Dabei stehen in dieser Untersuchung insbesondere die sogenannten *Low Cost Airlines* (LCA) im Focus und damit die Senkung der Kosten der Abfertigung der Flugzeuge am Flughafen (Bodenkosten, ground costs). Maßnahmen zur Senkung der Bodenkosten können jedoch steigende Kosten bei Abschreibung, Kraftstoffkosten, Wartungskosten ect. verursachen. Notwendig ist daher eine ganzheitliche Betrachtung.

Untersucht werden auch *technische Features*, die das Potential haben Bodenkosten zu senken. Das Vorhaben beinhaltet eine *Recherche der Betriebsabläufe und Kosten am Flughafen* und die Erstellung eines Programms zur *Berechnung der Bodenkosten* in Abhängigkeit der Flugzeugparameter.

Die Betriebskosten sollen gesenkt werden durch

- Optimale Abstimmung der Flugzeugparameter konventioneller Flugzeugkonfigurationen auf die Kostenstruktur der LCA.
- Aufnahme von innovativen technischen Features in den Flugzeugentwurf zur Senkung der Bodenkosten.

Das Vorhaben soll als Ergebnisse quantitative Aussagen über die Vor- und Nachteile der neuen Flugzeugentwürfe liefern. Damit sollen die *Grundlagen für zukünftige Luftfahrtprojekte* gelegt werden.

Die LCA nutzen insbesondere die Flugzeugmuster Boeing B737 und A320. Ryanair wurde als erster Europäischer LCA 1985 gegründet. Die B737 wurde in den 60er Jahren entwickelt, die A320 in den 80er Jahren - also zu einer Zeit, als die Anforderungen der LCA noch nicht berücksichtigt werden konnten. Die Flugzeughersteller arbeiten jetzt an *Nachfolgeprodukten* der B737 und der A320. Durch das Forschungsvorhaben besteht die Chance, vor Entwicklungsbeginn eines derartigen neuen Flugzeuges wertvolle grundlegende Erkenntnisse zu sammeln. Damit könnten erstmals die Anforderungen von LCA in die Optimierung des Flugzeugentwurfes einfließen.

Gleichzeitig soll das Vorhaben den *Aufbau eines Forschungsnetzwerkes* zwischen Flugzeughersteller und KMUs fördern.

Im Verbund sollen die *Fähigkeiten der HAW Hamburg* in der Forschung *auf dem Gebiet des Flugzeugentwurfs* und auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Bearbeitung von Fragen des Flug- und Bodenbetriebs *gestärkt* werden. Dies soll 1.) durch den Know-How-Transfer zwischen den Partnern erreicht werden und 2.) durch den Aufbau und die Anwendung moderner Entwurfstools. Die gestärkten Fähigkeiten in der Forschung sollen auch in die Lehre an der HAW einfließen.

1.3 Voraussetzungen

Voraussetzungen an der HAW Hamburg

Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME der HAW Hamburg verfügte bei Projektbeginn über Forschungserfahrung aus vorhergehenden Forschungsprojekten „FLECS“ (<http://FLECS.ProfScholz.de>) und „Grüner Frachter“ (AiF-Förderkennzeichen: 1710X06) (<http://GF.ProfScholz.de>). Forschungsschwerpunkte von Prof. Scholz sind Auslegungsrechnungen und Simulationen in den Bereichen Flugzeugsysteme und Flugzeugentwurf sowie die Erstellung der dazu benötigten Software. In beiden Bereichen verfügte Prof. Scholz darüber hinaus bereits bei Projektbeginn über mehrjährige Lehrerfahrung an der HAW Hamburg. Eine Liste der Veröffentlichungen ist im WWW bereitgestellt: <http://publications.ProfScholz.de> . Er vertritt an der HAW Hamburg u. a. das Fach „Flugzeugentwurf“ im Rahmen dessen eine Tabellenkalkulation für die Dimensionierung von Flugzeugentwürfen erstellt wurde. Die darin enthaltene Berechnungsmethodik kann als Grundlage für die zu entwerfenden Flugzeuge herangezogen werden. Homepage: <http://www.ProfScholz.de> .

Voraussetzungen im Airbus Future Projects Office

Das Airbus Future Projects Office verfügt als Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Flugzeugherstellers Airbus über langjährige, ausgeprägte anwendungsorientierte Forschungserfahrung in vielfältigen Forschungsgebieten der Luftfahrt auf nationaler sowie internationaler Ebene. Die Abteilung „Airport Compatibility and A/C Infrastructure“ bildet die Schnittstelle zum Forschungsprojekt ALOHA, welches als einziges, kooperatives Forschungsprojekt diese Themenstellung betrachtet. Homepage: <http://www.Airbus.com> .

Voraussetzungen in der Airport Research Center GmbH

Die Airport Research Center GmbH (ARC Aachen) wurde 1998, durch Ausgliederung von der Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), Fachgebiet Flughafenwesen, in Aachen gegründet. Die Airport Research Center GmbH hat somit mehr als 15 Jahre Forschungserfahrungen und befasst sich mit:

- Flughafenmasterplanung
- Marktanalysen und Prognosen
- Entwicklung von Flughafensoftware
- Kapazitätsoptimierungen
- Flughafenarchitektur
- Flughafensimulation

Zu den Kunden des ARC gehören neben diversen deutschen Flughäfen wie z. B. Airport Berlin BBI auch Sydney, Moskow und Keflavik sowie auch Eurocontrol. Airbus ist ebenfalls Kunde des ARC Aachen. Der Auftrag umfasste eine Studie zur weltweiten Flughafenkompatibilität des Airbus A380. Homepage: <http://www.airport-consultants.com> .

Voraussetzungen an der Flughafen Hamburg GmbH (Bereich Ground Handling)

Der Flughafen Hamburg ist, gemessen am Passagieraufkommen, der fünftgrößte deutsche Verkehrsflughafen. Durch Modernisierungsmaßnahmen der letzten Jahre (z. B. Neubau der beiden Terminals) zählt der Flughafen Hamburg zu den modernsten in Europa. Der Geschäftsbereich Ground Handling (neben Aviation, Center Management und Real Estate Management) steuert alle übergreifenden Prozesse für das Geschäftsfeld Bodenverkehrsdienste. Der Flughafen Hamburg hat im Forschungsprojekt ALOHA die Aufgabe, das Wissen zum Thema Flughafenbetrieb und Flugzeugabfertigung bereit zu stellen. Homepage: <http://www.airport.de>

1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.4.1 Aufteilung der Arbeitspakete

Die inhaltliche Durchführung des Vorhabens wurde in fünf **Arbeitspakete** gegliedert. Dargestellt ist hier die **Definition** der Arbeitspakete aus der Vorhabensbeschreibung zur Antragstellung. Die Definition der Arbeitspakete ist unten mit einem Hinweis „**Abweichung von der Aufgabendefinition**“ versehen, wenn sich im Verlauf des Projektes Änderungen an der Zielsetzung ergeben haben. In der Vorhabensbeschreibung wurden „**Ergebnisse**“ versprochen. Dargestellt ist durch „**Erledigt**“, wie diese versprochenen Ergebnisse im Projekt erbracht wurden. Der *Titel des jeweiligen erstellten Dokumentes* kann bei Interesse anhand des Datums im Abschnitt 1.9 „Liste der erstellten Dokumentationen und Software“ nachgeschlagen werden. In Abschnitt 1.9 sind noch erheblich mehr Dokumente aufgelistet, als hier für einen Nachweis der vollständigen Erledigung der Arbeit herangezogen wurden. Viele (aber wegen der Vertraulichkeit nicht alle) *Dokumente* können ausgehend von der Seite <http://ALOHA.ProfScholz.de> *im Volltext* eingesehen werden.

Arbeitspaket 0: Projektkoordination und -begleitung:

Die HAW Hamburg übernimmt die Projektkoordination des gesamten Forschungsvorhabens sowie die Koordination mit dem Projektträger AiF. Airbus begleitet das Forschungsprojekt über die gesamte Laufzeit des Vorhabens.

Erledigt: Die Projektkoordination und -begleitung wurde durchgeführt

Arbeitspaket 1: Anforderungen: *Grundlegende Anforderungen an das Forschungsprojekt*

Einige Detailaufgaben konnten während der gemeinsamen Vorarbeiten zur Erstellung der Vorhabensbeschreibung noch nicht abschließend geklärt werden. Hierzu gehört die Auswahl der zu untersuchenden Flugzeugkonfigurationen. Eine diesbezügliche Auswahl wird Airbus im Arbeitspaket 1 treffen.

Verantwortlicher Partner: Airbus

Ergebnis: Technische Niederschrift (TN) (Airbus)

Erledigt: TN von Airbus, 24.09.2006

Arbeitspaket 2: Recherche von Betriebsabläufen und Kosten

Das Arbeitspaket beinhaltet die Recherche von Betriebsabläufen und Kostenstrukturen am Flughafen sowie die Erstellung eines Programms für die Berechnung von Bodenkosten. Das Arbeitspaket wird in zwei Unteraufgaben gegliedert:

Aufgabe 2.1: Recherche von Betriebsabläufen und Kostenstrukturen der Abfertigung der Flugzeuge am Flughafen

- Datenerhebung und Auswertung an den Flughäfen: Frankfurt, Berlin Tegel, Berlin Schönefeld, Stuttgart, St. Petersburg.
Abweichung von der Aufgabendefinition:
Datenerhebung und Auswertung an den Flughäfen: Berlin Schönefeld, Köln Bonn, Düsseldorf, Hamburg.
- Aufbau einer Referenzbibliothek mit GHS-Musterprozessen (GHS = Ground Handling Services)

Verantwortlicher Partner: Airport Research Center

Ergebnis: TN und Referenzbibliothek von ARC, TN von HAW zu dessen Anteil

Erledigt: Report von ARC, 30.08.2010; Report von HAW, 31.03.2010

Aufgabe 2.2: Programmerstellung: Berechnung von Bodenkosten

Verantwortlicher Partner: HAW Hamburg

Ergebnis: Technische Niederschrift und Software (HAW)

Erledigt: Memo, HAW, 01.02.2008

Berechnung der DOC-basierten Abfertigungskosten, HAW, Software

Berechnung Abfertigungskosten an spanischen Flughäfen, HAW, Software

Berechnung der prozessorientierten Abfertigungskosten, HAW, Software

Berechnung mit CAST: Report von ARC, 30.08.2010, Software

Arbeitspaket 3: Flugzeugentwurfsstudien

Arbeitspaket 3 befasst sich mit Flugzeugentwurfsstudien in Hinblick auf kostenoptimierte Bodenabfertigung. Um alternative Entwürfe entsprechend bewerten zu können muss eine Referenzkonfiguration ausgewählt und analysiert werden.

Aufgabe 3.1: Referenzentwurf

Referenzflugzeug in Anlehnung an den Airbus A319 (Kabinenlayout und Türanordnung wie für EasyJet). Kostenberechnung zum Referenzentwurf.

Abweichung von der Aufgabendefinition:

Airbus hat sich im AP1 für ein Referenzflugzeug in Anlehnung an den Airbus A320 entschieden.

Verantwortlicher Partner: HAW Hamburg

Ergebnis: Technische Niederschrift (HAW)

Erledigt: Paper, HAW, 19.09.2010

Aufgabe 3.2: Alternative Entwürfe

Es werden alternative konventionelle und unkonventionelle Entwürfe erstellt und die Änderungen in den Betriebskosten berechnet. Als eine alternative (konventionelle) Konfiguration soll der Hochdecker untersucht werden. Auch der Propellerantrieb mit neuer Technologie könnte sich als alternative Flugzeugkonfiguration eignen. Die zu untersuchende(n) unkonventionellen Konfigurationen werden in Arbeitspaket 1 definiert.

Abweichung von der Aufgabendefinition:

Airbus hat im AP1 keine Anforderungen hinsichtlich der Untersuchung einer unkonventionellen Konfiguration aufgestellt. Die Untersuchungen in ALOHA sollen sich beschränken auf eine konventionelle Konfigurationen.

Verantwortlicher Partner: HAW Hamburg

Ergebnis: TN zu jedem der alternativen Entwürfe (HAW)

Erledigt: Paper, HAW, 19.09.2010 und dieser Abschlußbericht

Arbeitspaket 4: Innovative Features

Reduzierung der Kosten der Bodenkosten durch die technische Bewertung von ausgewählten, innovativen technischen Features und Modifikationen in den Betriebsabläufen.

Verantwortlicher Partner: HAW Hamburg

Ergebnis: TN (HAW)

1.4.2 Zeitlicher Ablauf des Vorhabens

Der zeitliche Ablauf des Forschungsprojektes ist in Bild 1.1 als Balkendiagramm dargestellt.

Der **Start des Projektes** erfolgte zum 01.03.2007. Allerdings wurde erst zum 01.11.2007 die Stelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HAW Hamburg durch Francisco Gómez Carrasco besetzt. Dementsprechend begann die Bearbeitung des Projektes und somit alle Arbeitspakete zeitverzögert zum 01.11.2007. AP 1 wurde bereits zuvor von Airbus abgeschlossen. Die Bearbeitung des Projektes wurde in die Blöcke 1 bis 3 gegliedert. Allerdings wurde in der täglichen Praxis an allen Arbeitspaketen gleichzeitig gearbeitet um das Projekt möglichst schnell voranzutreiben.

Mitarbeitersituation. Die Bearbeitung des Projektes an der HAW Hamburg erfolgte vom 01.11.2007 bis zum 30.06.2009 durch Francisco Gómez Carrasco. Parallel dazu war Philip Krammer vom 01.10.2008 bis zum 31.03.2009 für ALOHA mit 50% tätig. Am 01.07.2009 übernahm Philip Krammer als verantwortlicher Wissenschaftlicher Mitarbeiter das Projekt ALOHA. Eingestellt war Herr Krammer jetzt über die Hamburg Innovation GmbH. Das

HAW-Budget von ALOHA wurde dadurch also nicht belastet. Mit Philip Krammer konnte der Projektfortschritt erheblich gesteigert werden, Rückstände wurden aufarbeitet. Ab dem 01.11.2009 übernahm Herr Krammer eine andere Stelle in der Forschungsgruppe von Prof. Scholz, blieb aber bis zu seinem Ausscheiden aus dem Dienst der HAW Hamburg am 30.09.2010 (und sogar darüber hinaus!) dem Projekt ALOHA entscheidend mit Rat und Tat verbunden. Am 01.07.2009 kam auch Diana Rico Sánchez in das ALOHA-Team – zunächst mit 50%, dann ab dem 28.02.2010 mit 100%. In der täglichen Arbeit wurde Frau Rico Sánchez bis zum 30.09.2010 angeleitet von Herrn Krammer danach direkt von Prof. Scholz.

Projektverlängerung. Durch die teilweise Vakanz und durch vorhandene Restmittel wurde vom Projektträger eine kostenneutrale Projektverlängerung genehmigt, die als neuer Block in Bild 1.1. kenntlich gemacht ist. Die Gesamtlaufzeit des Vorhabens wurde damit bis zum 28.02.2011 verlängert. Der Projektpartner ARC nutzte diese Zeit ebenfalls, um die erzielten Ergebnisse zu überarbeiten und die erstellte Software zu erweitern.

Beurteilung der Mitarbeitersituation. Die Personalsituation in ALOHA war zeitweise kritisch. Qualifizierte und engagierte deutschsprachige Mitarbeiter waren schwer zu finden. Bei Projekten aus dem Flugzeugbau können auftretende personelle Lücken auch mit ausländischen Mitarbeitern ohne Deutschkenntnisse gefüllt werden. Voraussetzung ist, dass diese ein Mindestmass an englischen Sprachkenntnissen mitbringen. Von dieser Möglichkeit musste in ALOHA Gebrauch gemacht werden. Dem außerordentlichen Engagement von Herrn Krammer ist es zu verdanken, dass ALOHA in dieser Situation mit umfangreichen und qualitativ hochwertigen Ergebnissen abgeschlossen werden konnte.

Balkenplan und Meilensteine (modifiziert nach Projektstart zum 01.11.2007 und nach genehmigter Projektverlängerung)

mit Haupt-Verantwortlichkeiten und Partner im WP

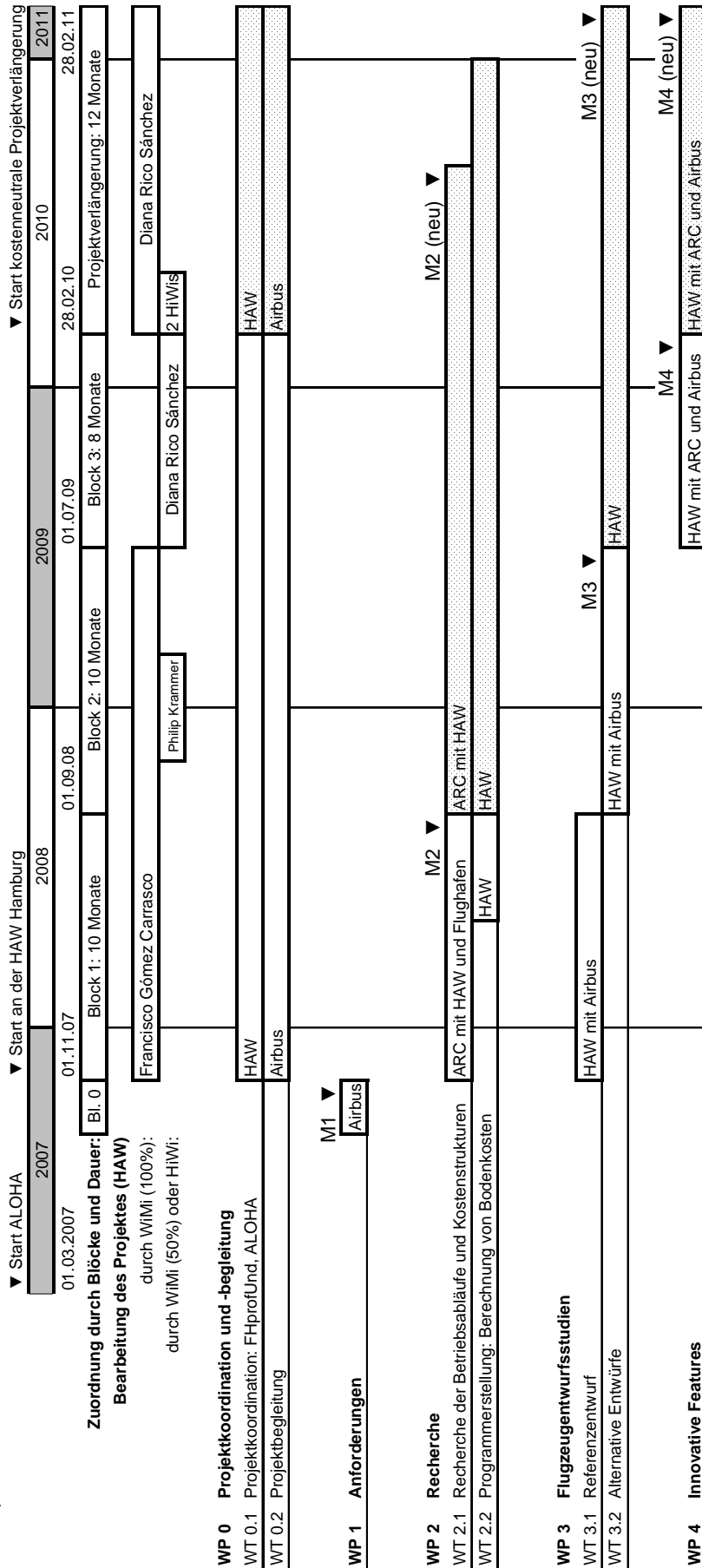


Bild 1.1

Zeitlicher Ablauf des Forschungsprojektes ALOHA

1.5 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn

Es ist bis zum heutigen Datum kein Vorhaben bekannt, welches eine ähnliche Themenstellung wie die in ALOHA behandelt oder untersucht. Lediglich in kleinen studentischen Arbeitsgruppen an den Universitäten Delft (**Delft 2007**) und Stuttgart (**Stuttgart 2008a** bis **Stuttgart 2008e**) wurden Flugzeugentwürfe in Hinblick auf eine kosteneffiziente Bodenabfertigung untersucht. Der wissenschaftlich-technische Stand an dem angeknüpft wurde bezog sich daher primär auf verwendete Software und Verfahren die zur Erstellung und Evaluierung der Flugzeugentwürfe verwendet wurde.

Die Bodenabfertigung an sich war allerdings bereits in mehreren Forschungsprojekten Hauptgegenstand der Analyse. Die Betrachtungen bezogen sich aber nicht auf mögliche konstruktive Änderungen des Flugzeugs. Die Verwertbarkeit solcher Ergebnisse war aufgrund dessen eingeschränkt.

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes ASSET „Aeronautic Study on Seamless Transport“ wurden Möglichkeiten aufgezeigt und untersucht, die die Prozesse am Flughafen verbessern könnten. In dem Projekt ASSET wird der Passagier- und Gepäckfluss von der Ankunft im Terminal bis zum Flugzeug am Flughafen untersucht. Primärziel von ASSET ist es, die Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit von Flügen zu erhöhen, um Flugplanabweichungen zu vermeiden und die Störfaktoren aus operativer und prozessualer Sicht weitestgehend zu minimieren. Das wesentliche Hilfsmittel für diese Bewertung ist die Simulation der Betriebsabläufe. ASSET betrachtet vor allem die zeitliche Optimierung der Bodenprozesse. Die Zielsetzungen in ASSET wurden wie folgt definiert (**ASSET 2010**):

- Erhöhte Pünktlichkeit → weniger Pufferanforderungen → geringere Kosten → höhere Wirtschaftlichkeit
- Erhöhte Kundenzufriedenheit aufgrund geringer Wartezeiten
- Abfertigung von mehreren Flugzeugen pro Zeiteinheit an Terminal- und Vorfeldpositionen
- Kapazitätssteigerung der Flugzeugbewegungen am Flughafen
- Höhere Zuverlässigkeit an den Schnittstellenprozessen der Land- und Luftseite

Aus dieser Zielsetzung lässt sich bereits erahnen, dass nur zu einem geringfügigen Teil die Ergebnisse von ASSET in ALOHA weiter verarbeitet werden konnten.

1.6 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens genutzt wurden

Es wurden keine bereits vorhandene Konstruktionen und Schutzrechte für die Durchführung des Vorhabens benutzt. Verfahren und Tools sind im Flugzeugentwurf jedoch verschiedene vorhanden.

Für den Entwurf und die Analyse von Flugzeugkonfigurationen wurde unter anderen auch das Programmsystem **PrADO** sowie das System **PreSTo** der Forschungsgruppe benutzt. Für die **Berechnung der direkten Betriebskosten** wurde auf bekannte Verfahren zurück gegriffen. Allerdings musste beides (PrADO und die Berechnungsmethodiken für die direkten Betriebskosten) entsprechend in ALOHA erweitert werden, um die gewünschten Effekte aus ALOHA berücksichtigen zu können.

Das Programmsystem **PrADO** (**P**reliminary **A**ircraft **D**esign and **O**ptimisation program) ist eine Sammlung von ca. 500 FORTRAN-Programmen welche auf Modulebene thematischer miteinander verknüpft sind. Die Entwurfsmodule spiegeln die Beiträge der wichtigsten am Entwurf beteiligten Fachgebiete wieder. Diese können individuell zusammengeschaltet werden um das Entwurfsproblem effektiv lösen zu können. Des Weiteren können mehrere Berechnungsmethodiken im jeweiligen Modul angewählt werden um auf gewünschte Detaillierungsgrade Rücksicht zu nehmen. Alle Programme und Module sind über ein Datenmanagementsystem (DMS) miteinander verknüpft. Das DMS steuert den Zugriff auf 15 thematische geordnete Datenbanken in denen die Vorgaben und die berechneten Entwurfsgrößen abgelegt sind. Während des Ablaufs eines Moduls werden Daten über das DMS aus den Datenbanken ausgelesen, neu berechnet und in die Datenbank zurück geschrieben. Auch neue Parameter können in die Datenbank mit aufgenommen werden. Dieses System ermöglicht so ein iteratives Berechnungsverfahren. Am Ende einer Gesamtentwurfsanalyse repräsentieren die Inhalte der Datenbanken eine Beschreibung der aktuellen Flugzeugkonfiguration. PrADO ist ein Entwurfsprogramm des Instituts für Flugzeugbau und Leichtbau der TU Braunschweig und wird dort seit über 20 Jahren entwickelt. Auch die HAW Hamburg hat durch Ihre Arbeiten am Programmsystem dieses erweitert. Homepage: <http://www.tu-braunschweig.de/ifl/simulationswerkzeuge/prado> .

PreSTo (**P**reliminary **S**izing **T**ool) ist ein Projekt in der Forschungsgruppe Aero der HAW Hamburg. Das Projekt wird HAW-intern gefördert. Die seit dem SS2010 begonnenen Praktika, Projekt- und Abschlussarbeiten sind die Basis für die weiteren Arbeiten an PreSTo. Die Firma Bishop GmbH unterstützt die Entwicklung von PreSTo durch die Finanzierung und Betreuung von Praktika und Abschlussarbeiten. PreSTo hat das Ziel, das Berechnungsschema aus der Vorlesung Flugzeugentwurf in einer Tabellenkalkulation abzubilden. PreSTo

unterstützt die Flugzeugentwerfer darin, aus den Anforderungen an das Flugzeug die Ergebnisdaten des Flugzeugentwurfes zu erzeugen. Homepage: <http://PreSTo.ProfScholz.de> .

Es existieren bereits mehrere Methoden um die **Betriebskosten** aus der Sicht einer Fluggesellschaft zu **berechnen**. Für das ALOHA Projekt wurden alle verfügbaren Methoden in Hinblick auf die Berechnung der Bodenabfertigungskosten analysiert. Diese sind im nachfolgenden genannt:

- Air Transport Association of America (ATA) (**ATA 1967**)
- American Airlines (AA) (**AA 1980**)
- Lufthansa (**DLH 1982**)
- Association of European Airlines (AEA) (**AEA 1989a**): Methode für Kurz- und Mittelstreckenflüge
- Association of European Airlines (AEA) (**AEA 1989b**): Methode für Langstreckenflüge
- Airbus Industries (AI) (**AI 1989**)
- Fokker (**Fokker 1993**)
- Boeing (**Boeing 1993**)
- Boeing (**Boeing 1995**): update von **Boeing (1993)**

Die Methode der Air Transport Association of America sowie die von Airbus Industries beinhalten keine Möglichkeit Bodenabfertigungskosten zu berechnen. Alle anderen lieferten ein sehr vereinfachtes Berechnungsverfahren. Änderungen in den Bodenabfertigungsprozessen können durch diese Berechnungsmethoden jedoch nicht erfasst werden.

1.7 Verwendete Fachliteratur

Die im Folgenden aufgelisteten Quellen wurden als **wichtigste Fachliteratur im Projekt** identifiziert. Einordnungsformeln (Autor Jahreszahl) in diesem Bericht zu Quellen die hier nicht aufgeführt sind gehören nicht zu der „wichtigen Fachliteratur im Projekt“ und sind dann im Literaturverzeichnis als „weitere Quellen“ aufgeführt.

AA 1980 AMERICAN AIRLINES: *A New Method for Estimating Transport Aircraft Direct Operating Costs*. Chicago : American Airlines, 1980

AEA 1989a ASSOCIATION OF EUROPEAN AIRLINES: *Short-Medium Range Aircraft AEA Requirements*. Brussels : AEA, 1989 (G(T)5656)

- AEA 1989b** ASSOCIATION OF EUROPEAN AIRLINES: *Long Range Aircraft AEA Requirements*. Brussels : AEA, 1989 (G(T)5655)
- AI 1989** AIRBUS INDUSTRIE: *Airbus Project D.O.C. Method*. Toulouse : Airbus Industrie, 1988 (AI/TA-P812.076/88 ISS.1)
- Airbus 1995** AIRBUS S.A.S.: *A320 Airplane Characteristics for Airport Planning AC*. Blagnac Cedex : Airbus S.A.S., 1995 (Ref: D -AC)
- Airbus GH 1995** AIRBUS INDUSTRY: *Ramp Compatibility, Ground Handling/Serviceing. Airbus Directives (ABD) and Procedures*. Blagnac, France: Airbus S.A.S., 1995 (ABD0065)
- ARP 4294** SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS: *Aerospace Recommended Practice 4294 : Data Formats and Practices for Life Cycle Cost Information*. Warrendale : SAE, 1992
- ATA 100** AIR TRANSPORT ASSOCIATION OF AMERICA: *Specification for Manufacturers' Technical Data, ATA Specification 100*. Washington D.C. : ATA, 1994
- ATA 1967** AIR TRANSPORT ASSOCIATION OF AMERICA: *Standard Method of Estimating Comparative Direct Operating Costs of Turbine Powered Transport Airplanes*. Washington D.C. : ATA, 1967
- Bentley 2008** BENTLEY, David: *Low Cost Airport Terminals Report*. Sydney : Centre for Asia Pacific Aviation, 2008
- Beyer 2004** BEYER H. T.: *Online-Lehrbuch – Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. Erlangen, Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Wirtschaftswissenschaft, Lehre, 2004. – URL: <http://www.economics.phil.uni-erlangen.de/bwl/> (2010-03-28)
- Boeing 1993** BOEING: *Boeing 1992 Operating Cost Method For High Speed Commercial Transport (HSCT) Airplanes*. Seattle : Boeing Commercial Airplane Group, 1993 (6-1442-MES-HSCT-002-93)
- Boeing 1995** BOEING: *Airplane Operating Cost Methods U.S. Majors & AEA European Airlines*. Seattle : Boeing Commercial Airplane Group, 1995

- Boeing 2005** BOEING COMMERCIAL AIRPLANES: *B737 Airplane Characteristics for Airport Planning*. Section 2 : *Airplane Description*. Section 5:
- Carubba 1992** CARUBBA, E.R.: *Integrating Life-Cycle Costs and Cost-of-Ownership in the Commercial Sector*, (Annual Reliability and Maintainability Symposium, Las Vegas, 1992), New York : IEEE, 1992
- Capelo 2008** CAPELO, Emílio J. et al.: *Aircraft boarding fine tuning*, Rio De Janeiro : International conference on industrial engineering and operations management, 2008
- Creaton 2008** CREATON, Siobhán: *Ryanair: The Full Story of the Controversial Low Cost Airline*. London: Aurum Press, 2008. – ISBN 978-1-84513-293-4
- Crönertz 2008** CRÖNERTZ, Oliver: *Prozessorientierte Kalkulation von Flughafenleistungen. Schwerpunkt: Bodenabfertigungsdienste von Passagierflugzeugen*. Saarbrücken : VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co., 2008. – ISBN 978-3-8364-8460-2
- DLH 1982** LUFTHANSA: *DLH Method 1982 for Definition of the Performance and Direct Operating Costs of Commercial Fixed Wing Aircraft*. Hamburg : Lufthansa, 1982
- Fokker 1993** FOKKER: *DOC groundroules 1993 for the economic evaluation of Fokker new aircraft*. Amsterdam : Fokker, 1993 (RP-93-523)
- Gittell 2005** GITTELL, Jody H.: *The Southwest Airlines Way: Using the Power of Relationships to Achieve High Performance*. New York : McGraw-Hill, 2005. – ISBN 978-0-07-145827-6
- Groß 2007** GROB, Sven; SCHRÖDER, Alexander (Eds.): *Handbook of Low Cost Airlines : Strategies, Business Processes and Market Environment*. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2007. – ISBN 978-3-503-10081-1
- Haberland 1994** HABERLAND, Ch.; KRANZ, O.; STOER, R.: Impact of Operational and Environmental Aspects on Commercial Aircraft Design. In: *ICAS: 19th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences* (ICAS, Anaheim, 18. - 23. September 1994), Reston : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994. – Paper ICAS-94-1-3-1, S. 646-655

- Heinze 2001** HEINZE, W.; ÖSTERHELD, C. M.; HORST, P.: Multidisziplinäres Flugzeugentwurfsverfahren PrADO – Programmwurf und Anwendung im Rahmen von Flugzeugkonzeptstudien. In: DGLR: *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2001* (DLRK, Hamburg, 2001). Hamburg : DGLR, 2001. – Paper DGLR-2001-194, erschienen im DGLR-Jahrbuch Band 3, Bonn (2002)
- Hortsmeier 2001** HORTSMEIER, Theo; DE HAAN, Floris: *Influence of ground handling on turn round time of new large aircraft*. Volume 73, Number 3 : *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. MCB University Press, 2001
- IATA 2009a** INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION: *Airport Handling Manual : Effective 1 January - 31 December 2009*. Bd. 29. Montreal – Geneva : IATA, 2009. – ISBN 978-92-9233-108-5
- Jane's 2009** JACKSON, Paul (Hrsg.): *Jane's Airports, Equipments & Services*. Coulsdon, Surrey: Cambridge University Press, 2009
- Johnson 1990** JOHNSON, V.S.: Minimizing Life Cycle Costs for Subsonic Commercial Aircraft. In: *Journal of Aircraft*, Bd. 27 (1990), Nr. 2, S. 139-145
- Köhler 2007** KÖHLER, W.; SCHACHTEL, G.; VOLESKE, P.: *Biostatistik*. 4. ed. Berlin : Springer-Lehrbuch, 2007. – ISBN 978-3-540-37710-8
- Kuntner 2008** KUNTNER, Christoph: *Integration eines Fahrwerkantriebes zum Manövrieren des Flugzeuges am Boden*. Aachen, Aachen University of Applied Science, Master Thesis, 2008
- Landeghem 2000** LANDEGHEM, H.; BEUSELINK, A.: *Reducing passenger boarding time in airplanes : A simulation based approach*. Gent/Belgium : 2000
- McFadden 2008** MCFADDEN, Kathleen; NYQUIST, David C.: A study of the airline boarding problem. In: *Journal of Air Transport Management*. Illinois : 2008
- Niu 1988** NIU, Michal Chun-Yung: *Airframe Structural Design*. California U.S.A. : Connilit, 1988
- O'Connor 2001** O'CONNOR, William E.: *An Introduction to Airline Economics*. 6. ed. Westport, Conn. : Praeger Publishers, 2001. – ISBN 0-275-96911-8

- Raymer 1989** RAYMER, Daniel P.: *Aircraft Design : A Conceptual Approach*. Washington D.C. : AIAA Education Series, 1989
- Roskam 1989a** ROSKAM, Jan: *Airplane Design*. Bd. 1 : *Preliminary Sizing of Airplanes*, Ottawa, Kansas, 1989
- Roskam 1989b** ROSKAM, J.: *Airplane Design*. Bd. 2 : *Preliminary Configuration Design and Integration of the Propulsion System*. Ottawa, Kansas, 1989
- Roskam 1990** ROSKAM, J.: *Airplane Design*. Bd. 8 : *Airplane Cost Estimation*. Ottawa, Kansas, 1990
- Schmidt 1997** SCHMIDT, Andreas; LÄPPLE, Martin; KELM, Roland: *Advanced Fuselage Weight Estimation for the New Generation of Transport Aircraft*. Hamburg : Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH, 1997
- Scholz 1995** SCHOLZ, Dieter: Betriebskostenschätzung von Flugzeugsystemen als Beitrag zur Entwurfsoptimierung. In: BÜRGENER, G. (Ed.): *Jahrbuch 1995 I (Deutscher Luft- und Raumfahrtkongreß, Bonn, 26. - 29. September 1995)*. Bonn : Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, 1995, S. 50 - 61
- Scholz 2008** SCHOLZ, Dieter (Hrsg.): *Aircraft Design*. Hamburg, Hamburg University of Applied Sciences, Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Aero - Aircraft Design and Systems Group, Short Course Notes, 2008. – URL: <http://AircraftDesign.ProfScholz.de>
- Schumacher 2005** SCHUMACHER, A.: *Optimierung mechanischer Strukturen*. Berlin : Springer-Lehrbuch, 2005. – ISBN 3-540-21887-4
- Shaw 2007** SHAW, Stephen: *Airline Marketing and Management*. 6. ed. Aldershot : Ashgate Publishing, 2007. – ISBN 978-0-7546-4820-8 (Pbk)
- Slingerland 2007** SLINGERLAND, Roland: *Low Fare Airline Optimized Aircraft : Design Synthesis Exercise EA3-001*. Delft, Technical University Delft, Master Thesis, 2007

- Stavenhagen 2002** STAVENHAGEN, Tom: *Analysis of the aircraft turn-round for modelling and improving the cabin cleaning process*. Helsinki, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Master Thesis, 2002
- Tesch 2007** TESCH, Werner: *Turnaround and Ground Handling Aspects*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Praxisseminar, 2007
- Torenbeek 1988** TORENBEEK, E.: *Synthesis of Subsonic Airplane Design*, Delft : Delft University Press, 1988
- Trahmer 2009** TRAHMER, Bernd: *Rumpf – Aspekte beim Flugzeugentwurf*. Hamburg : Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH, 2009
- Van Den Briel 2005** VAN DEN BRIEL, Menkes H.L.; VILLALOBOS, René, HOGG, Gary L.: *America West Airlines Develops Efficient Boarding Strategies*. In: *Interfaces Magazine*, 2005
- Zangemeister 1973** ZANGEMEISTER, Christof: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. München : Wittemann, 1973. – ISBN 3-923264-00-3

1.8 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Ansprechpartner der jeweiligen Projektpartner sind:

Projektpartner ARC Aachen

Tom Heuer

Airport Research Center GmbH

Bismarckstr. 61

D-52066 Aachen

tom.heuer@arc-aachen.de

Phone: +49 241 16843-10

Projektpartner Airbus

Axel Dengler
 R&T Projects, EDXN
 Airbus Future Projects
 Airbus Operations GmbH
 Kreetslag 10
 D-21129 Hamburg
 Axel.Dengler@airbus.com
 Phone: +49-40-7437-0

Projektpartner Hamburg Airport

Burkhardt Höfer
 Flughafen Hamburg GmbH (Ground Handling Division)
 Flughafenstraße 1-3
 D-22335 Hamburg
 BHoefer@ham.airport.de
 Phone:+49-40-50753620

Eine intensive Zusammenarbeit mit dem Projektpartner ARC Aachen ergab sich durch Schnittstellenprogrammierung zwischen PrADO und CAST Ground Handling sowie durch die Erstellung eines Anforderungskataloges an die Software CAST Ground Handling. Des Weiteren konnte in Zusammenarbeit eine Veröffentlichung erstellt werden, die auf dem „Luftfahrtweltkongress“ ICAS 2010 vorgestellt werden konnte. Die Zusammenarbeit mit Airbus wurde als sehr gut empfunden da zu jeder Zeit Hinweise gegeben und auch auf Anfrage Antworten bereit gestellt wurden. Die Besprechungen von ARC Aachen, Airbus und HAW Hamburg in diversen Projektmeetings (siehe unten) führten immer zu sehr guten Ideen. Während der Projektlaufzeit konnten die Verbindungen zum Flughafen Hamburg leider nicht entscheidend weiter ausgebaut werden. Jedoch brachte ARC Aachen seine Kontakte zum Hamburg Airport in ALOHA ein.

Interface zwischen zwei Computerprogrammen

Zwischen der am ARC Aachen entwickelten Software CAST Ground Handling und der an der HAW Hamburg eingesetzten Software PrADO wurde eine Schnittstelle definiert und entwickelt, die es erlaubt Ergebnisse aus PrADO in CAST GH weiter zu nutzen.

Besprechungen

Die Zusammenarbeit zwischen den vier Projektpartnern wurde getragen durch Projektbesprechungen aller vier Partner, die in mindestens halbjährlichen Abständen stattfanden und durch ein Protokoll dokumentiert wurden. Zusätzlich fanden zu konkreten Themen und Ereignissen bilaterale Treffen und Telefonkonferenzen statt.

Es fanden folgende Besprechungen statt:

- | | |
|--------------|---|
| 14.12.2007 | Nr. 1: Kick-Off Meeting der Projektpartner an der HAW Hamburg (Hamburg Flughafen nahm nicht teil) |
| 14.04.2008 | Meeting zwischen HAW Hamburg and Gerd Roloff (Airbus Deutschland GmbH) zur Information über elektrische Antriebe von Bugfahrwerken. |
| 15.04.2008 | Nr. 2: Intermediate Meeting zwischen den Projektpartnern HAW Hamburg und Airbus Deutschland GmbH |
| 09-12.9.2008 | Meeting zwischen HAW Hamburg and ARC Aachen zur Einarbeitung von Herrn Gomez in das Programm SIMBA (Simulation for aircraft servicing). |
| 23.10.2008 | Nr. 3: Fortschrittsmeeting zwischen den Projektpartnern HAW Hamburg, Airbus Deutschland GmbH, Airport Research Center und Hamburg Flughafen |
| 07.11.2008 | Meeting zwischen HAW Hamburg and Ola Ohlsson (Spanair) zur Information über Verbesserungen der Bodenabfertigung. |
| 16.06.2009 | Nr. 4: Intermediate Meeting aller Projektpartner bei Airbus Deutschland GmbH (Teilnahme des Projektpartners ARC Aachen über eine Telefonkonferenz) |
| 16.12.2009 | Nr. 5: Fortschrittsmeeting aller Projektpartner an der HAW Hamburg (Hamburg Flughafen nahm nicht teil) |
| 07.09.2010 | Nr. 6: Finales Meeting aller Projektpartner an der HAW Hamburg (Hamburg Flughafen nahm nicht teil) |

Neben den genannten festen Projektpartnern wurde mit den folgenden „assozierten Partnern“ in Form von Betreuungen von Projektarbeiten, Abschlussarbeiten und Praktika von Studierenden dieser Partner kooperiert:

- Katholieke Hogeschool Brugge – Oostende (Belgien): 1 Studierender
- ESTACA Paris (Frankreich): 1 Studierender
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (Spanien): 2 Studierende

Die von den Projektpartnern erzielten Ergebnisse, wichtige Quellen und Dokumente wurden von der HAW Hamburg mittels der Projektmanagementsoftware Redmine (<http://www.redmine.org>) gesammelt, verwaltet und abgelegt und somit für jeden Projektpartner über das Internet frei zugänglich gemacht.

1.9 Liste der erstellten Dokumentationen und Software

Tabelle 1.1 liefert einen Überblick über alle erstellte Dokumentation und Software und deren Zuordnung im Projekt in den jeweiligen Arbeitspaketen (AP). Wenn ein Dokument in bestimmten Fällen thematisch mehreren Arbeitspaketen zugeordnet werden kann, dann werden auch diese weiteren APs angegeben. Das Arbeitspaket mit der thematischen Hauptzuordnung ist in Fettdruck dargestellt.

Tabelle 1.1 Liste der erstellten Dokumentation und Software

Titel des Dokumentes	Typ	Autor	Datum	AP
Vorhabensbeschreibung ALOHA	R	HAW	24.09.2006	0
ALOHA Project Requirements	TN	Airbus	24.04.2007	1 (3.1)
ALOHA Kick-Off Meeting (Meeting No 1)	MM	HAW	14.12.2007	0
Low cost airline's average route length	M	HAW	25.01.2008	1
Approaches to the Determination of Ground Handling Costs	M	HAW	01.02.2008	2.2
ALOHA Meeting (Electrical Driven NLG)	MM	HAW	14.04.2008	4
ALOHA Meeting (Meeting No 2)	MM	HAW	15.04.2008	0
Zwischenbericht ALOHA	R	HAW	30.04.2008	0
Simba Gesamtübersicht	R	ARC	03.07.2008	2.2
Simba 2D	S	ARC	03.07.2008	2.2
Efficient autonomous pushback and taxiing - A step forward to reducing costs and pollution	MT	HAW	08.07.2008	4
Promising Aircraft Modifications for Low Handling Costs	PRE	HAW	23.09.2008	2.1 (3.1, 3.2, 4)
Forschungs- und Entwicklungsprojekt ALOHA	R	ARC	15.10.2008	2
ALOHA Meeting (Meeting No 3)	MM	HAW	23.10.2008	0 (4)
Flugzeugentwurf für Kostenoptimierte Abfertigung	ART	HAW	13.02.2009	2.1 (4)
Research and Development Project ALOHA	R	ARC	18.02.2009	2.1
ALOHA Meeting (Meeting No 4)	MM	HAW	16.06.2009	0
Optimized Ground Handling Aircraft	M	HAW	18.06.2009	3.2
Interview with Ola Ohlsson Responsible for Ground Operations	MM	HAW	22.06.2009	2.1
Improvements to Ground Handling Operations	TN	HAW	22.06.2009	4 (2.1)
Review of Literature at Aero about Airline Economics	N	HAW	24.06.2009	2.1
Improvements to Ground Handling Operations and their Benefits to Direct Operating Costs	P	HAW	07.07.2009	4 (2.1)
ALOHA_Zwischenbericht: Zusammenfassung Datenerfassung, Analyse und Ergebnisse	R	ARC	14.07.2009	2.1
ALOHA - Aircraft Design for Low-Cost Ground Handling	ART	HAW	22.09.2009	2.1 (3.2)
Analysis of Ground Handling Characteristics of Innovative Aircraft Configurations	MT	HAW	28.09.2009	2.1 (3.2)
ALOHA expert interviews	N	HAW	27.10.2009	4 (2.1, 3.2)
Optimal Boarding Methods for Airline Passengers	SP	HAW	08.12.2009	3.2
ALOHA Meeting (Meeting No 5)	MM	HAW	16.12.2009	0
Summary GH Process Analysis	M	ARC	07.01.2010	2.1
Excel Tool for CG - Travel of Passenger Aircraft	S	HAW	26.02.2010	3.1
CG - Travel of Passenger Aircraft	SP	HAW	26.02.2010	3.1
Aspekte der Auswertung von Turn Around Videos	M	HAW	09.03.2010	2.1

Program Development for Analyzing Ground Handling Data	TN	HAW	15.03.2010	2.1
MATLAB Tool for Analyzing Ground Handling Data	S	HAW	15.03.2010	2.1
Analysis of Interviews Performed with Ground Handling Experts	R	HAW	31.03.2010	4 (2.1, 3.2)
Cost Estimation and Statistical Analysis of Ground Handling Processes	R	HAW	31.03.2010	2.2 (2.1)
ALOHA - Aircraft Design for Low-Cost Ground Handling	ART	HAW	08.04.2010	2.1 (3.2)
Von der Nutzwertanalyse zum Entwurf eines Passagierflugzeugs für einfache Bodenabfertigung in PrADO	SP	HAW	29.04.2010	3.2
Zwischenbericht ALOHA	R	HAW	30.04.2010	0
CAST GH	S	ARC	06.05.2010	2
Konzeptionelle Untersuchungen zu Grossen Türausschnitten in Passagierflugzeugen	SP	HAW	10.07.2010	3.2
Final Report ALOHA	R	ARC	30.08.2010	2.1 (2.2, 3.1, 3.2)
Ground Handling Simulation with CAST	MT	HAW	02.09.2010	2.1 (2.2)
Final ALOHA Meeting (Meeting No 6)	MM	HAW	07.09.2010	0.1
Aircraft Design for Low Cost Ground Handling - The Final Results of the ALOHA Project	P	HAW + ARC	19.09.2010	3.2 (2.1, 2.2, 3.1, 4)
Schlussbericht FHprofUnd-Projekt "ALOHA"	R	HAW	28.02.2011	0

Legende:

ART	Artikel (Article)
M	Mitteilung (Memo)
MM	Protokoll (Minutes of Meeting)
MT	Masterarbeit (Master Thesis)
N	Notiz (Note)
P	Veröffentlichung (Paper)
PRE	Präsentation (Presentation)
R	Bericht (Report)
S	Software
SP	Projektarbeit (Student Project)
TN	Technische Niederschrift (Technical Note)

2 Erzielte Ergebnisse

Die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens verlangte eine Betrachtung aus der Sicht des Kunden, sprich der Fluggesellschaft. Das Produkt Flugzeug sollte für den Kunden attraktiver gestaltet werden. Dabei spielen Kosten eine wesentliche Rolle. Eine Fluggesellschaft kann jedoch nur begrenzt auf Kosten und Gebühren Einfluss nehmen. Die direkten Betriebskosten ergeben sich aus der Summe:

$$C_{DOC} = C_{DEP} + C_{INT} + C_{INS} + C_F + C_M + C_C + C_{FEE} \quad (2.1)$$

$$C_{FEE} = C_{FEE,LD} + C_{FEE,NAV} + C_{FEE,GND} \quad (2.2)$$

Die Kosten C die sich aus der Abschreibung C_{DEP} und Verzinsung C_{INT} ergeben sind primär vom Verkaufspreis des Flugzeugs abhängig. Lande- und Navigationsgebühren sind von Flughäfen und Flugsicherungsgesellschaften abhängig. Auch die Versicherungskosten C_{INS} , die Kraftstoffkosten C_F und die Besatzungskosten C_C sind nur begrenzt beeinflussbar. Die Wartungskosten C_M hingegen, können durch eine Fluggesellschaft angepasst und verändert werden in dem z.B. eine Flottenhomogenisierung durchgeführt wird, um Ersatzteilepreise, Schulungskosten und Werkzeugkosten zu senken. Auch die Bodenabfertigungskosten $C_{FEE,GND}$ können gesenkt werden indem z.B. spezielle Dienstgütevereinbarungen (Service Level Agreements) mit Flughäfen oder Bodenabfertigungsgesellschaften verhandelt werden. Diese Verträge sind vom Flugzeugtyp und von den Tätigkeiten, die während des Turnarounds durchgeführt werden müssen, abhängig.

Zusammengefasst beschränken sich also die Möglichkeiten auf genannte Kostenelemente in Gleichungen 2.1 und 2.2 Einfluss zu nehmen auf die Bereiche Wartung und Bodenabfertigung:

$$\Delta C_{DOC} \approx \frac{\partial C_M}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 + \frac{\partial C_{FEE,GND}}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 \quad (2.3)$$

Obwohl es den Anschein hat, dass diese Möglichkeiten doch sehr begrenzt sind, haben Billigfluggesellschaften (z.B. Southwest Airlines und Ryanair) die Einflussnahme auf diese Kostenelemente erfolgreich bewiesen und konnten die Ticketpreise senken. Dieses Businessmodell hat nun ein globales Interesse geweckt zumal herkömmliche, staatliche und private Fluggesellschaften auf den Preisdruck der Billigfluggesellschaften reagieren mussten um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.

Eine Schlüsselkomponente des Erfolgsmodells von Billigfluggesellschaften ist ein adaptierter Turnaround am Flughafen. Es muss an dieser Stelle jedoch bereits darauf hingewiesen

werden, dass viele Anpassungen in der Bodenabfertigung meist nur im Zusammenhang mit Sekundärflughäfen möglich sind, da entsprechend vereinfachte Randbedingungen vorliegen. Im Forschungsprojekt ALOHA wurde nun spezielle auf die Billigfluggesellschaften und deren Strategien eingegangen. Angewandte Prozessadaptierungen wurden eruiert und evaluiert. Dabei wurde besonders darauf Wert gelegt, Verbesserungsmöglichkeiten zu finden, die sowohl für herkömmliche Fluggesellschaften als auch für Billigfluggesellschaften interessant wären. Es ist eher unwahrscheinlich, dass Flugzeughersteller einen speziellen Flugzeugtyp für eine dieser Gesellschaften anbieten. Eine ganzheitliche Betrachtung ist also notwendig.

2.1 Grundlegende Effekte

Eine Verbesserung in der Bodenabfertigung kann auf zwei grundlegende Effekte zurück geführt werden: Minimierung der Bodenabfertigungskosten und Minimierung der Bodenabfertigungszeit.

2.1.1 Minimierung der Bodenabfertigungskosten

Eine Reduzierung der Kosten eines einzelnen Bodenabfertigungsprozesses führt zu einer Reduzierung der Bodenabfertigungskosten und somit zu einer Reduzierung der Gesamtkosten. Jede Kosteneinsparung eines einzelnen Prozesses führt somit zu einer Gesamtreduktion der Bodenabfertigungskosten. Ziel ist es also Bodenabfertigungspersonal und Bodenabfertigungsgerät einzusparen. Dies lässt sich durch folgende Gleichung darstellen:

$$C_{FEE,GND} = \sum_{i=1}^{n_P} \sum_{j=1}^{n_A} \left[t_{i,j}(x_{ops}, \bar{k}) \cdot p_{i,j,CD} \cdot n_{i,j,RES} + p_{i,j,const} \right] \quad (2.4)$$

wobei

n_P	Anzahl der individuellen Bodenabfertigungsprozesse die an der gesamten Bodenabfertigung teilnehmen
n_A	Anzahl der Aktivitäten des individuellen Bodenabfertigungsprozesses i
t_i	Prozessdauer der individuellen Bodenabfertigungsaktivität j innerhalb des Bodenabfertigungsprozesses i als eine Funktion von (falls zutreffend):
x_{ops}	- Operationeller Parameter (z.B. Anzahl der Sitze, Gepäckstücke, etc.)
k	- Durchschnittsdauer
$p_{i,j,CD}$	Kostentreiber der Aktivität j innerhalb des Prozesses i
$n_{i,j,RES}$	Anzahl der Ressourcen notwendig für Aktivität j innerhalb des Prozesses i
$p_{i,j,const}$	Festbetrag der Aktivität j innerhalb des Prozesses i

Ein Grundproblem dieser abstrakten Betrachtung ist jedoch das Zusammenspiel von mehreren Akteuren die am Prozess beteiligt sind. Zum Beispiel führt eine Vereinfachung der Schnittstelle zwischen Flugzeug und Flughafenterminal zu einer Reduzierung im benötigten Bodenabfertigungsgerät und Personal. Dies hätte wiederum positive Auswirkungen auf die Gesamtkosten der Abfertigung. Des Weiteren verringert sich, durch eine Vereinfachung der gesamten Prozesskette, die Wahrscheinlichkeit einer Verzögerung im Prozessablauf. Um dies zu erreichen müsste das Flugzeug autonomer, d.h. unabhängiger von externen Bodenabfertigungsgeräten, werden. Bordtreppen, autonomes „push-back“ und „sliding carpets“ erfüllen den Zweck der erhöhten Automatisierung, müssen jedoch in das Flugzeug integriert werden. Ein Resultat dessen ist unter anderem eine Erhöhung des Flugzeugesamtgewichtes, welches wiederum zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch führt. Es muss also beachtet werden, ob die Kostenreduktion in der Gesamtbetrachtung auch gewährleistet ist (Gleichung 2.1 und 2.2), denn auch die Treibstoffkosten sind ein Teil der gesamten Betriebskosten. Würden diese Zusammenhänge nicht beachtet werden, könnte eine Umrüstung des Flugzeuges Kostennachteile statt Kostenvorteile mit sich bringen.

2.1.2 Minimierung der Bodenabfertigungszeit

Im Gegensatz zu den Kosten führt eine Reduzierung der Prozessdauer eines einzelnen Prozesses nicht unbedingt zu einer Reduzierung der Gesamtdauer der Bodenabfertigung. Grund dafür ist die Parallelität einzelner Prozesse. Liegt der Prozess mit einer verkürzten Prozessdauer nicht auf dem kritischen Pfad der gesamten Prozesskette ist dessen Verbesserung nicht im Gesamtmodell ersichtlich.

Des Weiteren führt eine verkürzte Bodenabfertigungszeit nicht unbedingt zu einer Einsparung der Gesamtkosten C_{DOC} . Dies ist nur der Fall wenn die Summe aller Zeiteinsparungen in der Bodenabfertigung eines Tages, jene Dauer erreicht, einen zusätzlichen Flug innerhalb des Beobachtungszeitraumes (innerhalb eines Tages) zu absolvieren. Kann ein zusätzlicher Flug untergebracht werden, dann können die Kosten, die unabhängig von der Flugzeit sind (Abschreibung, Versicherung, Zinsen) auf mehr Flüge aufgeteilt werden, was zu einer Kostenreduzierung des einzelnen Fluges führt. Entsprechend ist die Auslastung (Englisch: utilization U) des Flugzeuges gestiegen. U lässt sich durch folgende Gleichung darstellen:

$$U_{d,f} = t_f \cdot \frac{A_d}{t_f + t_a + t_t} = t_f \cdot n_{f,d} \quad (2.5)$$

wobei:

$U_{d,f}$ tägliche Auslastung [h/d]

A_d tägliche Verfügbarkeit [h]

t_f	Flugzeit [h]
t_a	Bodenabfertigungszeit [h]
t_t	Rollzeit [h]
$n_{f,d}$	Anzahl der Flüge pro Tag [-]; ganze Zahl

Auch hier müssen die Parameter einzeln auf Einflussnahme überprüft werden. Die Flugzeit t_f ist für ein gegebenes Flugzeug vergleichsweise fest vorgegeben durch die Reisefluggeschwindigkeit und die Entfernung zum Flugziel. Einmal festgelegt von der Airline wird die Flugzeit im Flugplan fixiert. Die Rollzeit kann ebenfalls wenig beeinflusst werden. Sie ist primär vom Flughafenlayout abhängig. Die tägliche Verfügbarkeit wird durch mehrere externe Parameter beeinflusst wie z.B. Flugplan und Nachtflugbeschränkungen des Flughafens. Der einzige Parameter, der also von einer Fluggesellschaft verändert werden kann um die Auslastung des Flugzeugs zu erhöhen ist t_a , die Bodenabfertigungszeit. Die Frage die sich stellt ist also, wie viel man in t_a einsparen muss um die Auslastung U zu erhöhen. Da die Anzahl der Flüge pro Tag nur ganzzahlige Größen annehmen kann, muss dies auch in Gleichung 2.4 berücksichtigt werden:

$$U_{d,f,rel} = \frac{t_f \cdot \lfloor n_{f,d} \rfloor}{A_d} = \frac{\left\lfloor \frac{A_d}{t_f + t_a + t_t} \right\rfloor \cdot t_f}{A_d} \quad (2.6)$$

$$\lfloor n_{f,d} \rfloor = \max \{ k \in \mathbb{Z} \mid k \leq n_{f,d} \} \quad (2.7)$$

Entsprechend erhöht sich die relative tägliche Auslastung $U_{d,f,rel}$ des betrachteten Flugzeuges nur wenn sich die Anzahl der Flüge pro Tag $n_{f,d}$ um mehr als eins erhöht. Dies führt demnach zur folgenden Bedingung:

$$\frac{A_d}{t_f + t_a + t_t} = \lfloor n_{f,d} \rfloor + 1 \quad (2.8)$$

Bild 2.1 zeigt die relative tägliche Auslastung über der Flugzeit aufgetragen für zwei unterschiedliche Bodenabfertigungszeiten. $U_{d,f,rel}$ steigt linear mit größer werdender Flugzeit (grüne und violette Sägezahnkurven). Allerdings wird an einem Punkt (an der blauen Umhüllenden) eine Flugzeit erreicht, die die Anzahl der Flüge um eins reduziert, da die Summe aller Flüge mit einer Flugzeit t_f innerhalb der gewählten täglichen Verfügbarkeit A_d einen Flug weniger verlangt. An dieser Stelle sinkt $U_{d,f,rel}$ entsprechend schlagartig.

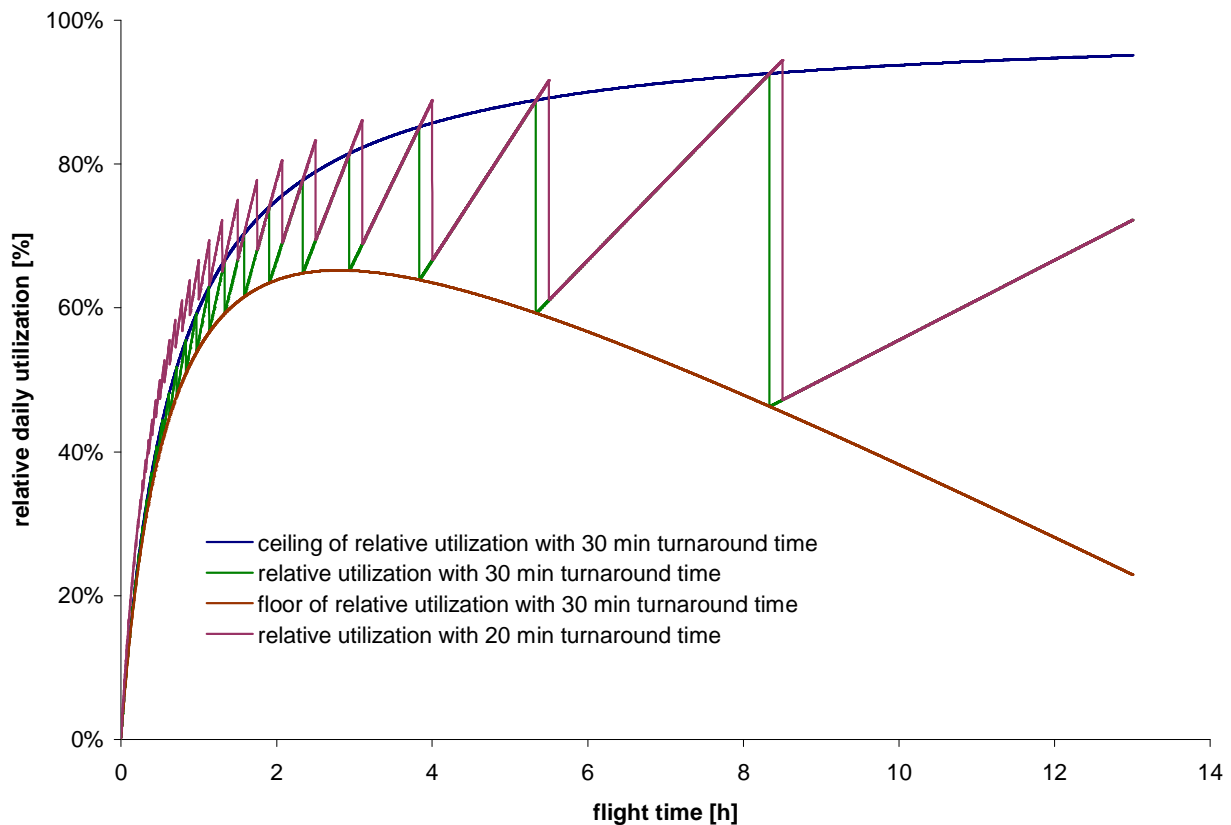


Bild 2.1 Relative tägliche Auslastung $U_{d,f,rel}$ (relative daily utilization) über der Flugzeit t_f (flight time) für unterschiedliche Bodenabfertigungszeiten. Gewählte Parameter: $A_d = 18$ h; $t_t = 10$ min

Dieses Verhalten ist signifikanter für Kurzstreckenflüge. Bild 2.2 zeigt die notwendige Einsparung in der Bodenabfertigungszeit um die Auslastung zu erhöhen (Gleichungen 2.5 und 2.6). Erkennbar ist, dass bei einer längeren Flugdauer der Anspruch einer signifikanten Reduzierung in der Bodenabfertigungszeit steigt. Eine wesentliche Erkenntnis dessen ist also, dass sich **der Aufwand einer reduzierten Bodenabfertigungszeit nur bei Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen lohnt**. Bei kürzeren Bodenabfertigungszeiten ist die absolute Erhöhung in der Auslastung etwas geringer als bei längeren. Allerdings wird die erhöhte Auslastung bei einer geringeren Einsparung an Bodenabfertigungszeit erreicht. Klar zu erkennen ist auch, dass **eine Reduzierung in der Bodenabfertigungszeit signifikante Auswirkungen haben kann**, wenn diese entsprechend ausfällt. Bei einer täglichen Verfügbarkeit von $A_d = 18$ h, Flugzeiten von $t_f = 1$ h, Bodenabfertigungszeiten von $t_a = 30$ min und Rollzeiten von $t_r = 10$ min, wäre eine Reduzierung von 1,8 min in der Bodenabfertigungszeit notwendig um die Auslastung zu erhöhen. Dieser Wert erhöht sich auf 5,7 min bei Flügen mit einer Flugzeit von zwei Stunden. Daraus lässt sich schließen, dass es **bereits bei einer geringen Reduzierung in der Bodenabfertigungszeit zu einer erhöhten Auslastung des Flugzeuges kommen kann**.

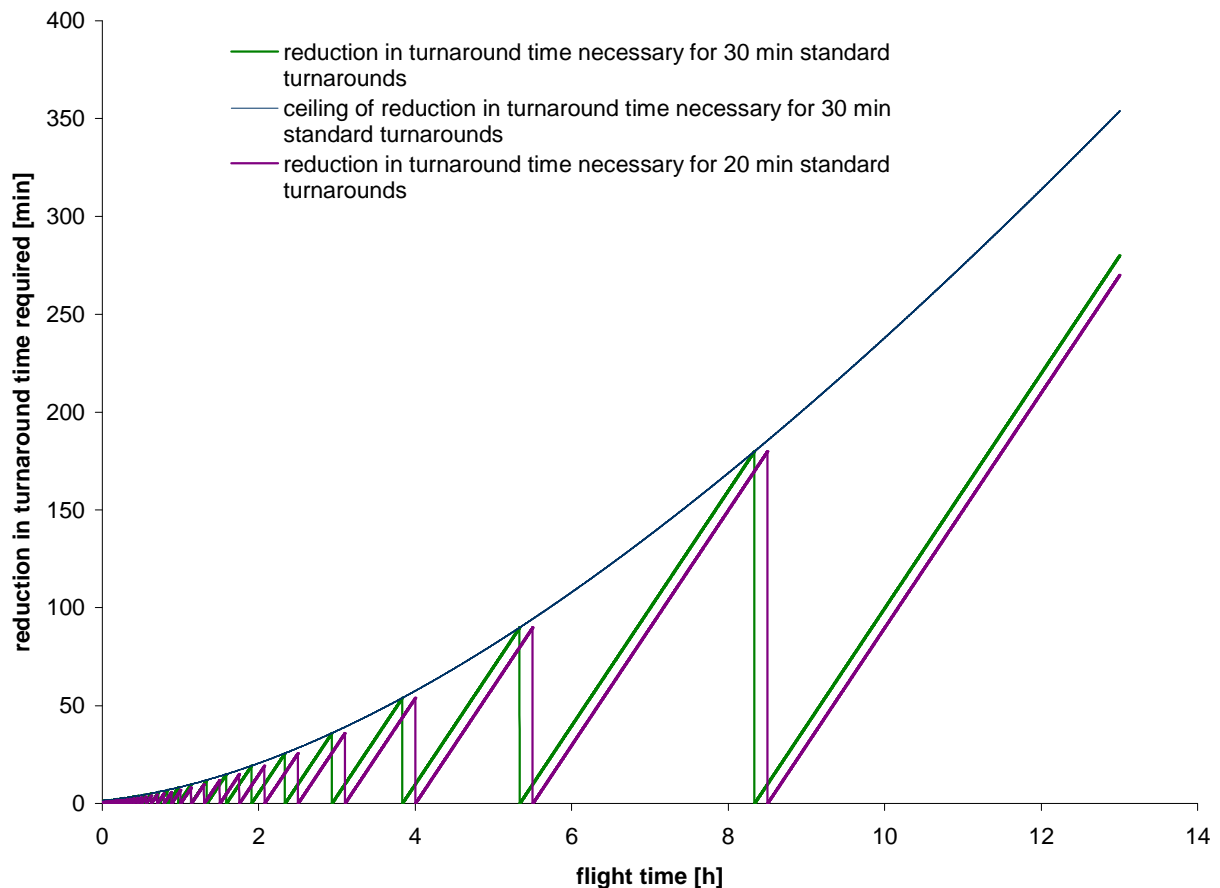


Bild 2.2 Notwendige Reduzierung der Bodenabfertigungszeit um die rel. tägliche Auslastung zu erhöhen für unterschiedliche Bodenabfertigungs- und Flugzeiten. Gewählte Parameter: $A_d = 18$ h; $t_t = 10$ min

2.2 Ergebnisse der Analyse von derzeitigen Turnaround-Prozessen

Um einen besseren Überblick über derzeitige Probleme und Eigenschaften von Prozessen der Bodenabfertigung zu bekommen, wurden Experteninterviews und eine umfassende Datenanalyse des Turnarounds durchgeführt.

2.2.1 Ergebnisse der Experteninterviews

Im ALOHA Meeting No 3 wurde ein Brainstorming durchgeführt und ausgewertet. Weiterhin wurden insgesamt zehn Interviews mit Experten aus den Bereichen Bodenabfertigung (GH), Fluggesellschaft (A) und Hersteller von Bodenabfertigungsgerät (GSE) durchgeführt. Dabei wurden umfangreiche Informationen gesammelt, analysiert und prozessweise zusammenge-

fasst. Es ergaben sich folgende Verbesserungsvorschläge (Abkürzungen in den Klammern verweisen auf die besagten Vorschläge aus den jeweiligen Bereichen):

- generell: bessere Türpositionierung in Hinblick auf Dimensionen und Abmessungen von Bodenabfertigungsgerät (GH, A, GSE)
- geringere Ladekantehöhe (GH, A, GSE)
- zusätzliche Türen z.B. Frachtraumtür auf der linken Seite des Flugzeuges (A, GSE)
- mehr Freiraum unter den Tragflächen z.B. durch höher angebrachte Tragflügel (GH, GSE)
- weniger blockierende Ruder und Klappen der Hochauftriebssysteme durch Enteisungsflüssigkeit (GSE)
- Frachträume mit einer geringeren Ladekante aber höheren Raumhöhe um das Arbeiten im Frachtraum zu erleichtern (derzeit gebücktes arbeiten notwendig) (GH, GSE)
- verstärkte Frachtladekannten da es bei einer Beschädigung sehr schnell zu Undichtheiten des Druckumpfes kommt und das Flugzeug deshalb nicht mehr lufttchtig ist (A, GSE)
- bessere Stoßdämpfer am Fahrwerk da diese während der Be- und Entladung eines Flugzeuges ruckartig nachgeben und es somit zu Beschädigungen kommt (A, GSE)
- größere Flexibilität des Schwerpunktsbereiches und damit einfachere Beladung (A, GH)
- bessere Einteilung des Frachtraumes in Frachtabteilungen durch Frachtnetze (A, GH)
- Leitelemente am Flugzeug (Stangen, Sensoren, etc.) die das sichere Andocken von Bodenabfertigungsgerät erleichtern (GSE, GH)
- rutschfeste Materialien des Frachtraumbodens da es bei Nässe des Öfteren zu Unfällen kommt (A)
- Berücksichtigung von innovativem Bodenabfertigungsgerät im Flugzeug bereits während des Entwurfs und Konstruktion des Flugzeuges so, dass Volumenverlust und Gewichtszuwachs so gering wie möglich gehalten werden (A, GSE)
- erhöhte Gangbreite in der Passagierkabine durch z.B. „faltbare Passagiersitze“ (A, GH, GSE)
- größere Gepäckablagen über und unter den Sitzen in der Kabine (A, GH)
- robuster Entwurf aller Schnittstellen zwischen Bodenabfertigungsgerät und Flugzeug (A, GSE, GH)
- automatisiertes Zurückschieben (autonomous push-back) (A, GH)
- optimale Positionierung des Betankungsstutzens am Flügel um unnötiges Rangieren des Betankungsfahrzeuges zu vermeiden (GH, GSE)
- verringerte Anfälligkeit der Technik (A, GH, GSE)
- standardisierte Anfluggeschwindigkeit z.B. durch kontinuierlich variierende Klappenstellungen (A)
- bessere Zugänglichkeit von z.B. Servicepanelen, Steckverbindungen, Kontrollpunkten (GH, GSE)
- Sitzgurte mit Einrollmechanismus (GH)

- Sensoren die eine klares Signal zum Öffnen der Tür geben (GSE)
- farbige Bereiche in der Kabine um schneller den Sitzplatz zu finden und die Ein- und Aussteigedauer der Passagiere zu verkürzen (GH)

Flugzeughersteller könnten zusätzlich folgendes verbessern:

- eine höhere Standardisierung von Containern (GH, GSE)
- eine höhere Standardisierung von Schleppstangen die auch zu weniger Verletzungen führen im Betrieb (A, GSE)

2.2.2 Ergebnisse der Turnaroundanalysen

Es wurden insgesamt 168 Turnarounds typischer Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge (single-aisle) an vier unterschiedlichen, deutschen Flughäfen auf Videoband aufgenommen und in späterer Folge analysiert. Die Koordination mit den Flughäfen, die Aufnahme auf Videoband sowie eine erste umfassende Datenanalyse wurde vom Airport Research Center in Aachen durchgeführt. An den Flughäfen wurden an einem Tag mehrere Positionen gleichzeitig gefilmt (siehe z.B. Bild 2.3). Die Videoanalyse ermöglichte eine sehr genaue und weitreichende Prozessbeschreibung. Allerdings gestaltete sich die Auswertung als besonders zeitaufwendig. Das ARC Aachen wurde deswegen von der HAW Hamburg sowie von zahlreichen studentischen Hilfskräften unterstützt die Videodaten in brauchbare, operationelle Parameter umzuwandeln. Parallel dazu wurde auch bei Fluggesellschaften, Bodenabfertigungsgesellschaften und besagten Flughäfen versucht, weitere Daten zu den gefilmten Flügen zu bekommen. Auch dieser Prozess gestaltete sich als äußerst langwierig da auch mehrmaliges Kontaktieren der Beteiligten teilweise zu keinem Ergebnis geführt hatte. Einzig und alleine eine Fluggesellschaft sammelte Daten aus mehreren internen Quellen und stellte diese dem Projekt zur Verfügung. Der Rest der Analyse bezog sich deshalb auf die Ereignisse, die im video sichtbar sind. So wurde z. B. durch händisches stoppen der Zeit individueller Bodenabfertigungsprozesse und abzählen von Koffern während des Be- und Entladens Daten generiert. Es wurden schließlich insgesamt 96 Parameter individueller Bodenabfertigungsprozesse evaluiert und in einer Excel Tabelle zusammengefasst. Es konnte jedoch nicht jedes der Felder in dieser Tabelle gefüllt werden da einige Tätigkeiten vereinzelter Turnaroundprozesse in den Videos nicht hinreichend ersichtlich waren.

Ergebnisse der Analyse deuteten darauf hin, dass nur weniger Parameter linear korrelieren. Eine Korrelation höhere Ordnung erwies sich als nicht sinnvoll da die Daten sehr stark streuen. Grund dafür ist die Abhängigkeit vieler Parameter von solchen Parametern, die einfach nicht zur Verfügung standen (obwohl mit insgesamt 96 aufgezeichneten Parametern schon viel numerisch erfasst wurde). So ist z.B. die Zeit für das Aussteigen der Passagiere

primär nicht nur von der Anzahl der Passagiere abhängig. Diese Betrachtung bestätigte auch die Analyse des Datensatzes auf Basis des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten.

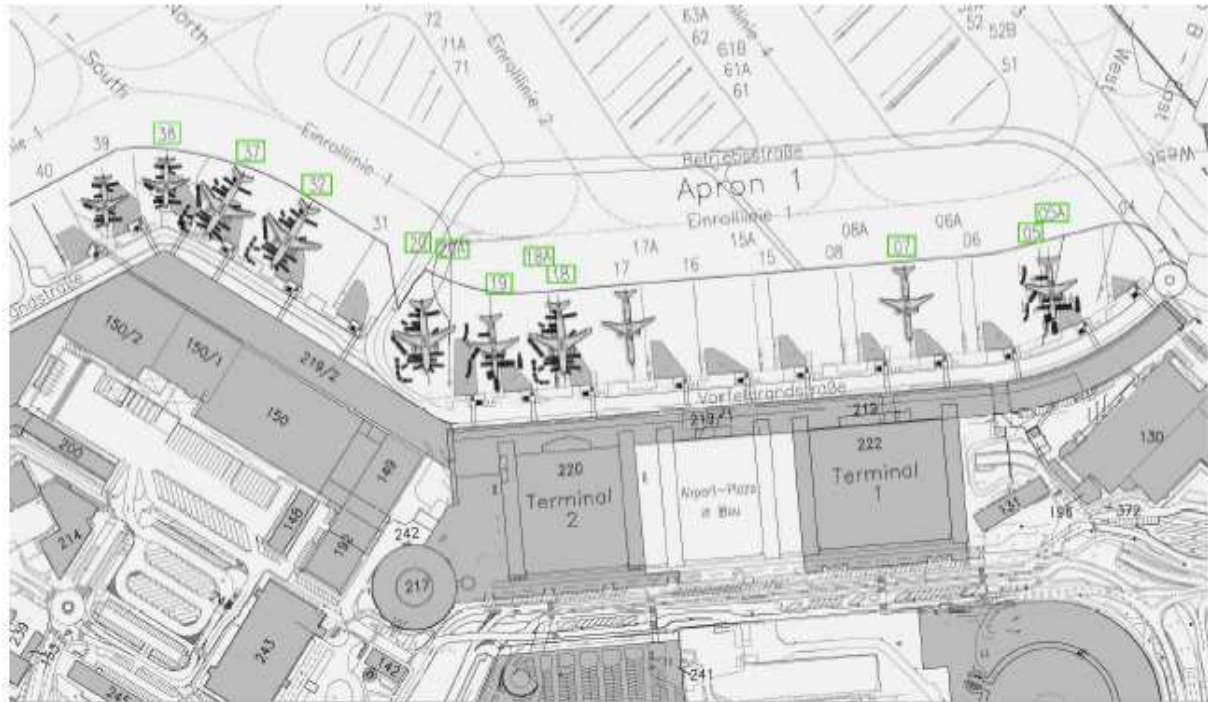


Bild 2.3 Gefilmte Position am Flughafen Hamburg (ARC 2009)

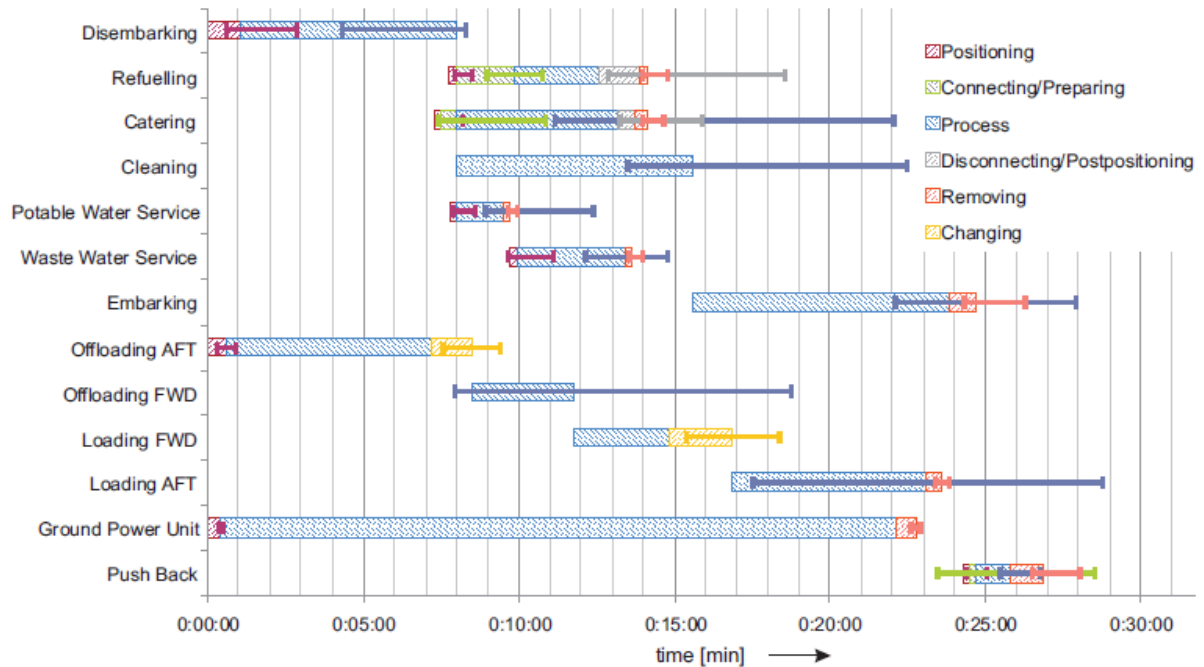


Bild 2.4 Gantt-Diagramm für den Turnaround einer traditionellen Fluggesellschaft bei einer Abfertigung am Flughafen terminal (Balken entsprechen der gemittelten Prozessdauer, Linien der Standardabweichung).

Eine weitere Analyse der Prozessdauer erfolgte mittels statistischer Grundgleichungen. Dabei stellte sich heraus, dass sich ein Großteil der Prozesse mittels einer Normalverteilung oder einer Log-Normalverteilung gut abbilden lässt.

Alle gesammelten Daten wurden in einem letzten Schritt in Gantt-Diagramme überführt. Um eine zu grobe Mittelung gesammelter Prozessdaten zu verhindern wurden vier Bodenabfertigungsszenarien erstellt. Dabei wurde jeweils zwischen Billigfluggesellschaften und traditionellen Gesellschaften (also dem Business Modell) und der Parkposition am Terminal oder am Vorfeld unterschieden, da diese die größten Änderungen in der Prozesskette darstellten (z.B. Abfertigung mittels Fluggastbrücke oder Treppen am Flugzeug). Bild 2.4 zeigt ein Beispiel des errechneten Gantt-Diagrammes für das Szenario: traditionelle Fluggesellschaft bei einer Abfertigung am Flughafenterminal.

2.3 Simulationssoftware CAST Ground Handling

Untersuchungen des Turnarounds mit einer Tabellenkalkulation oder die Darstellung als Gantt-Diagramm haben den Nachteil, dass keine Erkenntnisse aus der Interaktion der geometriebasierten Komponenten gezogen werden können. Geometriebasierte Komponenten (im Unterschied zu Punktmassen) zeigen eine Interaktion beim Andocken aneinander oder auch durch Kollision in der Bewegung. Beides kann durch CAST Ground Handling abgebildet werden, denn sowohl das Flugzeug als auch die Fahrzeuge und Geräte auf dem Vorfeld sind als vergleichsweise realistische 3D-Objekte im Programm abgelegt.

Die umfangreiche Software CAST (Comprehensive Airport Simulation Tool), programmiert von ARC Aachen, wurde aufbauend auf den Erfahrungen und den Ergebnissen mit dem ARC-Tool SIMBA (Simulation Tool for Aircraft Servicing) erstellt. Im Rahmen von ALOHA wurde CAST um das Modul „Ground Handling“ (GH) für die Bodenabfertigung erweitert. CAST Ground Handling bietet folgende Möglichkeiten:

- Animation der Vorfeldbewegungen
- Kompatibilitätsanalysen von Bodenabfertigungsgeräten mit dem Flugzeug
- Analyse von Bodenabfertigungsprozessen und Bestimmung des kritischen Pfades
- Erweiterbare Datenbasis für Flugzeuge und Bodenabfertigungsgerät

CAST basiert auf einem objektorientierten Simulationskern mit verschiedenen Softwareklassen. Der objektorientierte Ansatz erlaubt eine gekapselte effiziente Weiterentwicklung. CAST bietet eine photorealistische 3D Visualisierung der Objekte. Fahrzeuge auf dem Vorfeld bewegen sich autonom als Agenten. Dadurch werden Kollisionen bereits im Ansatz

vermieden. Kollisionen werden durch die Abarbeitung von Warteschlangen ersetzt. Die Abarbeitung von Warteschlangen in der Simulation führt zu einer Verlängerung der Prozesszeiten des Turnaround – genauso, wie es sich in der Praxis gegenüber einfachen theoretischen Ansätzen ergeben würde.

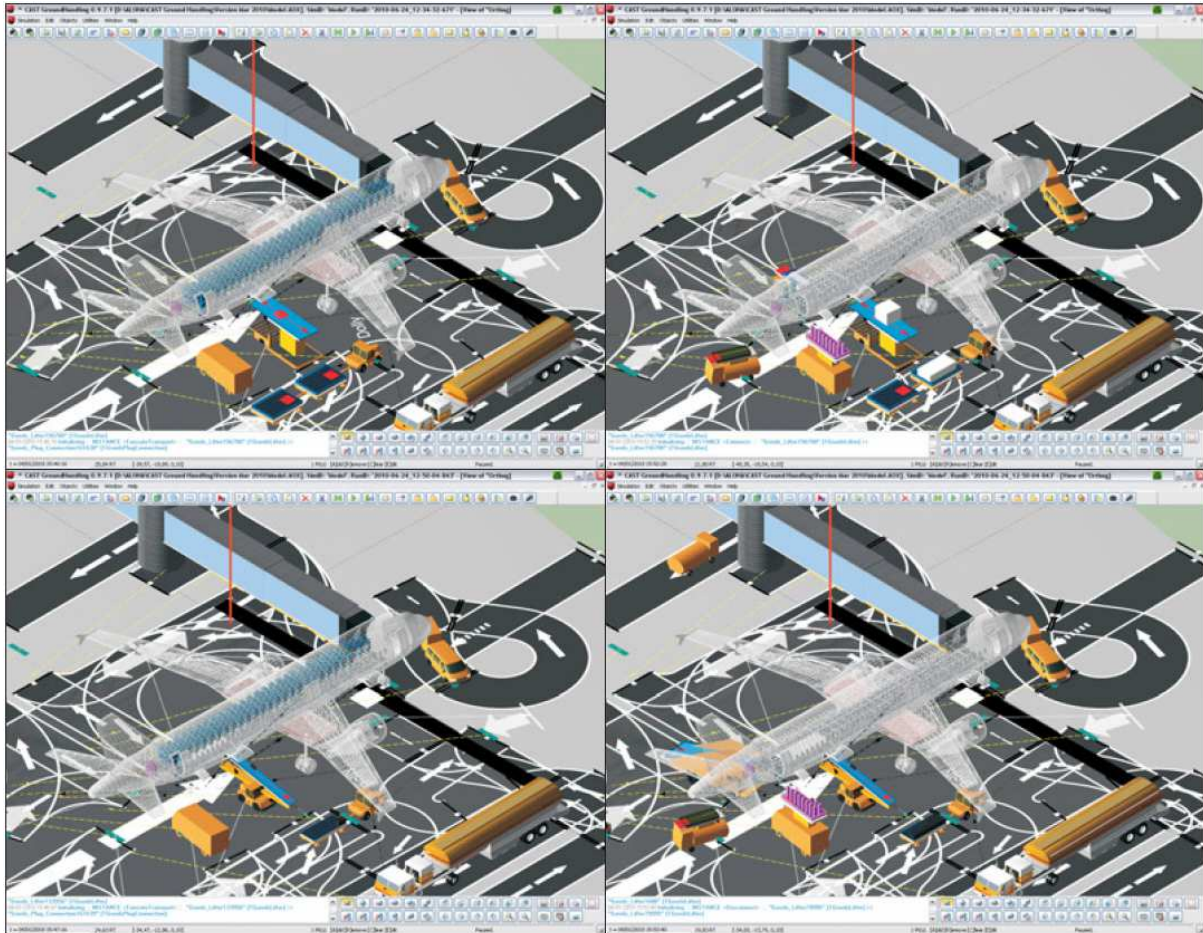


Bild 2.5 Turnaround Simulation mit CAST Ground Handling

Zusammen mit der HAW Hamburg wurde eine Verknüpfung der Programme PrADO (Preliminary Aircraft Design and Optimisation program) und CAST Ground Handling geschaffen. Ergebnisse einer Flugzeugentwurfsanalyse in PrADO sind Flugleistungsparameter sowie eine dreidimensionale Geometriebeschreibung des Flugzeugs, die PrADO zunächst mit Tecplot darstellt. Basierend auf einer gemein erarbeiteten Definition der Schnittstelle erweiterte ARC sein Tool CAST Ground Handling so, dass die Flugzeuggeometrie des in PrADO neu entworfenen Flugzeugs eingelesen werden kann. Die Eigenschaften, die das neue Flugzeug beim Turnaround zeigt können jetzt mit CAST Ground Handling analysiert werden. Dies zeigt Bild 2.5 am Beispiel des Airbus A320 (dies ist die ALOHA-Basiskonfiguration) zu unterschiedlichen Zeiten des Turnarounds. Die 3D Geometrie der A320 wurde hierbei von PrADO übergeben und in CAST Ground Handling eingelesen. Die obere Bildsequenz aus Bild 2.5 zeigt das Szenario einer konventionellen Fluggesellschaft (Container und Container Lader), die untere Bildsequenz zeigt eine Billigfluggesellschaft (lose Gepäckstücke und

Förderbandlader, englisch: belt loader) wobei das Flugzeug in beiden Fällen am Flughafen-terminal abgefertigt wird. In den linken Bildern sind Passagiere in der Kabine zu sehen – der Aussteigevorgang dauert noch an. In den rechten Bildern ist die Kabine leer – der Vorgang ist jetzt bereits abgeschlossen.

2.4 Flugzeugentwurf

Es wurden zwei voneinander unabhängige Studien durchgeführt. In einer ersten Analyse wurden Möglichkeiten untersucht das bestehende Flugzeug mit innovativem Bodenabfertigungsgerät auszustatten um Zeit und Kosten während des Turnarounds am Flughafen einzusparen. Die zweite Studie umfasste eine komplette Neuauslegung des Flugzeuges auf Basis einer zuvor durchgeführten umfassenden Analyse verschiedener Entwurfskonzepte.

2.4.1 Evaluierung von Adaptionmöglichkeiten am bestehenden Flugzeug

Eine Vereinfachung der Bodenabfertigungsprozesskette kann durch Automatisierung erreicht werden. Die Möglichkeiten dessen konzentrieren sich dabei auf drei wesentliche Bereiche: Bodenabfertigungspersonal, Bodenabfertigungsgerät und Bodenabfertigungszeit. Alle drei Bereiche sind voneinander abhängig hinsichtlich Kosten, Zeit und Verspätungen und führen bei einer entsprechenden optimalen Ausnutzung zur höchstmöglichen Effizienz (Bild 2.6). Nicht immer führt eine Reduzierung von Gerät, Personal oder Zeit zu einer Kostenreduzierung des Gesamtsystems (siehe Abschnitt 2.1).

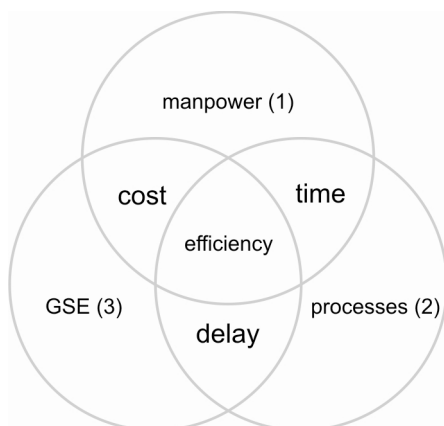


Bild 2.6 Darstellung der drei wesentlichen Bereiche der Bodenabfertigung und deren Abhängigkeiten

Eine Reduzierung von Bodenabfertigungsgerät kann erreicht werden, in dem die Schnittstellen zwischen Flugzeug und dem Flughafen (Terminal oder Vorfeldposition) reduziert werden.

Dies wiederum führt zu einem Flugzeug welches unabhängiger von externen Bodenabfertigungsgeräten ist. Das Flugzeug muss also autonomer werden. Bild 2.7 zeigt am Beispiel der vier wesentlichsten Bodenabfertigungsprozesse die Schnittstellen zwischen der Luft- und der Landseite. Eine Bordtreppe (Englisch: air stair) reduziert somit die Notwendigkeit einer Fluggasttreppe oder einer Fluggastbrücke. Entsprechend ersetzt ein „autonomous push-back“ System den Schleppwagen (push-back truck).

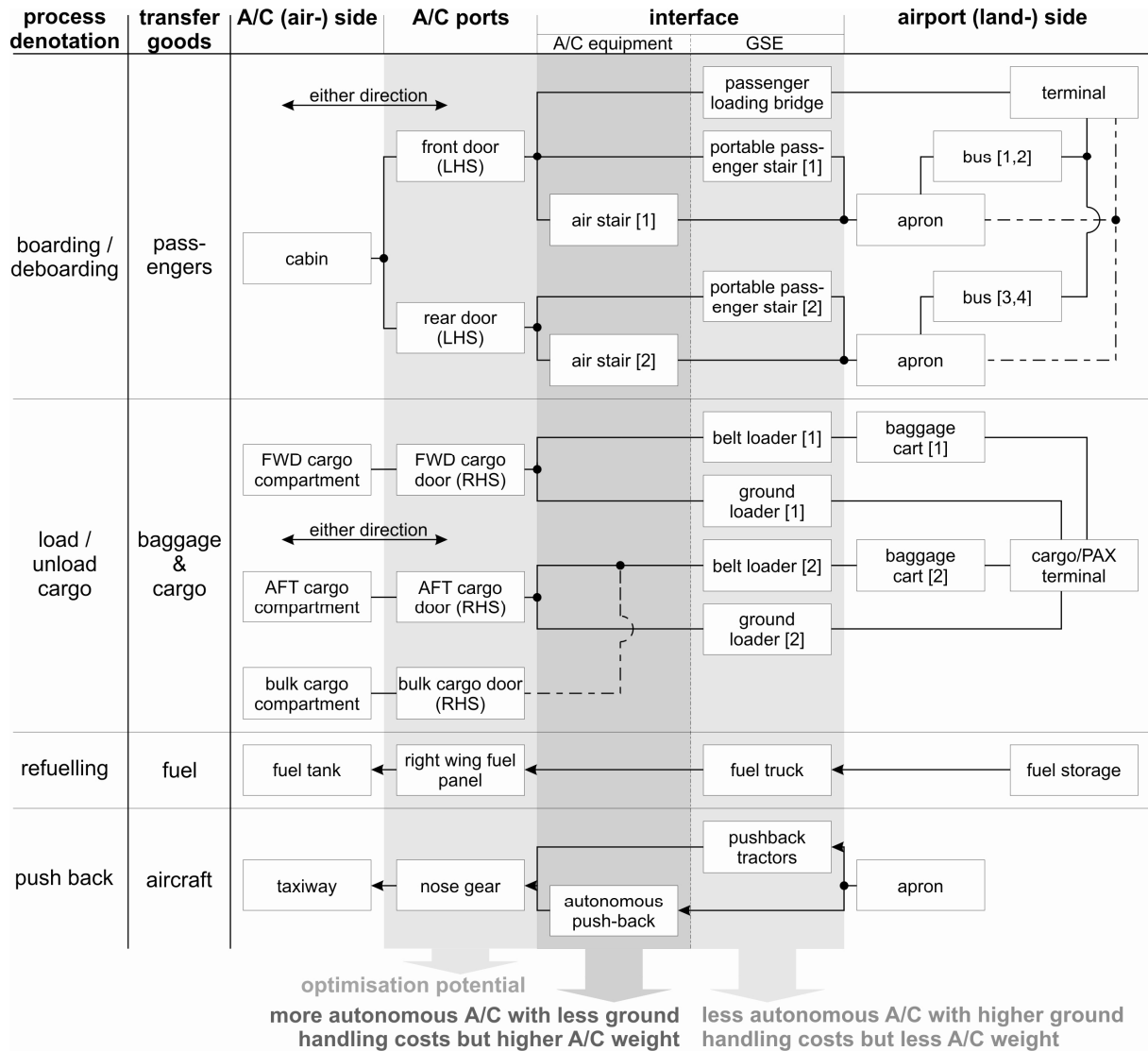


Bild 2.7 Schnittstellen der Luft- und Landseite am Beispiel der vier wesentlichsten Bodenabfertigungsprozesse

In dieser Studie wurden alle derzeit vorhandenen Zusatzausrüstungen in Hinblick auf Ihre Kostenreduzierung im Gesamtsystem untersucht. Es handelt sich dabei also im Wesentlichen um Verbesserungsmöglichkeiten am vorhandenen Flugzeug. Einige dieser Adaptionen konnten im Hinblick auf ihre finanziellen Auswirkungen (gemessen in US\$) bewertet werden. Andere hingegen konnten in diesem Zusammenhang nur qualitativ beurteilt werden.

Tabelle 2.1 fasst die Ergebnisse jener Möglichkeiten zusammen, die mithilfe der **Methodik** der direkten Betriebskosten (Direct Operating Costs, DOC) berechnet werden können. Die inkrementellen Veränderungen von Leergewicht (operating empty weight) Δm_{OEW} und Auslieferungspreis (delivery price) ΔP_{del} , sind in den ersten beiden Spalten enthalten. Die Verringerung in der Bodenabfertigungszeit (turnaround time) Δt_a konnte nur grob abgeschätzt werden. Alle drei Parameter führen zu einer Veränderung in den Bodenabfertigungskosten (ground handling fees) $\Delta C_{FEE,GND}$ und der Flugzeugnutzung (utilization per annum of the aircraft with respect to flight time) $\Delta U_{a,f}$. Des Weiteren wurden die Kosten pro Sitzkilometer (seat mile costs) $\Delta C_{s,m}$ berechnet.

Tabelle 2.1 Inkrementelle Veränderungen von Gewicht, Bodenabfertigungszeit, Kosten und Auslastung unter Berücksichtigung von unterschiedlichem Bodenabfertigungsgerät

Parameter	Δm_{OEW}	ΔP_{del}	Δt_a	$\Delta C_{FEE,GND}$	$\Delta C_{s,m}$	ΔU_a
Bodenabfertigungsgerät	[kg]	[US \$]	[min]	[US \$]	[%]	[%]
Autonomes Pushback System	200	100.000	x	-190	-0.96	x
Bordtreppe plus mobile Treppe	177	120.000	-7	x	-0.75	5.67
2 Bordtreppen	350	240.000	-7	-61.8	-1.12	5.67
Dritte Passagiertür	x	x	-12	x	-1.29	10.1
Sliding Carpet	x	x	-10.5*	-48	-1.37	8.7
Power Stow / Ramp Snake	x	x	-10.5*	x	-1.13	8.7
Gleichzeitiges Be- und Entladen von Containern	x	x	-21*	+279	-0.51	19

* Unter der Annahme, dass Be- und Entladungsprozesse Teil des kritischen Pfades sind
x keine Daten vorhanden

Im **Ergebnis** ist deutlich zu erkennen, dass die Aufnahme von zusätzlichen Bodenabfertigungsgerät das Flugzeuggewicht erhöht und somit auch den Treibstoffverbrauch während des Fluges. Das Gerät muss auch angeschafft werden und erhöht somit den Auslieferungspreis des Flugzeuges welches wiederum eine höhere Abschreibung bedeutet. Oftmals waren Angaben zu diesen Werten in der Literatur und auf Herstellerwebseiten nicht zu finden. Dies erschwerte die Betrachtung auf Gesamtsystemebene. Auch die Reduzierung in der Bodenabfertigungszeit musste manchmal, aufgrund fehlender Angaben oder Simulationsmöglichkeiten, geschätzt werden. Erkennbar ist jedoch, dass im Falle der Aufnahme von innovativem Bodenabfertigungsgerät ein erhöhter Automatisierungsgrad erreicht werden kann, welches sich in den Kosten und in der Auslastung widerspiegelt. Hervorzuheben ist dabei das autonome „pushback“ System, Bordtreppen und der „Sliding Carpet“, da diese das größte Potential in den jeweiligen Bereichen aufweisen. Deren Funktionsweise wird nun im Nachfolgenden erläutert.

Bild 2.8 zeigt **das autonome „push-back“ System**. Hierbei wird ein Elektromotor direkt am Bugfahrwerk des Flugzeuges installiert. Das angetriebene Fahrwerk kann somit das Flugzeug nach hinten bewegen, was zu einer Einsparung von Bodenabfertigungsgerät – in diesem Falle dem Schleppwagen (push back truck) und zu einer Verringerung von Verspätungen führt. Verspätungen sind laut den Ergebnissen der Experteninterviews ein wesentliches Problem, da oftmals wenig Schleppwagen am Flughafen zur Verfügung stehen (auch der Flughafen versucht die Kosten von Geräten so gering wie möglich zu halten). Gerade zu Stoßzeiten kommt es also des Öfteren vor, dass der Schleppwagen nicht zur Verfügung steht.

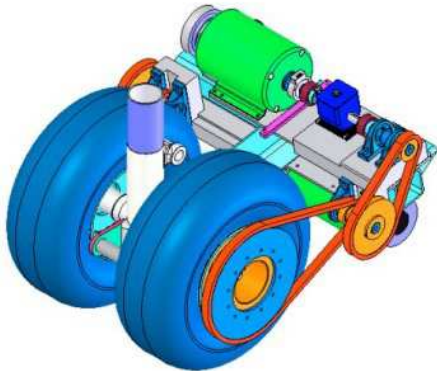


Bild 2.8: Autonomes „push-back“ System von Wheel Tug Plc. (**Wheeltug 2008**)

Weitere Hinweise zum Thema:

- a) Flugzeuge, die mit Verstellpropellern angetrieben werden, besitzen die Fähigkeit zu einem autonomen push-back (z. B. Transall C-160). Hier wäre die Aufnahme eines autonomen push-back Systems nicht erforderlich.
- b) Es gibt Parkpositionen auf dem Vorfeld, die sogenanntes „taxi-in – taxi-out“ ermöglichen. Es wird vorwärts in diese Parkpositionen hinein gerollt und ebenfalls vorwärts wieder heraus. Für diese Positionen ist kein push-back erforderlich. Auch hier könnte auf das zusätzliche Systems verzichtet werden, wenn derartige Parkpositionen verstärkt von den Flughäfen angeboten würden.

Bild 2.9 zeigt eine **flugzeugeigene (autonome) Bordtreppe** ausgefahren am Flugzeug. Der Vorteil gegenüber beweglichen Lufttreppen des Flughafens ist, dass die flugzeugeigenen Treppen kein zusätzliches qualifiziertes Fachpersonal für das Aufstellen und Befestigen verlangen. Die Kabinenbesatzung kann sich um das Ausfahren der Bordtreppe kümmern. Auch muss die Bordtreppe nicht zum Flugzeug bewegt werden. Dadurch können Schäden am Flugzeug (wie sie des Öfteren beim Rangieren entstehen) ausgeschlossen werden. Autonome Bordtreppen können zusammengeklappt unter dem Kabinenboden verstaut werden. Ein Passagierflugzeug, ausgestattet mit einer autonomen Bordtreppe kann demzufolge auch mit einer beweglichen Lufttreppe oder mit einer Fluggastbrücke (auch Finger genannt) abgefertigt werden.



Bild 2.9: Beispiel einer autonomen Bordtreppe vorn am Flugzeug (Monogram 2009).

Bild 2.10 zeigt den „**Sliding Carpet**“ welcher die Wege des Bodenpersonals im Gepäckraum verkürzt. Das System wird auf Wunsch des Kunden in den Frachtraum integriert. Loses Gepäck wird so händisch auf das Förderband des “Sliding Carpets“ geladen. Das geladene Gepäck kann so weiter nach hinten in den Frachtraum transportiert werden indem der Schlitten des „Sliding Carpets“ aktiviert wird und nach hinten fährt. Das gleiche Prinzip wird natürlich auch beim Ausladen angewandt, wobei die losen Gepäckstücke wieder nach vorne zur Ladeluke hin verschoben werden.

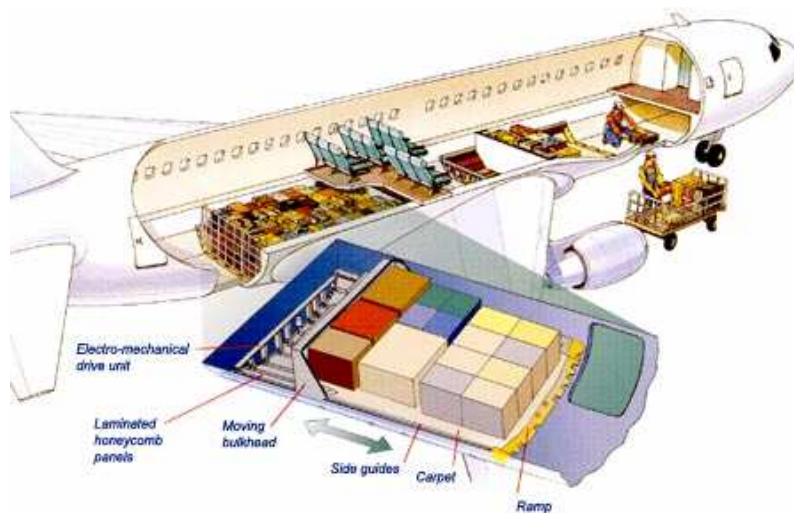


Bild 2.10: Prinzipsskizze des Sliding Carpets (Telair 2009)

Im nachfolgenden Kapitel wird auf **faltbare Passagiersitze** (foldable seats) (Bild 2.11) verwiesen. Zum Zwecke der besseren Übersicht sollen diese bereits hier erläutert werden. Durch diese Sitzbank entsteht ein zusätzliches Platzangebot in der Kabine während des Ein- bzw. Aussteigens der Passagiere da die Sitzfläche des Gangsitzes automatisch hochklappt. Dieser Platz wird als „Zeitpuffer“ genutzt. Hat der Passagier seine Sitzreihe gefunden, kann

dieser auf diesem Platz verweilen um Handgepäck oder ähnliches zu verstauen, ohne dabei den Passagierfluss im Gang zu behindern.



Bild 2.11: Beispiel eines zusammenklappbaren Flugzeugsitzes von AIDA Development GmbH (AIDA 2009)

2.4.2 Neuentwurf eines Flugzeugs

Da sich der Aufwand einer reduzierten Bodenabfertigungszeit nur bei Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen lohnt wurde für den Neuentwurf des Flugzeuges ein Airbus A320 als Referenzkonfiguration für das Projekt ALOHA gewählt. Aus den Experteninterviews ergaben sich bereits interessante Erkenntnisse wie man ein Flugzeug entsprechend adaptieren könnte. Um jedoch eine **systematische Herangehensweise** (Bild 2.12) gewährleisten zu können wurden alle Möglichkeiten quantitativ analysiert. Viele dieser Möglichkeiten beinhalteten jedoch eine wesentliche Erhöhung des Strukturgewichtes und somit des Flugzeuggesamtgewichtes. Aufgrund dessen wurden diese Möglichkeiten nicht weiter analysiert. Als bestmögliche Variante erschien die **Hochdeckerkonfiguration** (Bild 2.13).

Auch wenn der Platz unter dem Flügel von Fahrzeugen und Abfertigungsgerät (ground support equipment, GSE) nicht genutzt werden soll, so ergibt sich für die Aktivitäten des Turnaround durch die Hochdeckerkonfiguration doch **mehr Platz um das Flugzeug** herum.

Bei der Hochdeckerkonfiguration muss besonders auf die **Fahrwerksintegration** geachtet werden. Bei einer Hochdeckerkonfiguration muss das Fahrwerk am Rumpf angebracht werden. Eine mögliche Alternative besteht nur bei der Integration in der Triebwerksverkleidung von Turboproptriebwerken. Bei ALOHA soll aber genau wie beim Referenzflugzeug A320 ein Strahltriebwerk zum Einsatz kommen. Die Fahrwerkslänge für eine Unterbringung am Flugzeugrumpf muss so gering wie möglich gehalten werden. Grund dafür ist der Widerstand der erforderlichen aerodynamischen Verkleidung (belly fairing) für das Fahrwerk,

da das Fahrwerk in keinem Fall zur Gänze im Flugzeugrumpf verstaut werden kann. Weiterhin ist ein langes Fahrwerk schwerer als ein kurzes Fahrwerk. Zu kurze Fahrwerksbeine reduzieren normalerweise den Heckfreiwinkel des Flugzeuges, welcher für das Rotieren während des Starts und für das Abfangen während der Landung eine wesentliche Rolle spielt.

Eine Entwurfsvariante, die trotzdem mit kurzen Fahrwerksbeinen auskommen kann, ist eine **Flugzeugkonfiguration mit Triebwerken am Heck**. Dadurch wird der Gesamtschwerpunkt des Flugzeuges nach hinten verschoben. Somit kann auch das Fahrwerk weiter hinten angebracht werden wodurch sich bei gleicher Fahrwerkslänge ein größerer Heckfreiwinkel ergibt. Für eine ausreichende Stabilität des Flugzeuges während des Rollens am Boden ist ein Mindestabstand der Hauptfahrwerke (Spurweite; engl. wheel track) erforderlich. Diese Forderung führt auf eine zu beachtende Mindestlänge von Fahrwerksbeinen, die am Rumpf angebracht sind.

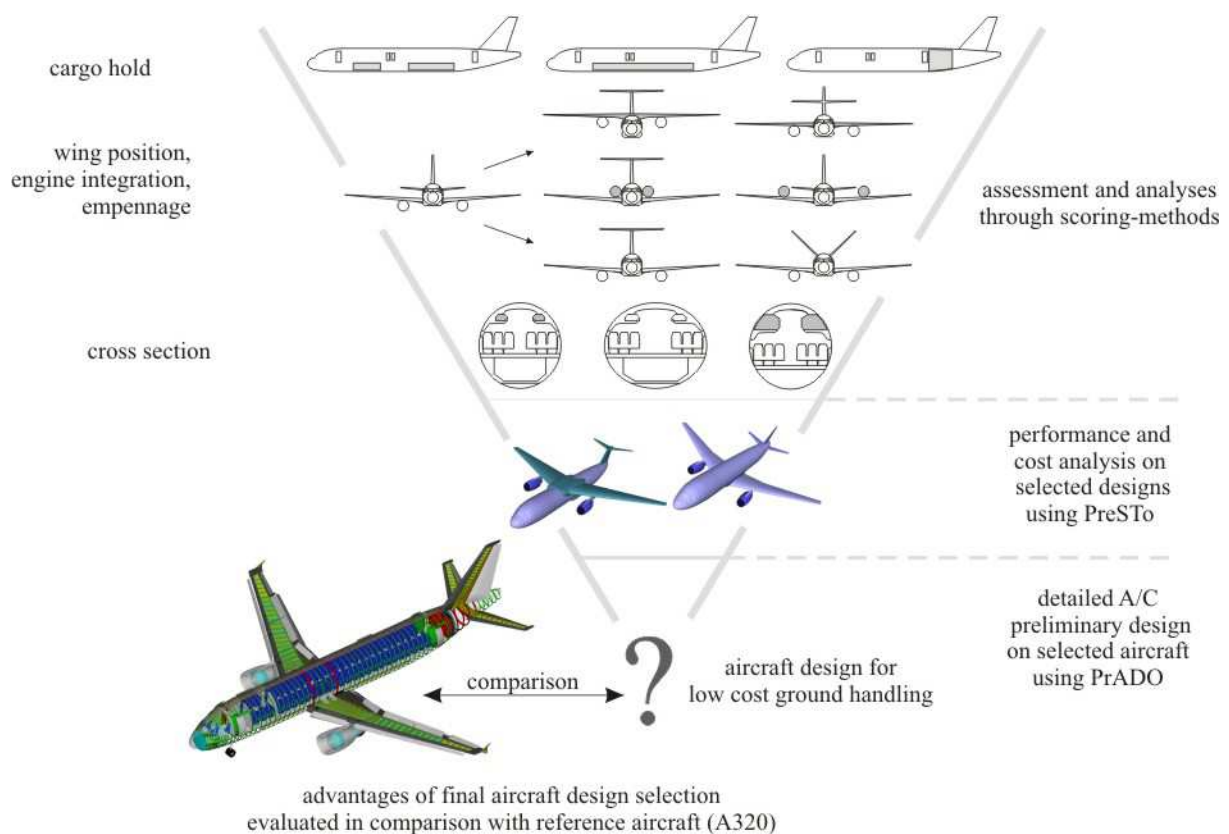


Bild 2.12 Systematische Annäherung an eine mögliche, optimierte Konfiguration und Untersuchung der Konfiguration auf verschiedenen Detailebenen mittels unterschiedlicher Computerprogramme

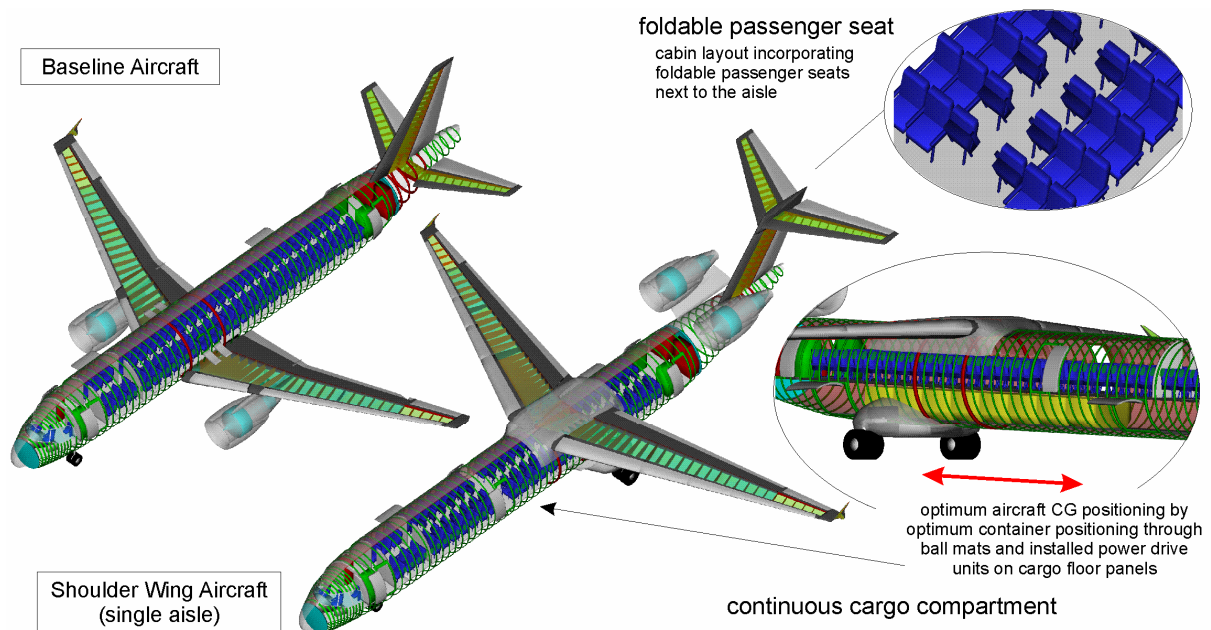


Bild 2.13 Flugzeugentwurf für kostenreduzierte Bodenabfertigung

Während des Ent- und Beladevorgangs muss sichergestellt werden, dass das Flugzeug nie eine **Schwerpunktlage** annimmt, durch die das Flugzeug auf das Heck fallen könnte. Wenn das Bodenabfertigungsgerät für das Entladen erst hinten und dann vorne am Flugzeug in Position gebracht wird und für das Beladen erst vorn und dann hinten, dann wird eine Hecklastigkeit sicher vermieden. Details zu Schwerpunktlagen ergeben sich aus dem Beladediagramm des jeweiligen Fluges. Auch während des Reisefluges führt eine ungünstige (vordere) Schwerpunktlage zu einem höherem Trimmwiderstand und somit höherem Treibstoffverbrauch. Genau dieser Aspekt kann z. B. dazu führen, dass alle Container in den hinteren Frachtraum geladen werden sollten bis auf genau einen, der aus Gründen der flugmechanischen statischen Längsstabilität (static longitudinal stability) nach vorne muss. Das Ent- und Beladen eines Flugzeugs mit zwei Frachträumen ist also aus zwei Gründen eher umständlich:

- a) Beladenhilfen müssen von einem zum anderen Frachtraum umpositioniert werden.
- b) Container müssen so positioniert werden, dass sich eine optimale Schwerpunktlage ergibt. Da Container oft auch erst in letzter Minuten zum Flugzeug kommen ist dann manchmal eine optimale Beladung nicht mehr möglich.

Ein **durchgängiger Frachtraum** löst all diese Probleme und hat weitere Vorteile:

- a) Der *Entladevorgang und der Beladevorgang können gleichzeitig stattfinden*. Die Container werden dabei z. B. nach vorn durchgeschoben und am vorderen Frachttor entladen, während gleichzeitig am hinteren Frachttor beladen wird. Die simultane Be- und Entladung spart Zeit beim Turnaround, wenn die Be- und Entladung auf dem kritischen Pfad liegt.

- b) Die *Container können einfach an die optimale Position in der Mitte des Frachtraumes geschoben werden* – eine bestimmte Reihenfolge der Beladung muss nicht eingehalten werden.
- c) Für lose Gepäckstücke (z. B. bei Billigfluggesellschaften) könnte man boxen-ähnliche Container im Frachtraum installieren. Wenn eine *Box von Hand am Frachtladetur mit losem Gepäck fertig beladen* wurde, schiebt man den Container-Zug entweder nach vorne oder nach hinten um einen Container weiter, um so zur nächsten leeren Box zu gelangen und um diese dann zu be- oder zu entladen. Auf diese Weise kann das Flugzeug (wie beim „sliding carpet“) immer am Frachtladetur beladen werden, ohne dass es notwendig wird die Fracht noch weiter in den hinteren Teil des Frachtraumes zu verschieben.

Voraussetzung für den durchgehenden Frachtraum ist ebenfalls das nach hinten verlegte Rumpffahrwerk. Die nach hinten verlegte Position des Fahrwerks wurde durch die Heakanordnung der Triebwerke ermöglicht. Ein Fahrwerksschacht für ein konventionelles Rumpffahrwerk würde einen für Container geeigneten durchgehenden Frachtraum unterbrechen.

Durch **Gewichtssensoren am Fahrwerk** kann überprüft werden, ob die aktuelle Position der Container die vorab berechnete optimale Lage des Schwerpunktes ergeben hat. Auf eine Berechnung der Masse und des Schwerpunktes (weight and balance) und eine Vorabberechnung der Containerpositionen könnte möglicherweise ganz verzichtet werden, wenn die Containerpositionen einfach vor Ort eingestellt würden, so wie sie sich aus der Schwerpunktanzeige basierend auf den Gewichtssensoren am Fahrwerk ergibt. Vor Anwendung dieses Verfahrens müssten aber noch Zulassungsfragen geklärt werden.

Der Neuentwurf des Flugzeuges umfasste auch die **Aufnahme faltbarer Passagiersitze** (siehe Abschnitt 2.4.1) in der Flugzeugkabine um die Ein- und Aussteigezeit der Passagiere deutlich zu verkürzen. Eine Dreier-Sitzbank dieses Sitzsystems wiegt jedoch 40 kg, also um 10 kg mehr als eine konventionelle Dreier-Sitzbank. Eine Simulation des Ein- und Aussteigens mit faltbaren Passagiersitzen in der Kabine ergab im Mittel eine um 45 % reduzierte Prozessdauer für den Aussteigevorgang und eine um 17 % reduzierte Prozessdauer für den Einsteigevorgang. Der Einsteigevorgang kann als komplexer betrachtet werden, da die Passagiere den zugewiesenen Sitzplatz finden und das Handgepäck verstauen müssen. Aufgrund dessen fällt die Zeitersparnis für den Einsteigevorgang geringer aus.

All diese Betrachtungen wurden in der **Analyse der Bodenabfertigungsprozesse** mit einbezogen. Für jedes Bodenabfertigungsszenario wurde somit die Kosten- und die Zeitersparnis errechnet (siehe Bild 2.14).

Allerdings wurde das neu entworfene **Flugzeug mit den Hecktriebwerken deutlich schwerer** als das Referenzflugzeug, da durch die Positionierung der Triebwerke am Heck sowie durch die schwereren Sitzbänke sich die Rumpfmasse um fast 30 % erhöht. Auch die Flügelmasse erhöht sich um fast 20 %, da die Triebwerke nun nicht mehr unter dem Flügel angebracht sind und somit nicht mehr dem Auftrieb in entsprechenden Lastfällen entgegenwirken können. Auch das T-Leitwerk ist schwerer als ein konventionelles Leitwerk. All dies führt zu einer deutlich höheren Gesamtmasse und somit auch höherem Treibstoffverbrauch der Konfiguration mit Hecktriebwerken.

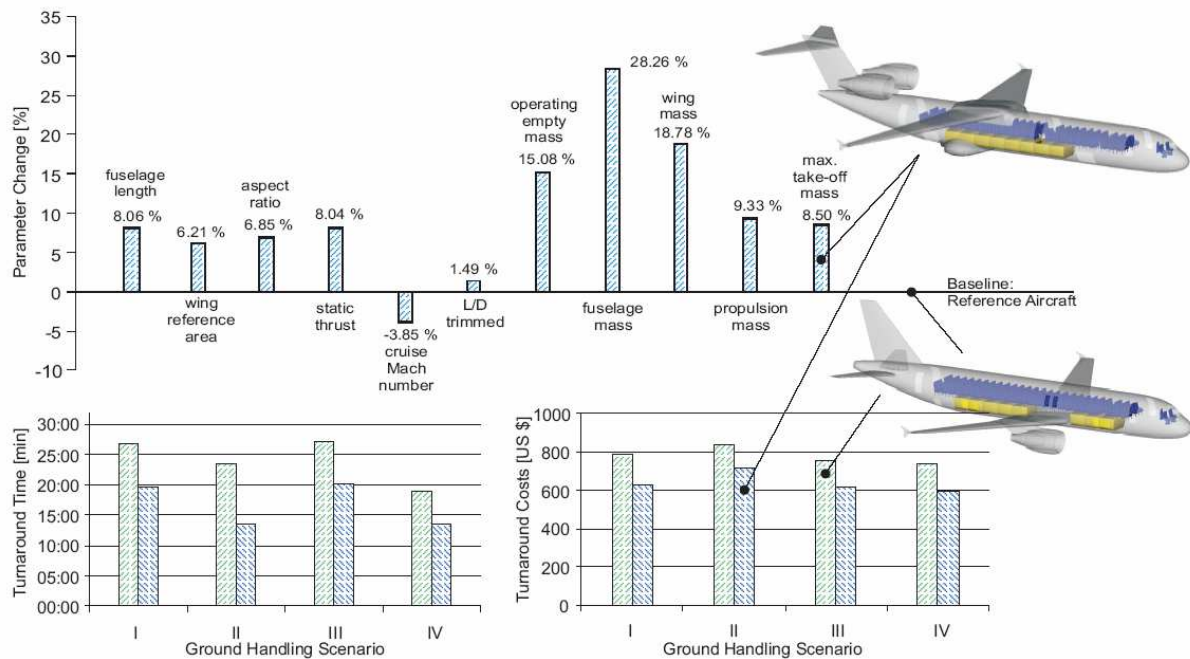


Bild 2.14 Vergleich des Neuentwurfs mit der Referenzkonfiguration

In einem letzten Schritt wurden nun **die direkten Betriebskosten (DOC)** berechnet. Dabei wurde für jedes Szenario und für jede Konfiguration eine Flugmission gerechnet. In Bild 2.15 sind die Ergebnisse der Berechnungen der Flugmission mit einer gewählten Reichweite von 500 nm dargestellt. Die zwei linken Blöcke fassen noch einmal die Ergebnisse aus Bild 2.14 zusammen. Die mittleren zwei roten Blöcke zeigen die Abweichungen der Hochdeckerkonfiguration von der Referenzkonfiguration unter der Annahme, dass die Gesamtmassen und Leistungsfähigkeit beider Konfiguration identisch sind. Dabei ist ein Vorteil der Hochdeckerkonfiguration zu erkennen. Die direkten Betriebskosten können für die Bodenabfertigungsszenarien eins und vier um fast 4 % gesenkt werden. Berücksichtigt man hingegen den Massenzuschlag der Hochdeckerkonfiguration in den Berechnungen so erhöht sich der Treibstoffverbrauch um 9 % welches den Vorteil der schnelleren und kostengünstigeren Bodenabfertigung zu Nichte macht. Es muss also hierbei mit einem Zuwachs in den Betriebskosten im Bereich von 1 % bis 4 % gerechnet werden. Es sei an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen, dass die verringerte Wahrscheinlichkeit von Verspätungen durch die Hochdeckerkonfiguration am Flughafen nicht in die Berechnungen mit aufgenommen wurde.

Es könnte sich also, trotz erhöhtem Gesamtgewicht und Treibstoffverbrauch, ein Vorteil dieser Konfiguration an überlasteten Flughäfen ergeben. Treibstoffverbrauch und Emissionen gewinnen aber zunehmend an Bedeutung und sollten auch entsprechend gewichtet werden.

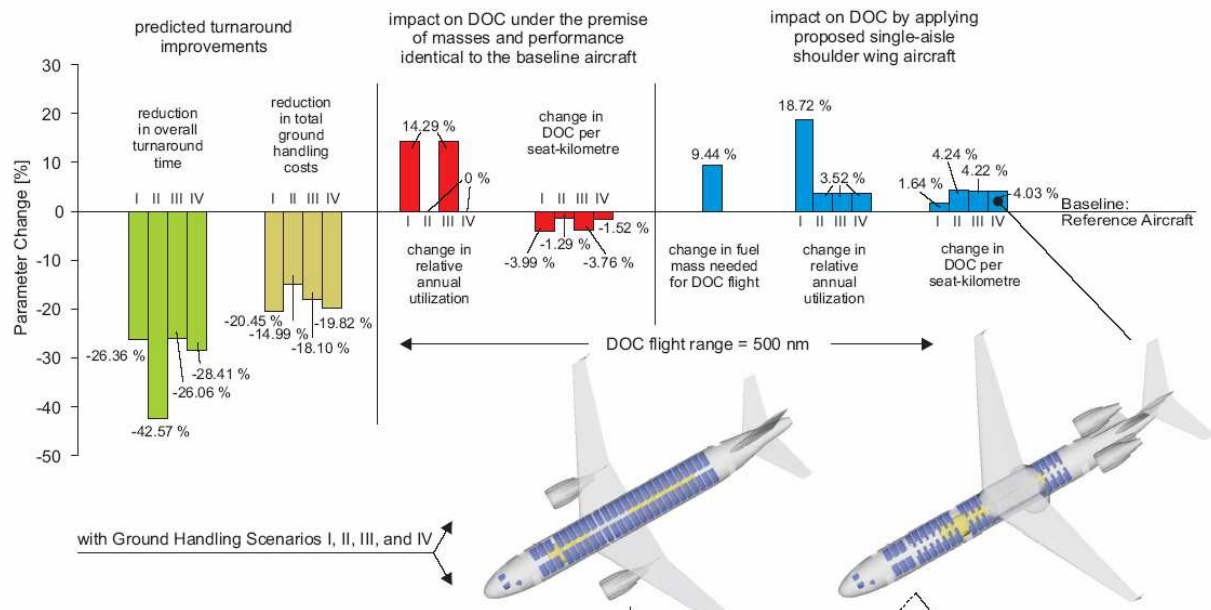


Bild 2.15 Evaluierung des Neuentwurfs

Spezielle **Erkenntnisse aus dem vorgestellten Neuentwurf** eines Flugzeugs für geringe Abfertigungskosten: Der durchgehende Frachtraum kann sich günstig auf die Abfertigungszeit auswirken, jedoch muss der durchgehende Frachtraum ohne eine Heckanordnung der Triebwerke erreicht werden. Lösungsmöglichkeiten wären dazu:

- Wahl einer ausgeglichenen Konfiguration mit Strahltriebwerken unter dem Flügel (wie z. B. bei der Avro RJ 85) zusammen mit der Anwendung eines unkonventionellen Fahrwerks an der Seite des Rumpfes wie z. B. bei der Transall C-160.
- Kombination eines Propellerantriebs unter dem Flügel mit Aufnahme des Fahrwerks in der nach hinten verlängerten Triebwerksverkleidung wie z. B. bei der Fokker 50.

2.5 Zusammenfassung

Aus allen oben genannten Ergebnissen lassen sich zusammenfassend die folgenden allgemeingültigen Schlussfolgerungen ableiten:

- Eine Reduzierung der Bodenabfertigungszeit hat einen größeren Einfluss auf das Gesamtsystem als eine Reduzierung der Bodenabfertigungskosten.

- Die Reduzierung der Bodenabfertigungszeit muss ein deutliches Maß annehmen, damit der Vorteil der theoretisch erhöhten Nutzung des Flugzeugs (Utilization U) auch so hoch ist, dass ein zusätzlicher Flug am Tag untergebracht werden kann.
- Nur die Kombination aus kürzeren Ein-/Aussteige- und Be-/Entladeprozessen führt zu einer signifikanten und ausreichenden Reduzierung der Bodenabfertigungszeit, da diese Prozesse ein Teil paralleler (kritischer?) Pfade sind.
- Eine weitere Reduzierung der Bodenabfertigungszeit (zu beachten: Szenarien 2 und 4 liefern bereits einen Turnaround unter 15 min) würde sich als nicht sinnvoll erweisen, da auch ein gewisser Zeitraum für die Vorflugkontrolle und die Vorbereitung auf den nächsten Flug benötigt wird.
- Die Auswirkungen einer verbesserten Bodenabfertigung schlagen nur dann positiv auf die Gesamtkosten durch, wenn die Flugzeuggesamtmasse und der Gesamtwiderstand des Flugzeugs unverändert bleibt oder nur moderat zunimmt.
- Ein Flugzeugentwurf in Hinblick auf eine höhere Effizienz in der Bodenabfertigung sollte keine Nachteile in der Reiseflugleistungsfähigkeit mit sich bringen.

2.6 Ausblick

Eine wesentliche Erkenntnis aus dem Projekt ist diese: Das "optimale" Flugzeug der Zukunft sollte so gestaltet werden, dass die Zeit der Bodenabfertigung nur so kurz wie unbedingt nötig ausfällt. Die eingesparte Zeit wird für langsames Fliegen und damit geringeren Kraftstoffverbrauch und geringere Umweltbelastung eingesetzt. Die Produktivität des Flugzeugs bleibt dabei auf dem Stand wie heute. Für die Passagiere wird die geringfügig längere Flugzeit durch optimale und damit schnellere Prozesse am Boden kompensiert.

Bild 2.16 zeigt einen möglichen Entwurf für langsames Fliegen bei gleichzeitiger Zeitkompensation durch optimale Bodenabfertigung. Die Hochdeckerkonfiguration wird beibehalten. Die Tragflügelkonfiguration wird entsprechend der relativ langsameren Reisefluggeschwindigkeit angepasst (reduzierter Pfeilwinkel). Durch die Verwendung von Turboproptriebwerken kann das Fahrwerk unter dem Tragflügel und in der Triebwerksverkleidung verstaut werden. Der durchgängige Frachtraum sowie die faltbaren Passagiersitze werden beibehalten. Die Reduzierung der Bodenabfertigungszeit wird als Puffer genutzt um die längere Flugzeit durch eine verringerte Reisefluggeschwindigkeit zu kompensieren. Die Nutzung (utilization) des Flugzeugs bleibt hierbei also konstant. Der Treibstoffverbrauch lässt sich aber durch den Turboproptrieb, geringere Betriebsleermasse des Flugzeugs und geringeren Widerstand durch eine geringere Reiseflugmachzahl reduzieren. Erste Berechnungsergebnisse bestätigen dies und deuten auf eine attraktive Gesamtlösung des Entwurfproblems.

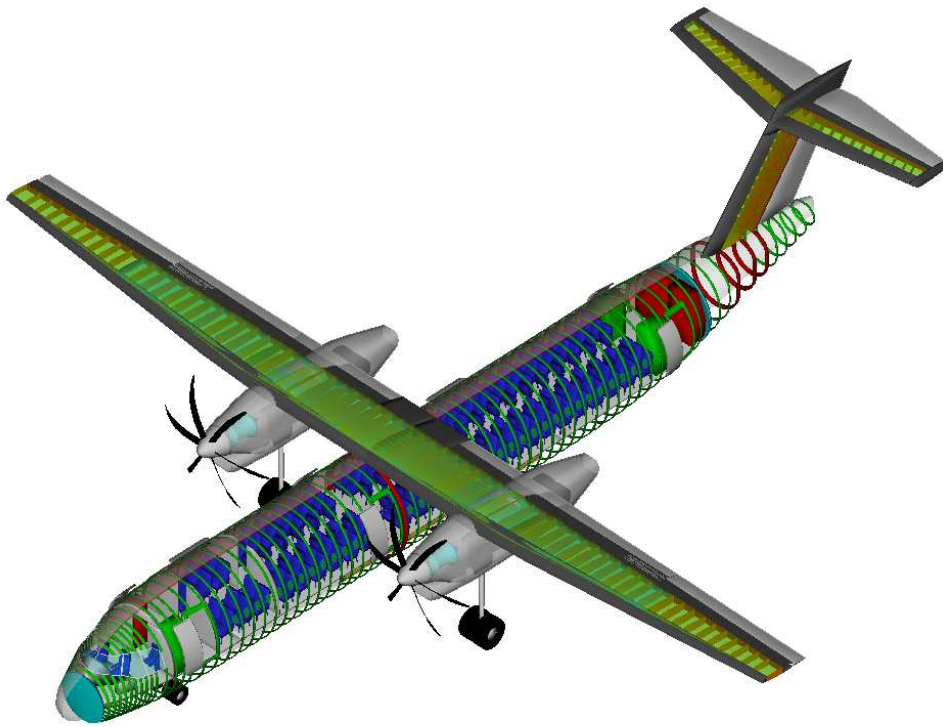


Bild 2.16 Entwurf für langsames Fliegen bei gleichzeitiger Zeitkompensation durch optimale Bodenabfertigung.

3 Verwendung der Zuwendung

Details über die Verwendung des Geldes im Projekt wurden bereits von der Administration der HAW Hamburg beim Projektträger vorgelegt.

Wie in jedem ähnlichen Projekt stellen die Personalkosten für den Wissenschaftlichen Mitarbeiter den größten Finanzposten dar. Durch den Personalwechsel im Projekt kam es teilweise zu a) einer Besetzung der Stelle mit einem Mitarbeiter mit nur 50 % der regulären Arbeitszeit, b) zur Vergabe eines Auftrages. Insgesamt wurde für Personal etwas mehr ausgegeben als geplant und für Geschäftsbedarf und Dienstreisen weniger als geplant. Die übrigen Ausgaben lagen in etwa im Plan.

Die Idee dem Projektleiter an einer Fachhochschule einen zeitlichen Freiraum zu schaffen für die Forschung durch Mittel für Lehraufträge ist eine sehr gute Idee. Die Umsetzung in der Praxis gestaltete sich aber im FH3-Projekt „Grüner Frachter“ (FKZ: 1710X06) als schwierig. Daher wurden in ALOHA erst gar keine Mittel für Lehraufträge eingeworben. Ohne die Lehrauftragsmittel war die Administration des Projektes ALOHA dann auch für den Projektleiter erheblich schonender für die Nerven (keine Anfeindungen und keine Anschuldigungen).

4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zur Durchführung des Projektes ALOHA waren die Ausgaben notwendig und angemessen. Wie bereits ausgeführt liegt der Hauptbetrag der Ausgaben in den Personalkosten. Die Notwendigkeit der Beschäftigung eines Wissenschaftlichen Mitarbeiters für ein derartiges Projekt ist unbestritten. Die Angemessenheit seiner Bezahlung ist durch Tarifverträge bis ins Einzelne geregelt und bedarf an dieser Stelle keiner weiteren Erörterung.

Inhaltlich bestand ebenfalls eine klare Notwendigkeit für das Projekt. Wir alle freuen uns über die niedrigen Flugpreise der Low Cost Airlines. Diese niedrigen Flugpreise sind aber in Gefahr, weil der Preis für Kraftstoff auch in Zukunft weiter steigen wird. Nur wenn die ökonomischen Zusammenhänge des Fliegens bei niedrigsten Kosten voll verstanden werden – bis hinunter zu den Entwurfsparametern des Flugzeugs – werden die Flugzeughersteller weiterhin Flugzeuge anbieten können, mit denen die Luftverkehrsgesellschaften Flüge zu sehr niedrigen Preisen anbieten können.

5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

HAW Hamburg

Durch das Forschungsvorhaben wurde die Kompetenz und das Know-How der Forschungsgruppe Aero – Aircraft Design and Systems Group an der HAW Hamburg wesentlich erweitert. Es konnte das Netzwerk auf nationalen und internationalen Kongressen und Workshops erweitert werden. Der Bekanntheitsgrad der HAW Hamburg und der Forschungsgruppe Aero ist dadurch gewachsen.

Durch das Projekt ALOHA wurden Kontakte und ein Netzwerk gefestigt zwischen der HAW Hamburg, Airbus und dem ARC Aachen. Diese Kontakte werden auch in der Zukunft weiter belastbar bleiben.

Es erfolgte eine Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses durch Einbindung von Studenten in Form von zu erstellenden Abschlussarbeiten und studentischen Hilfskräften. Im Forschungsprojekt wurden insgesamt sieben studentische Arbeiten angefertigt. Diese Personen tragen die gewonnenen Erkenntnisse weiter in andere Forschungseinrichtungen und in die Industrie.

Im Projekt ALOHA waren überproportional viele Personen (Studenten, Absolventen) von der Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (ETSIA) beteiligt. Dies führte auch zum Ausbau der Kontakte mit den Professoren der Universität im Fach Flugzeugentwurf und dem Besuch von bisher regelmäßig einem Studenten aus Madrid pro Jahr zur Anfertigung einer Abschlussarbeit in der Forschungsgruppe Aero.

Die Forschungsaktivitäten der Gruppe Aero einschließlich des Projektes ALOHA haben die Akkreditierung des Masters im Flugzeugbau unterstützt.

Besonders hervorzuheben ist das erfolgreich gestartet **Anschlussprojekt Airport 2030**. Das Verbundprojekt Airport 2030 (deutsch: Effizienter Flughafen 2030) ist Teil der Spitzenclusterinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und wird vom *Luftfahrtcluster Metropolregion Hamburg* getragen. Acht *Partner* arbeiten gemeinsam im Verbundprojekt. Der Leuchtturm Effizienter Flughafen 2030 hat das *Ziel* ökonomischere und ökologischere Konzepte und Lösungen für den steigenden Flugverkehr zu entwickeln. Die HAW Hamburg arbeite als Zuwendungsempfänger im *Arbeitspaket 4.1* mit zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern an effizienten Flugzeugkonfigurationen. Dabei wird nahtlos an das Projekt ALOHA angeknüpft!

Der Luftfahrtcluster Metropolregion Hamburg ist ein partnerschaftliches Netzwerk aus Luftfahrtunternehmen, Vereinen, Hochschulen und Behörden. Mit mehr als 36000 Beschäftigten gehört Hamburg zu den weltweit führenden Standorten der zivilen Luftfahrtindustrie. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat das Luftfahrtcluster im Jahr 2008 als Spitzencluster ausgezeichnet. Mit der Innovationsstrategie „Neues Fliegen“ soll die Luftfahrt zukünftig ökonomischer, ökologischer, komfortabler, zuverlässiger und flexibler werden. Dazu investiert das Luftfahrtcluster 80 Millionen EUR in Forschungsprojekte und baut dadurch seine vier Kompetenzfelder weiter aus. Diese sind: Flugzeuge und Flugzeugsysteme, Kabinen und Kabinensysteme, Aviation Services sowie Lufttransportsysteme. Innerhalb des Luftfahrt-Spitzenclusters gibt es drei Leuchtturmprojekte, von denen jeweils eines von Airbus, Lufthansa Technik und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) geführt wird. Bei dem Projekt Airport2030 handelt es sich um den vom DLR geführten Leuchtturm 3.

Beteiligte Partner am Airport 2030. Im dritten Leuchtturm-Projekt arbeiten die folgenden Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammen:

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR): Institut für Lufttransportsysteme, Institut für Flugführung, Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH); Institut für Telematik; Institut für Verkehrsplanung und Logistik
- Universität Hamburg, Institut für Technische Informatik Systeme (TIS)
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg), Aero – Aircraft Design and Systems Group
- Airbus Operations GmbH, Future Projects Office
- Flughafen Hamburg GmbH
- mb + Partner
- Siemens AG Industry Sector, Mobility Division, Infrastructure Logistics

Ziel des Airport 2030 ist es, am Beispiel des Flughafens Hamburg Prozess- und Technologieansätze aufzuzeigen, die einen messbaren Beitrag zur Qualitäts- und Gesamtleistungssteigerung sowie zur Umweltverträglichkeit des Lufttransportsystems leisten. Im Detail wurden folgende globale Ziele definiert: Reduktion von Emissionen und Lärm am Flughafen; *Reduktion der Kosten für Fluglinien* und Flughafenbetreiber; *Beschleunigung der Abläufe am Boden*; Erhöhung des Passagierkomforts am Boden; Steigerung der Passagier- und Frachtstromkapazität; *Reduktion der Ein- und Aussteige-, Be- und Entladezeiten*; Steigerung der Pünktlichkeit des Luftverkehrs. Das Forschungsfeld erfordert zwingend einen systemischen Ansatz, in dem ausgehend von gesamtsystemspezifischen Anforderungen in Einzeldisziplinen Technologien und Prozesse erforscht und entwickelt werden, die abschließend integriert in das Gesamtsystem analysiert und bewertet werden.

Das Leuchtturmprojekt Airport 2030 besteht aus insgesamt fünf Hauptarbeitspaketen. Das **Hauptarbeitspaket 4 – Flugzeugkonfigurationen für effiziente Bodenoperationen** untersucht die für die zukünftige Gestaltung von Lufttransportsystemen als entscheidend identifizierten Auslegungskriterien Ökologie, Ökonomie, Zuverlässigkeit, Komfort und Flexibilität im Hinblick auf die *Flugzeugkonfigurationen* und Flughafeninfrastruktur für die Szenarien „2015“ (Evolutionäre Konfigurationen) und „2030“ (Revolutionäre Konfigurationen). Das Hauptarbeitspaket 4 umfasst drei Arbeitspakete, die von den Partnern Airbus, HAW Hamburg, DLR und mb+Partner bearbeitet werden.

Im **Arbeitspaket 4.1 – Flugzeugkonfiguration für Szenario „2015“** für das die HAW Hamburg verantwortlich ist, wird von eher konventionellen Modifikationsmöglichkeiten der Flugzeugkonfiguration und der Flughafeninfrastruktur ausgegangen. Airbus Operations GmbH ist Partner im Arbeitspaket 4.1 und unterstützt die Erstellung eines Anforderungskataloges sowie die qualitative Bewertung von Flugzeugkonzepten. Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt ALOHA sollen verschiedene Maßnahmen hinsichtlich ihres Einflusses auf die direkten Betriebskosten und die Umweltverträglichkeit des Flugzeugs hin analysiert und die resultierenden Entwürfe optimiert werden.

Für den Entwurf neuer Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge wird unter anderem eine kostenoptimierte Abfertigung am Boden angestrebt. An der HAW Hamburg sollen dazu Flugzeugentwürfe gefunden werden die nicht nur (wie in ALOHA) eine Minimierung der Bodenkosten ermöglichen, sondern auch die geringsten Direct Operating Costs (DOC) aufweisen. Des Weiteren sollen zusätzliche Terme die DOC durch Umweltkosten (angesetzt für Lärm oder Schadstoffemissionen) ergänzen. Die so erhaltene gewichtete Zielfunktion kann dann für multidisziplinäre Entwurfsoptimierungen verwendet werden.

Derzeit werden im Airport 2030 von der HAW Hamburg zwei Flugzeugentwürfe untersucht, die einen ausgewogenen Kompromiss zwischen der Reduzierung von Bodenkosten als auch der Kosten im Reiseflug bei gleichzeitig geringer Umweltbelastung anstreben. Die zwei Flugzeugentwürfe sind der Boxwing und der „Smart Turboprop“. Weitere Hinweise und Ergebnisse zum Arbeitspaket 4.1 werden laufend im Internet veröffentlicht unter <http://Airport2030.ProfScholz.de>.

Airbus Operations GmbH

Das Projekt ALOHA war gestartet in einer Zeit als es bei Airbus darum ging, möglicherweise einen Ersatz für die A320-Familie zu entwerfen. Die grundlegenden Betrachtungen des Projektes ALOHA sollten auch für diesen Neuentwurf herangezogen werden. Nach Abschluss von ALOHA hat sich Airbus für eine Zwischenlösung entschieden: Es wird die A320 weitergebaut als A320neo mit neuen energiesparenden Triebwerken. Der Neuentwurf ist aber noch nicht vom Tisch, sondern erst einmal um Jahre aufgeschoben. Dies gibt den Hochschu-

len Zeit, um zusammen mit Airbus noch weiter und intensiver an grundlegenden Fragestellungen für ein Kurz- und Mittelstreckenpassagierflugzeug zu arbeiten – so wie dies jetzt gemeinsam im **Anschlussprojekt Airport 2030** geschieht.

Airport Research Center GmbH

Die Firma hatte in ALOHA insbesondere die Möglichkeit, das Simulationsprogramm CAST mit dem Modul „Ground Handling“ in einer Weise auszubauen, die auch andere Erweiterungen leichter möglich machen. Diese verschiedenen Erweiterungen von CAST in Breite und Tiefe haben die Möglichkeiten der Firma erhöht. Durch das Projekt ALOHA ist ARC Aachen auch eng mit sehr praxisorientierten Fragestellungen zum Flugzeugentwurf konfrontiert worden. Dieser Erfahrungsgewinn ist sicher hilfreich insbesondere für mögliche zukünftige Projekte mit Airbus.

Flughafen Hamburg GmbH

Auch der Flughafen Hamburg ist Partner am **Anschlussprojekt Airport 2030**.

6 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Ein Fortschritt auf dem Spezialgebiet des Projektes ALOHA bei anderen Stellen ist (mit Ausnahme des Airport 2030, s.o.) auch nach einer ausführlichen Recherche nicht bekannt geworden.

Literaturverzeichnis

Siehe auch Abschnitt 1.7 “Verwendete Fachliteratur”.

- AIDA 2009** AIDA DEVELOPMENT GMBH: Foldable Passenger Seat, Feasibility, Design and Mock Up. – Corporate Information, URL: http://www.aidadevelopment.de/en_html/home/index.htm (09-03-29)
- ARC 2010** AIRPORT RESEARCH CENTER: *Final Report ALOHA*, 2010-08-30
- ASSET 2010** Aeronautic Study on Seamless Transport – ASSET. URL: <http://www.asset-project.eu/doc/Flyer.pdf> (2010-09-05)
- Delft 2007** BOUCHAREB, M; GHOBAR, T; VLASTUIN, J.N; et.al: *Low Fare Airline Optimized Aircraft : The Final Report*. Delft, Technical University Delft, Faculty of Aerospace Engineering, Student Project Work, 2007
- Monogram 2009** MONOGRAM SYSTEMS: *B737NG Integral Airstair*, 2009. – URL: http://www.monogramsystems.com/downloads/MS_specsheets_airstairs.pdf (2009-03-29)
- Stuttgart 2008a** FREESE, Bastian; SCHÄFER, Ruben; et. al.: *Turnaround & Groundhandling Optimized Aircraft : Team 1 : StartXpress*. Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, Student Projekt, 2008
- Stuttgart 2008b** KNOLL, Andreas; MUTSCHLER, Florian; et. al.: *Turnaround & Groundhandling Optimized Aircraft : Team 2 : ORCA*. Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, Student Projekt, 2008
- Stuttgart 2008c** BÖHLER, Christian; GRYGIER, Felix; et. al.: *Turnaround & Groundhandling Optimized Aircraft : Team 3 : Larus*. Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, Student Projekt, 2008
- Stuttgart 2008d** PRÜTER, Richard; MARIATHASAN, Vincent; et. al.: *Turnaround & Groundhandling Optimized Aircraft : Team 4 : Global Spirit*. Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, Student Projekt, 2008
- Stuttgart 2008e** BEGENAU, Eric; HAMMEL, Steffen; et. al.: *Turnaround & Groundhandling Optimized Aircraft : Team 5*. Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, Student Projekt, 2008

Telair 2009

TELAIR INTERNATIONAL: Sliding Carpet Loading System, 2009.-
Corporate Information, URL: http://www.telair.com/narrowBody_slidingCarpet.html (2009-07-27)

Wheeltug 2008

WHEELTUG plc: *Pushback without Tugs, Taxi without Engines*, 2008.
– URL: <http://www.wheeltug.gi> (30-6-2008)

**Anhang A Veröffentlichung „Improvements to
Ground Handling Operations and their
Benefits to Direct Operating Costs“**

IMPROVEMENTS TO GROUND HANDLING OPERATIONS AND THEIR BENEFITS TO DIRECT OPERATING COSTS

F. Gomez, D. Scholz
Hamburg University of Applied Sciences
Aero – Aircraft Design and Systems Group
Berliner Tor 9, 20099 Hamburg, Germany

Abstract

This paper systematically identifies and investigates ideas to improve ground handling operations and determines their influence on Direct Operating Costs (DOC). First, the importance of ground handling costs is highlighted and the ground handling operations carried out by low cost airlines are described. Then, the main possible features and airplane modifications that can lead to cost benefits are identified and analysed. A methodology has been established to systematically evaluate the contribution of those features to DOC is developed and justified. All the described modifications in ground handling operation are then quantitatively assessed with this method. As a last step, recommendations towards ground handling cost reductions are given: several new systems can be adapted to the current aircrafts to improve the ground handling operations. Results show that a 3.5 % DOC reduction could be achieved.

1. INTRODUCTION

Ground handling comprises the many services to an aircraft between the time it arrives at a terminal gate and the time it departs from the gate for its next flight. Speed, efficiency and accuracy are important in ground handling operations in order to minimize turnaround time and ground handling costs. Airlines are interested to look at a reduction of Direct Operating Costs (DOC), because DOC include not only ground handling costs, but also depreciation, interest, insurance, fuel costs, maintenance costs, crew costs, landing fees and navigation fees. Improvements to ground handling operation always aim at reducing turnaround time and ground handling costs, however it needs a close look to find out, if improvements to ground handling operations also reduce Direct Operating Costs. This has to be done because in some cases a reduction in ground handling increases the aircraft weight and delivery price, which lead to snowball effects, indirectly increasing other DOC cost items. [1]

With the reduction of ground handling costs, low cost airlines (LCA) have been particularly successful. Well-known examples of LCA are Ryanair, EasyJet, GermanWings and Air Berlin. Ryanair was the first European LCA and was created in 1985. LCA fly short and medium range aircraft, in particular the Boeing B737 and the A320. [2] [3] Hence, the A320 will be the reference aircraft for this paper [4]. The B737 was developed in the 1960's, the A320 in the 1980's. [5] This explains why requirements of low cost airlines regarding ground handling operations were not considered in the design of the B737 and A320. The manufacturers have already announced successors of the B737/A320 [6] [7]. For the first time in history, the requirements of the LCA can be taken into account when designing new aircraft.

The aim of this paper is to systematically identify and investigate ideas to improve ground handling operations and determine influence on Direct Operating Costs.

2. LCA GROUND HANDLING OPERATION

Ground handling costs have a huge influence on the LCA because their low ground handling costs are one of their main advantages compared to the flag carriers. Because of this, low cost airlines have developed new procedures in ground handling operations in such a way that low ground handling costs are considered as one of the key factors of their business model.



FIG 1. LCA Turnaround Characteristics [8]

The main characteristics of the low cost airline's procedure are:

- Parking on apron in front of terminal and parallel to the terminal building, if possible. This enables “taxi in and taxi out” without ground support equipment like pushback tractors. Thus, there is a cost reduction in terms of equipment and manpower. In addition, any possible delay caused by the pushback operation is avoided. [9] [10].
- Passengers are always boarded by means of stairs, so the airline can avoid the airport charges related to airbridges. In addition, a second stair for the rear door of the airplane is used in order to speed up the boarding and deboarding process. These stairs are integrated on-board in some cases in order to avoid

mobile stair fees and delays. This can be seen in FIG 1. [8]

- The aircraft is in its parking position at a walking distance to the terminal gate in order to avoid the transport by bus of passengers between the terminal gate and the aircraft. Thus, similar to the pushback, there is a cost reduction in terms of equipment and manpower. In addition, any possible delay caused by the availability of the buses is avoided. [3]
- The avoidance of on-board passenger services results in reduced turnaround times. Cleaning vehicles are not always required due to the lower in-flight food consumption. Waste water removal services are also not required after every flight. Therefore, the elimination of catering services makes it possible to skip the required time for loading trolleys and shortens the cleaning time. [2]
- Because of the low revenue rate of cargo transportation, cargo is rarely transported by low cost airlines. Therefore, only luggage is loaded into the bulk cargo hold, and belt loaders are the only required ground support equipment for the loading operation. [11]
- Because of the short stage lengths, it is not necessary to refuel at every flight and the so-called "tankering" technique can be carried out. This means ferrying enough fuel for more than one flight segment, in order to avoid the higher fuel cost and additional time on ground at destination airports. [2]
- Low cost airlines achieve utilizations of 4000 ... 4200 flight hours per year in contrast to conventional airlines focusing on business travellers, which usually only reach 2500 ... 2700 flight hours [11]. This can only be achieved with short turnaround times [2] [3] [8] [11].

3. MEASURES AND IDEAS TO IMPROVE GROUND HANDLING OPERATIONS

3.1. A more Autonomous Aircraft

From the previous chapter, it can be concluded that self-sufficiency is the most important characteristic in order to obtain ground handling cost reductions and faster turnaround times. This autonomy can be achieved by means of specialized systems that are incorporated onboard the aircraft. In addition, the ground characteristics of the aircraft equipped with these systems must be compatible with the operation on main airports.

Nowadays, the main specialized systems leading to autonomous capabilities that can be found on current aircraft are:

- Auxiliary Power Unit (APU)
- Large fuel and water capacity¹
- Ground level baggage handling
- On-board stairs

An aircraft equipped with the abovementioned systems can perform remote operations where there is limited ground support equipment available or its use shall be avoided. In order to enhance the current autonomous

¹ Carrying large amounts of fuel and water could also lead to higher Direct Operating Costs because of the higher burnt fuel.

capabilities of future aircraft, new system must be developed. Such is the case of the APS (Automatic Pushback System), which allows autonomous pushback and taxiing.

3.1.1. Autonomous pushback

Current pushback and taxiing procedures are very fuel-inefficient and noisy mission phases because of the high fuel consumption of the engines compared to the work required. [9] Furthermore, the action of a pushback tractor and the additional communication with the driver of the pushback tractor leads to undesirable time consumption. Autonomous pushback could make it possible to avoid the necessity of a tractor for the pushback operation. Therefore, the ground handling costs could be reduced on every flight because ground handling fees for the pushback tractor would be avoided. Additionally fuel and time could be saved.

There are already special APS systems, such as the "Wheeltug" [9], or the solution by Airbus and DLR [12] that are currently under development. The "WheelTug" is a fully integrated ground propulsion system for aircraft. Built into the hubs of the nose wheels, it gives aircraft of all sizes full ground mobility (forward and reverse with steering) without engine thrust or external tugs. It does not require airframe modifications and it can be powered by the APU. Schematics of the APS are shown in FIG 2.

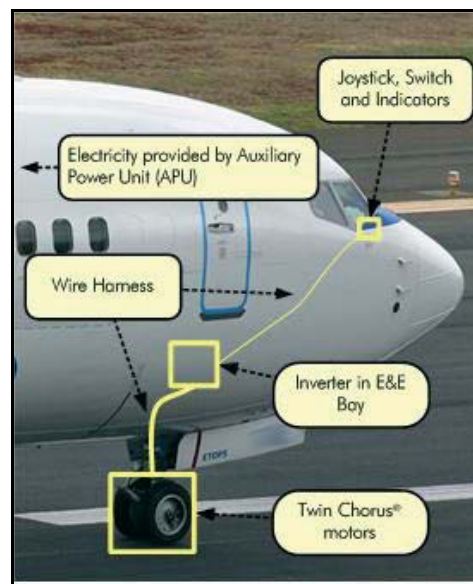


FIG 2. Automatic Pushback System [9]

Despite its benefits, the installation of an APS increases the aircraft weight and so the burnt fuel during flight. Therefore, a trade-off analysis of the cost reduction possibilities is required. For this purpose, studies about the economic benefit of the Automatic Pushback System have been carried out [9] [10]. The results are shown in the last chapter.

3.1.2. Airstairs

So-called 'airstairs' are a passenger stairway that is carried inside the aircraft. These airstairs can be extended or retracted while the aircraft is on blocks, allowing

passengers and ground handling staff to board and deboard the aircraft without the need for a mobile staircase or an airbridge.

Typical airstairs integration can be seen in FIG 3. In this case, the airstairs is fully retractable and can be allocated in the lower fuselage just below the door. This enables the possibility to use airbridges if it is required.



FIG 3. Airstairs [14]

First versions of the B737 included on-board stairs, but they were removed in order to avoid delays, maintenance problems and to save fuel for every sector by removing the weight [13]. However, nowadays, airstairs have become more popular on small regional planes and airplanes that operate into secondary airports with minimum ground support. Therefore, the airstairs are very popular among the low cost airlines fleet and the new B737 version is able to carry airstairs again [13].

According to the manufacturer Monogram Systems [14] the benefits of the use of airstairs are:

- Airstairs provide aircraft with a degree of independence from ground services that can be useful in special circumstances.
- Airstairs decrease ground turnaround times allowing operators greater flexibility for increasing revenue flights.
- Airstairs allow operators to land at remote airports where mobile stairs or airbridges are not available.
- Airstairs have low ownership cost.
- With airstairs no ground services are necessary.

In addition to this, the use of airstairs leads to less damage of aircraft from mobile stairs or airbridges. This saves repair costs and avoids aircraft being put out of service. [15]

The mass of the stairs increases with the sill height of the door airplane. Therefore, airstairs are rarely incorporated into long-range aircraft designs. An alternative possibility to at least ease the integration is to incorporate the stairs into the cargo compartment and link somehow the cargo compartment with the main deck of the aircraft.

Regarding the turnaround time, the extension or retraction cycle lasts around 30 seconds, which is considerably faster than the operation with airbridges or mobile stairs, which typically takes about 2 minutes. [14] [16]

If both front and rear airstairs are installed on an aircraft, passengers can deboard the aircraft while cleaners can service the aft lavatories and move forward, enabling quicker aircraft turnarounds [2]. This benefit is also possible using a combination of airstairs with mobile stairs or airbridges, but the ground handling charges would be comparatively higher due to the higher number of required ground support equipment.

3.2. Boarding and De-Boarding Improvements

One of the main possible improvements on boarding/deboarding is the use of a **third door**. This third door may be placed on the centre of the fuselage. In case of an aircraft with conventional layout, the third door should be installed near the wing root. On the other hand, the door could be installed over the wing in case of low-wing aircraft configurations. Rear-mounted engines lead to additional room for a door along the fuselage without disturbance of the wings. TAB 1 shows the estimated boarding and deboarding rates due to the use of a third door.

TAB 1. Estimated boarding and deboarding rates depending on available doors ([16] and own estimations).

Boarding Speed	1 door Datum	2 doors Datum	3 doors Estimation
Boarding [pax/min]	12	18	24
Deboarding [pax/mix]	20	30	40

This time-saving has a great importance in the low cost airlines' turnaround process; where boarding and deboarding take part on the critical path. In those cases, the turnaround time t_a directly depends on the number of passengers and it can be described with an equation such as:

$$(1) \quad t_a = k_1 + k_2 \cdot n_{pax} + k_3 \cdot R$$

where the variables are based on [17]:

- t_a [min] turnaround time
- k_1 [min] not related to passenger and range time constant,
- k_2 [min/pax] passenger time constant (see TAB 2.),
- n_{pax} [pax] airplane seats count,
- k_3 [min/km] range related time constant,
- R [km] stage length.

TAB 2. Estimated passenger depending constants as a function of available doors (own estimations).

Time constant	1 door	2 doors	3 doors
k_2 [min/pax]	0.133	0.089	0.067

Calculations based on Equation 1 show that for a typical 180-passenger layout, the use of a third door leads to a time-saving of about 4 minutes in the turnaround process comparing to the two door case and a time saving of 12 minutes in the case of one door. The time saving of two doors versus one door is almost 8 minutes.

Another possibility of boarding improvements is the use of **wider doors**. This is especially important when passengers travel with hand luggage, because carrying luggage decrease the passenger mobility through doors. However, an increase of the size of the door leads to a rise of the fuselage structural mass and the corresponding improvement can scarcely be evaluated.

In the same direction, **wider aisles** contribute to a faster boarding and deboarding process. This can be achieved by decreasing the airplane's seat width or introducing foldable seats (FIG 4.). However, the structural layout of many seats does not allow foldable seats. Furthermore, foldable seats will have a weight penalty.

Foldable passenger seats provide additional space to the aisle by automatically folding the aisle seat. According to the design company AIDA [18] [19] the foldable passenger seats affect important components of turnaround times. The new boarding situation means that travellers can move directly into the seat row to stow their hand luggage without blocking the aisle, so passengers behind them can pass without delay. This leads to improved boarding and disembarking times.



FIG 4. Foldable Passenger Seats [18]

Another possibility is the use of **bigger overhead bins** for faster and easier loading. But the available volume of the cabin limits the possible size of the overhead bins. However, this is no longer an important issue because of the current restriction on dimension on hand luggage imposed by many airlines.

Regarding seating policy, there are multiples studies about it [20] [21]. Boarding methods have a great influence on the turnaround time and the Direct Operation Cost of an

airplane. The reason for this: boarding and de-boarding processes take part on the critical path of the turnaround process and, therefore, a reduction in boarding time has a direct impact on the turnaround time. As a result, several airlines currently apply boarding policies to optimise turnaround processes. However, there is not a clear identification of the best method. As an example, EasyJet uses free seating policy, British Airlines uses Back-to-From method and the Window-Middle-Aisle (WMA) method is used by United Airlines. There also exist combinations of different boarding policies, such as the Block Boarding, developed by Delta Airlines. Most used for low cost airlines is the policy of free seating [20] [21]. This means, that the first passengers boarding the airplane can freely choose their seats. The free seating policy leads to the shortest boarding times and hence should be the preferred choice.

3.3. Baggage and Cargo Loading Improvements

There are new products that speed up the process of baggage and cargo loading, making it more economic and/or safer. Examples of these products are the power stow, the sliding carpet or the ramp snake, which speed up the loading and unloading of the aircraft and make the process in the baggage compartment more ergonomic. This can be seen in FIG 5, FIG 6 and FIG 7. The functional principle of all these devices is a roller or conveyor belt respectively that moves the baggage in and out of the baggage compartment.

The ramp snake (FIG 5.) is a vehicle that makes use of powered belts that can be extended inside the aircraft cargo compartment at a proper angle. The advantages of such a system are [22]:

- Avoidance of injuries from manual handling.
- Reduction of required handling staff.
- Faster loading/unloading operations.
- Less damage to aircraft doorsills.



FIG 5. Ramp Snake [22]

The Power Stow (FIG 6.) is a roller track conveyor equipped with a belt loader extension that is built into a mobile belt conveyor in order to facilitate the loading and unloading of passenger baggage into and out of the aircraft cargo hold. It shares the same advantages as the ramp snake. [23]



FIG 6. Power Stow [23]

The sliding carpet system (FIG 7.) consists of a thin moveable belt at the bottom of the cargo compartment and a driver unit situated at the far end of the compartment. Previous mechanical systems consist of moveable sets of metal trays, which themselves take up typically 20% of the available space. Therefore, the sliding carpet enables space for bulk cargo and weight saving. Another advantage is that only one member of staff is required to be inside the cargo compartment. [24]



FIG 7. Sliding Carpet [24]

The use of normalized containers for bulk cargo is another improvement possibility. Loading the containers is usually carried out in a make-up room before the turnaround and will save time during turnaround. However, loading containers is slower than loading bulk cargo, if the abovementioned systems are used. Therefore, the advantage is only with respect to costs. If labour costs are high, the containerised aircraft could be an advantage. [15]

Simultaneously loading and unloading would lead to an important reduction in turnaround time. This could be done if the AFT and FWD cargo holds are connected, so both doors could be used at the same time. The connection of the two cargo holds could be achieved by eliminating the main landing gear, e.g. by making use of:

- a tandem landing gear as on the Boeing B52 [25] or the Baade 152 [26] (FIG 8.)
- a ground-based landing gear system (as it is investigated in the project GroLaS within the Hamburger Spitzencluster) [28].



FIG 8. Baade 152 [26]

- a landing gear integrated into the engines nacelles, as on the Fokker 50 [27] (FIG 9.)



FIG 9. Fokker 50 [26]

3.4. Less Fuel Burn

In case of conventional configuration aircraft, it is possible to reduce the fuel burn on route by placing the center of gravity of the aircraft (CG) further aft. [15] [29] This displacement of the CG could be achieved within the turnaround process by placing passengers in the back rows by means of:

- 1) Indications of the cabin crew while boarding takes place.
- 2) Blockage of the front rows in the time between boarding and deboarding.

TAB 3. Fuel burn increase with a more forward CG [29]

Aircraft types	Fuel increment [kg/1000nm/10%CG]
A300-600	240
A310	100
A320	Negligible
A330-300	90
A340-600	130

The Airbus document "Getting to grips with fuel economy" [29] shows variations of fuel burn with CG shift (see TAB 3.) It can also be seen that in case of the A320 family fuel burn is almost independent of the CG position. For this reason placing passengers in back rows does not lead to a reduced fuel burn on A320 family aircraft. On the B737 however fuel burn can be reduced with a more aft CG. This can be experienced when boarding that plane, and finding out that the front rows have been blocked already by the cabin crew.

3.5. Environment for Ground Handling Crew

Fast ground handling processes can lead to a high exposure of long term back injury problems for the ground handling staff in charge of the loading and unloading processes. Studies [30] show that the average total cost for an airline related to a single back injury corresponds to about 10000 USD [30]. Limitation on check luggage mass and warnings about heavy weight luggage for the operator are measures that have already been carried out in order to prevent these injuries [30]. In addition, all the systems described in the previous sections also avoid injuries caused by manual handling of cargo.

Another factor that has an influence on the baggage handling environment is the sill height of the cargo doors or the ground support equipment that transport the luggage from the dollies to the cargo hold door. The luggage should be delivered at waist height inside the cargo compartment in order to achieve ergonomic working conditions [30]. This is also confirmed and quantified with an effort factor in FIG 10. from [31], where it can be seen that the effort factor is minimum for a working environment situated at waist height.

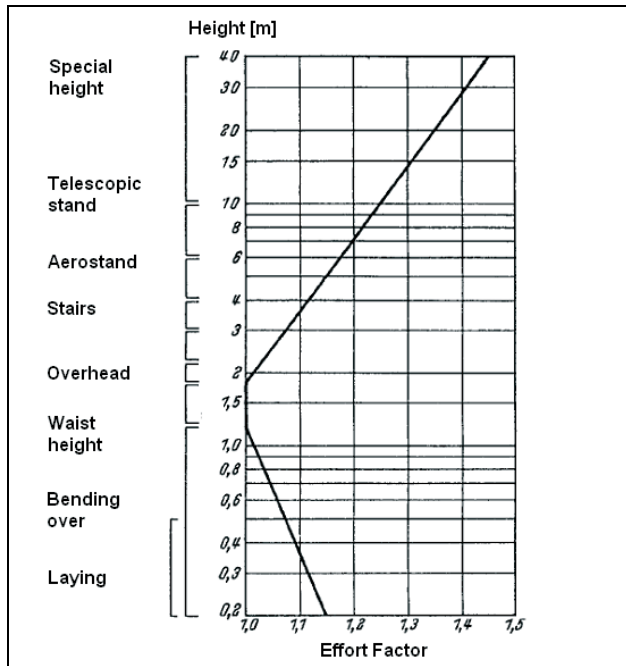


FIG 10. Effort factor versus height of working environment [31]

4. IMPACT ON DIRECT OPERATING COSTS

4.1. Selection of DOC Method

There are several models for cost analysis, but the DOC method is most often used from the perspective of the operator because it describes the aircraft-related costs.

As a general rule, DOC methods calculate the Direct Operating Costs of an aircraft from the costs C incurred due to different cost items over a year [34].

$$(2) C_{DOC} = C_{DEP} + C_{INT} + C_{INS} + C_F + C_M + C_C + C_{FEE}$$

Depreciation cost C_{DEP} represents the distribution of the reduction in value of the aircraft over its useful life. The interest cost C_{INT} represents the financial costs corresponding to the acquisition of the aircraft by means of an external financial source. The insurance cost C_{INS} cover the expenses caused by insuring the aircraft against hull damage or even against hull loss. Fuel cost C_F is incurred for the fuel consumed during aircraft operations. Maintenance cost C_M corresponds to the expenses caused by the actions required for restoring or maintaining the aircraft in serviceable condition. The maintenance cost C_M consists of the sum of airframe maintenance $C_{M,AF}$ and the power plant maintenance $C_{M,PP}$.

$$(3) C_M = C_{M,AF} + C_{M,PP}$$

The crew cost C_C include the costs of the cabin crew $C_{C,CA}$ in addition to the costs of the cockpit crew $C_{C,CO}$.

$$(4) C_C = C_{C,CO} + C_{C,CA}$$

The fees C_{FEE} consists of the sum of landing fees $C_{FEE,LD}$, navigation charges $C_{FEE,NAV}$ and ground handling charges $C_{FEE,GND}$:

$$(5) C_{FEE} = C_{FEE,LD} + C_{FEE,NAV} + C_{FEE,GND}$$

Finally, the overall Direct Operating Costs are calculated by means of the sum of all the cost items as shown in Equation 1.

The DOC can also be related to the distance flown and the number of seats or the maximum number of passengers on the flight n_{DAX} . This then gives the seat-mile costs per flight (depending on the unit used). [34]

$$(6) C_{s,m} = \frac{C_{DOC}}{n_{f,d} n_{pax} R}$$

There exist DOC methods with different approaches and scopes. For the purposes of this research, the DOC Method of the Association of the European Airlines (AEA) [32] has been selected. The AEA method present the following advantages:

- It is complete, because it calculates all the cost items described in Equation 2
- It is publicly available

In addition, [33] suggests AEA as the most accurate method for ground handling calculation in medium stage lengths.

4.2. Methodology

A methodology is selected in order to assess the DOC variations caused by the ground handling features mentioned in Chapter 3.

This methodology consists of:

- Performing DOC calculations using the AEA method with the reference aircraft and mission as input data.
- Performing DOC calculations using the AEA method with the modified aircraft and mission as input data.

- Carrying out comparisons between the DOC results.

One important topic is the delivery price of the aircraft. This price needs to be input in the DOC method but it is not public data because it comes from private negotiations between the airline and aircraft manufacturer. Therefore the delivery price needs to be estimated. There are three methods for delivery price estimation. The delivery price can be assumed to be

- proportional to the Maximum Take-off Weight,
- proportional to the Operating Empty Weight,
- proportional to the Number of seats.

The delivery price related to weight is more accurate because it is based on aircraft statistics and the estimation based on maximum take-off weight has been selected. Since, as it will be shown, there will be no changes on maximum take-off weight, the causes of an increase on delivery price will be the acquisition of additional new aircraft systems.

Then, in order to assess the influence of the potential improvements to ground handling operation, the changes caused by these improvements on the aircraft mass and delivery price are studied. The reason for that is that the aircraft weight and delivery price have a big influence on the DOC. In general, an increment of weight leads to:

- Higher fuel costs – due to higher induced drag [35] [36]
- Higher landing and navigation fees – in cases of an increase of maximum take-off weight (MTOW), because those fees depend on the maximum take-off weight and range [34]

And an increment of delivery price leads to:

- Higher depreciation costs
- Higher interest costs
- Higher insurance costs [32]

More detailed cost prediction can be carried out if there is enough available information of each particular feature. For instance, maintenance costs of pushback systems and airstairs can be calculated independently and added to their corresponding cost item.

In other cases, the improvement of the costs is produced by a feature that does not affects the airplane, such as the use of different ground support equipment for ground handling operations. In this case, only the ground handling cost contribution is computed.

As a last step, a reference aircraft is chosen. The A320 has been selected because of its popularity among the LCA [3] [4].

4.2.1. Utilization

The Direct Operating Costs depend on the number of flights in a year. If a large number of flights is carried out each year with an aircraft, then the fixed costs of aircraft ownership are spread much more widely, with a correspondingly beneficial effect on costs per flight.

The number of flight hours carried out in a defined period is called utilization. There is a fixed correlation, between flight time, the number of flights per year and the aircraft utilization [34]:

$$(7) U_{a,f} = t_f \frac{k_{U1}}{t_f + k_{U2}}$$

Where t_f is the flight time, k_{U1} the airplane annual availability A_a , which depends on time constraints during the year, such as maintenance schedules. k_{U2} corresponds to the turnaround time t_a plus taxi time t_t .

The AEA method indicates that the utilization $U_{a,f}$ can be written as [32] [34]:

$$(8) U_{a,f} = t_f \frac{A_a}{t_f + t_a + t_t}$$

Where the AEA DOC method recommends 3750 h as value for the annual availability A_a .

A direct relationship between turnaround time and the utilization of the aircraft is established by means of equation (8). FIG 11. shows the variation of the relative utilization for the reference aircraft against the turnaround time for different stage lengths.

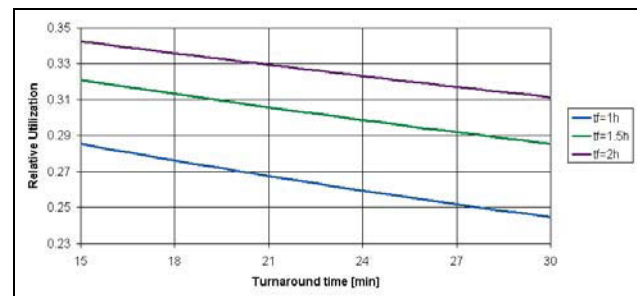


FIG 11. Relative utilization against turnaround time for different flight times t_f

It can be seen that for short flight times the utilization decreases. This can also be seen in FIG 12: the relative utilization is calculated using data from different DOC methods [34]. The conclusion is that more flight hours can be flown with fewer but longer flights.

It is remarkable that for short stage lengths, the utilization is more sensible to changes in turnaround times. For this reason, shorter turnaround times are especially important to LCA. The derivative of the utilization with respect to the turnaround time shows this effect (Equation 9) and it can be graphically observed in FIG 13.

$$(9) \frac{\partial U_{a,f}}{\partial t_a} = -t_f \frac{A_a}{(t_f + t_a + t_t)^2}$$

As it has been mentioned and shown in Equation 6, the changes on utilization (number of flights) have a direct impact on the overall Direct Operating Costs. For this reason, it is fundamental to calculate the changes on utilization produced by the modifications to ground handling operations already described. In addition, Equation 8 can be combined with Equation 6 to highlight the importance of the turnaround time on the seat mile costs.

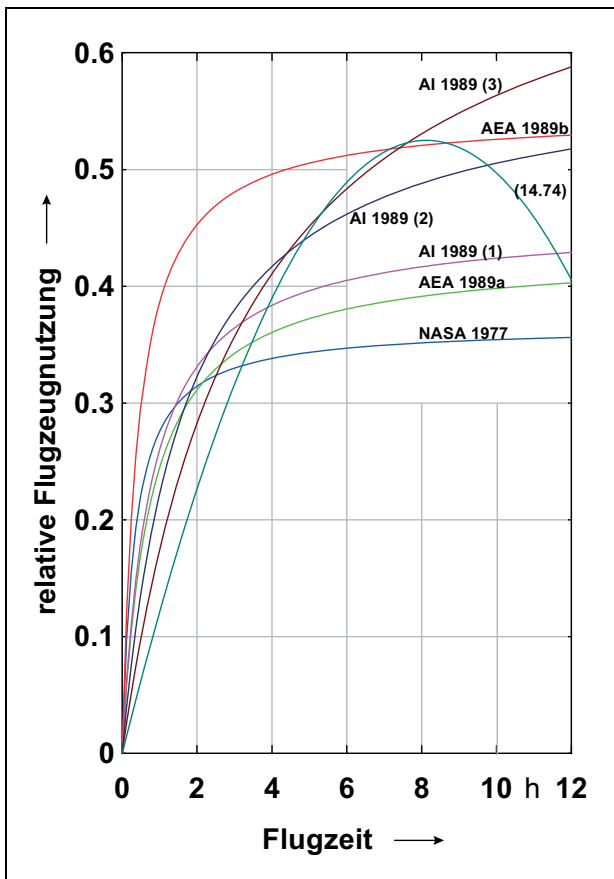


FIG 12. Relative aircraft utilization calculated according to different DOC methods ($t_a=0.5$ h) [34]

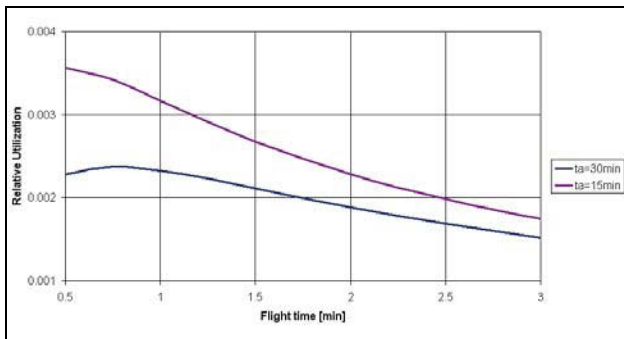


FIG 13. Increase on relative utilization for 1 minute turnaround decrease for different flight times ($A_a = 3750$ h, $t_f=0.25$ h)

FIG.13 shows that shorter turnarounds are more important for shorter flights.

$$(10) \quad C_{s,m} = \frac{C_{DOC}}{n_s A_a V} \left(1 + \frac{t_a + t_t}{t_f}\right)$$

Where V correspond to the cruise speed. In the last term of this Equation 10, it can clearly be seen the importance of the ratio between the turnaround plus taxiing time and the flight time on the seat mile costs.

4.2.2. Increment of Weight and Delivery Price

It is common practice to relate the determined DOC to the transported payload, therefore a payload has to be

selected as an input into the DOC method in order to obtain results. The AEA DOC method [15] makes the following recommendations: "Payload should be the Volume Limited Payload or the Maximum Zero Fuel Weight limited payload, whichever is the lesser. The Volume limited payload is the sum of the cargo capacity and the passenger weight derived from the nominal capacity." "The initial maximum zero fuel limited payload shall not be less than 90% of the volume limited payload..."

This recommendation means that for the reference aircraft transporting 180 passenger and 4300 kg cargo, this leads to a payload of 21400 kg. In the case of low cost airlines, there is no transported cargo [11], so the payload corresponds only to passenger weights, which is 17100 kg.

Even assuming that the reference aircraft is completely filled on every reference flight, the recommended take-off weight for DOC calculation is smaller than the MTOW. This means that, in general, increments of weight due to aircraft modifications do not raise the maximum take-off weight of the aircraft. This is especially important, since the MTOW is the main cost parameter for navigation and landing fees. Therefore, increments of weight only lead to higher fuel costs.

4.3. Input Data for the DOC Method

The A320 and its standard ground handling procedures are considered as the data input for the calculations [6]. The selected stage length input for the DOC method is 500 nm, because it is the average stage length for LCA [37] [38].

The data for the separated estimation of the ground handling costs have been obtained from the airport operator AENA (Spanish Airport and Air Navigation) [39]. The use of ground support equipment and manpower are both taken into account.

For the evaluation of each feature, it is supposed that the ground handling services, on which the feature has influence, are included in the turnaround critical path. For example, it is supposed that boarding and deboarding process take part on the critical path in order to evaluate the benefits of the introduction of the airstairs. In addition, the utilization is also modified in this way.

For mass Δm_{OEW} and price delivery ΔP_{dev} estimations, the specification sheets of each system [9] [14] [22] [23] [24] and specific technical data [16] are consulted.

5. RESULTS AND DISCUSSION

This paper focuses on improvements to today's aircraft. Some of these improvements can be assessed with respect to their financial impact (measured in USD). Other ideas can in this context only be judged qualitatively. Improvements that require a new aircraft or aircraft configuration are not (or only limited) part of this paper. The systematic of these thoughts is presented in TAB 4.

TAB 4. Systematic of possible ground handling improvements

type of improvement	today's aircraft (e.g. A320 or B737)	new aircraft / aircraft configuration adapted to GH needs
improvements that can be assessed only qualitatively	not a primary topic of this paper	not a primary topic of this paper
improvements that can be assessed with respect to their financial impact	considered in TAB 5.	not a primary topic of this paper

The automatic pushback system avoids the use of pushback so it reduces the ground handling costs. However its installation into the aircraft implies an increase of the weight and the delivery price. Details about cost calculations can be found on [9] and [10].

The airstairs have the same effect as the automatic pushback regarding ground support equipment. Therefore, the ground handling costs are decreased. And, as every system mounted into the airplane, it implies an increment of weight and delivery price. The decreases of turnaround time are calculated with Equation 8.

It is difficult to estimate the increase of weight and delivery price caused by the installation of a main third door for passengers in the airplane because the aircraft layout will suffer big modifications and it may not be possible due to emergency door regulations. [40] [41] Since this third emergency door may be derived from other smaller emergency doors, it is supposed that there are no significant weight and price increments. The decreases of turnaround times have been calculated again with Equation 8.

TAB 5. shows primarily only those studied features that can be applied to today's aircraft and can be assessed by the calculation of Direct Operating Costs. The increments in weight Δm_{OEw} and delivery price ΔP_{dev} are listed in the first two columns. The estimations of the turnaround time Δt_a decreases are included in the next column. Ground handling cost reductions $\Delta C_{FEE,GND}$, due to the avoidance of use of ground support equipment or a decrease in the required manpower, are also incorporated in the table. Then, the change in seat mile cost per flight $\Delta C_{s,m}$ are listed. The reason for choosing this parameter as cost indicator is to include the effect of the utilization. If the turnaround time decreases, then the number of flights will increase, so it is obvious that the total costs will increase with the number of flights. Therefore, the seat mile cost per flight is a better indicator of cost reduction. The change in annual utilization $\Delta U_{a,f}$ has also been listed in the table in order to emphasize this effect.

At the moment of this publication, there was no available data about delivery price of the sliding carpet systems. However, it is claimed that the break-even is achieved within one year [24]. In addition, the loading/unloading times are reduced by 50% according to the manufacturer [24]. This is also the case of the power stow and ramp snake. The turnaround time reduction has been calculated with that information.

The turnaround times are dramatically decreased with a simultaneous loading and unloading operation. However, the ground handling costs are higher because more equipment and ground handling staff is required.

TAB 5. Influence of ground handling improvements on Direct Operating Costs. Results based on the AEA DOC method. [32]

Ground Handling Improvement	Δm_{OEw} (kg)	ΔP_{dev} (USD)	Δt_a (min)	$\Delta C_{FEE,GND}$ (USD)	$\Delta C_{s,m}$ (%)	$\Delta U_{a,f}$ (%)
Automatic Pushback System	200	100.000	-	-190	-0.96	-
One Airstairs plus a mobile stair	177	120.000	7	-	-0.75	5.67
Two Airstairs	350	240.000	7	-61.8	-1.12	5.67
Third door	-	-	12	-	-1.29	10.1
Sliding Carpet	-	No Data	10.5 *	-48	-1.37	8.7
Power Stow / Ramp Snake	-	-	10.5 *	-	-1.13	8.7
Simultaneous loading / unloading (containers)	-	-	21 *	+279	-0.51	19

* Assuming that the loading process is on the critical path

6. CONCLUSIONS

It has been shown that all the modifications to ground handling costs described in this paper may have a positive influence on the Direct Operating Costs of the aircraft. In the best-case scenario, the benefit in Direct Operating Cost per flight could rise to 3.45 % if all the compatible modifications to ground handling operation are taken into account simultaneously. This means, that an A320 mounting two airstairs, an automatic pushback system and a sliding carpet will have a cost per flight and seat 3.45% lower compared to a standard A320. Therefore, it can be concluded that these systems must be incorporated into the next generation of LCA aircraft.

In addition, it has to be mentioned that some of these features may improve the ground handling staff working environment avoiding injuries and therefore, reducing costs indirectly.

Finally, the trend in ground handling improvements is not only focused on aircraft modifications or new ground support equipments. For example, there are new innovative management systems to plan ground handling operations in advance. Such is the case of the Southwest's Load Planning System (LPS) [42]. This LPS system considers all the accepted baggage and freight, number of passengers and the amount of fuel to be loaded on the aircraft. From that information, the LPS calculates the best way to efficiently load the aircraft. The Ramp Agent then ensures that the ground handling operation is carried out according to plan.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was supported from the budget of the Federal Ministry of Economic Affairs (Förderkennzeichen 1748X07)².

REFERENCES

- [1] SCHOLZ, DIETER: *ALOHA - Flugzeugentwurf für kostenoptimierte Bodenabfertigung*. Hamburg University of Applied Science, Aircraft Design and Systems Group (Aero), Project Description, 2007
- [2] GROSS, Sven; SCHRÖDER, Alexander: *Handbook of Low Cost Airlines*. Göttingen: Hubert et Co., 2008. – ISBN: 978-3-503-10081-1
- [3] BENTLEY, David: *Low Cost Airport Terminals Report*. Sydney: Centre for Asia Pacific Aviation, 2008
- [4] GLASER, Daniel; THEIS, Peter; Airbus, FPO: *ALOHA – Project Requirements*. Airbus Deutschland, Technical Report, 2007 (RP0706613)
- [5] O'CONNOR, William: *An Introduction to Airline Economics*. Wesport: Praeger Publishers, 2001. – ISBN: 0-27596911-8
- [6] KJELGAARD, Chris: Next in Line. In: *Flight International*, 7-13 February 2006
- [7] KINGSLEY-JONES, Max: Airbus aims to thwart rival's plans with upgraded A320. In: *Flight International*, 20-26 June 2006
- [8] TESCH, Werner: *Turnaround and Ground Handling Aspects*. Presentation for Universität Stuttgart. Praxisseminar, Stuttgart, 2007
- [9] WHEELTUG: WheelTug Company Website. – URL: <http://www.wheeltug.gi> (30-6-2008)
- [10] RAES, Dwayne: *Efficient autonomous Pushback and taxiing – a step forward to reducing costs and pollution*. Hamburg University of Applied Science, Aircraft Design and Systems Group (Aero), Master Thesis, 2008
- [11] SHAW, Stephen: *Airline Marketing and Management*. Hampshire: Ashgate, 2007. – ISBN: 978-0-7546-4819-2
- [12] KUNTNER, Christoph: *Integration eines Fahrwerkantriebes zum Manövrieren des Flugzeuges am Boden*. Aachen University of Applied Science, Master Thesis, 2008
- [13] BRADY, Chris: *The Boeing 737 Technical Guide*. London : Tech Pilot Services, 2008
- [14] MONOGRAM SYSTEMS: *Airstairs B737 Specification sheet, 2009*. – Corporate Information, URL: http://www.monogramsystems.com/downloads/MS_sp_ecsheets_airstairs.pdf (2009-03-29)
- [15] GOMEZ CARRASCO, Francisco; SCHOLZ, Dieter: *ALOHA Minutes of Meeting*. Hamburg University of Applied Science, Aircraft Design and Systems Group (Aero), Internal Report, 2008
- [16] AIRBUS S.A.S: *A320 Airplane Characteristics For Airport Planning*. Airbus S.A.S Technical Data Support and Services, 1995
- [17] SWAN, William: *Airline Strategies and Choice of Aircraft - Does Recovery or Size Matter?* Presentation for Hamburg Aviation Conference 2006. – URL: <http://www.hamburg-aviation-conference.de/index.php?page=7&subpage=6> (30-6-2008)
- [18] AIDA DEVELOPMENT GMBH: *Foldable Passenger Seat, Feasibility, Design and Mock Up*. – Corporate Information, URL: http://www.aida-development.de/en_html/home/index.htm (29-3-2009)
- [19] PETER, Miehke: *Der Fluggastsitz – vom Konzept zum Produkt*. Presentation for Hamburg DGLR. Praxisseminar, Hamburg, 2005. – URL: http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dglr/hh/text_2005_10_13_Fluggastsitz.pdf (30-3-2009)
- [20] BURNHAM, Paul: Loading an Airliner Is Rocket Science. In: *The New York Times*, 2006-11-14. – URL: <http://travel2.nytimes.com/2006/11/14/business/14boarding.html?pagewanted=1> (29-3-2009)
- [21] HOFFER GITELL, Jody: *The Southwest Airlines Way*. New York: McGraw-Hill, 2005. – ISBN: 0-07-145827-1
- [22] FMC TECHNOLOGIES: *Ramp Snake Specification Sheet 2009*. – Corporate Information, URL: www.fmctechnologies.com/upload/rampsnake.pdf (29-3-2009)
- [23] POWERSTOW: *About Power Stow, 2009*. – Corporate Information, URL: <http://www.powerstow.com/about/about.html> (29-3-2009)

² Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen 1748X07 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

- [24] TELAIR INTERNATIONAL: Sliding Carpet Loading System, 2009. – Corporate Information, URL: http://www.telair.com/narrowBody_slidingCarpet.html (29-03-2009)
- [25] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/B-52_Stratofortress (04-04-2009)
- [26] MANKE, Frank: *152 Homepage, The story of the first german airliner*, 2003. – URL: <http://www.skybirdev.de/152/152.htm> (04-04-2009)
- [27] URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Fokker_50 (04-04-2009)
- [28] BINNEBESEL, Jan: *GroLaS Ground-Based Take-Off and Landing System*. Presentation for Luftfahrtcluster Metropolregion Hamburg, 2009
- [29] AIRBUS: *Getting to grips with fuel economy*. Flight Support & Line Assistance, Issue No. 3, 2004
- [30] DELL, Geoff: The causes and prevention of baggage handler back injuries. In: *Safety Science Monitor*, Issue 3, Article 3, 1997
- [31] BRINK K.B.; RIECK G.: *Qualitative und quantitative Wartbarkeits- und Zuverlässigkeitsanalysen*. Verein Deutscher Ingenieure VDI, Bildungswerk, 1973
- [32] ASSOCIATION OF EUROPEAN AIRLINES: *Short-Medium Range Aircraft AEA Requirements*. Brüssel : AEA, 1989 (G(T)5656)
- [33] MEYER, Sylvia: *Ein Vergleich von DOC-Methoden hinsichtlich der Kosten für Gebühren*. Hamburg University of Applied Science, Aircraft Design and Systems Group (Aero), Master Thesis, 2008
- [34] SCHOLZ, Dieter (ed.): *Aircraft design*. Hamburg University of Applied Sciences, Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Aircraft Design and Systems Group (Aero), Short Course Notes, 2008. – URL: <http://www.flugzeugentwurf.de>
- [35] RAYMER, D.P.: *Aircraft Design: A Conceptual Approach*, AIAA Education Series, Washington D.C. : AIAA, 1989
- [36] IATA INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION: Jet Fuel Price Monitor. – URL: http://www.iata.org/whatwedo/economics/fuel_monitor (19-03-2009)
- [37] GOMEZ CARRASCO, Francisco; SCHOLZ, Dieter: *Flugzeugentwurf für kostenoptimierte Abfertigung*. In: *Ingenieurspiegel* (2009), Nr. 1, S. 29-32
- [38] GOMEZ CARRASCO, Francisco: *Low Cost Airline's Average Route Length*. Hamburg University of Applied Science, Aircraft Design and Systems Group (Aero), Internal Report, 2008
- [39] AENA: *Spanish Airports and Air Navigation. Schedules of charge 2008*. Madrid, 2008
- [40] U.S. DEPARTMENT FOR TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: *Federal Aviation Regulations, Part 25, Transport Category Airplanes*
- [41] JOINT AVIATION AUTHORITIES: *Joint Aviation Requirements, JAR-25, Large Aeroplanes*
- [42] URL: <http://www.blogsouthwest.com/blog/load-planning-system> (28-04-2009)

**Anhang B Veröffentlichung „Aircraft Design for
Low Cost Ground Handling – The Final
Results of the ALOHA Project“**

AIRCRAFT DESIGN FOR LOW COST GROUND HANDLING - THE FINAL RESULTS OF THE ALOHA PROJECT

P. Krammer*, **O. Junker****, **D. Scholz***

***Aero - Aircraft Design and Systems Group, Hamburg University of Applied Sciences, Hamburg, Germany**

****Airport Research Center GmbH, Aachen, Germany**

Keywords: *aircraft design, ground handling, direct operating costs*

Abstract

A significant reduction in turnaround time and costs can be achieved by changing the conditions of critical turnaround processes through an adapted aircraft design. The consideration of foldable passenger seats together with a continuous cargo compartment yields into a shoulder wing aircraft configuration with engines at the tail. The resulting enhancements in dis/embarking and off/loading yield, under the premise of masses and performance identical to an Airbus A320-like baseline aircraft, a reduction of 1.3 %... 4.0 % in total DOC per seat-kilometer. However, due to the necessary adaptations of the aircraft configuration, overall aircraft masses and fuel consumption increase. The predicted benefits in turnaround time and costs are not able to compensate this impact on the DOC elements, which results into an increase of total DOC per seat-kilometer.

1 Introduction and Motivation

During the past years, the predicted annual growth rate of 5 % in air traffic gained significance due to capacity limitations and environmental considerations [1, 2]. One aspect to include in the judgment of new aircraft concepts, that are able to serve the predicted demand, is the aircraft-airport interface. The Airbus A380-800 is restricted in wing span and length due to current airport terminal limitations [3]. Like-

wise, ground clearances, turning radii, turn paths and Load Classification Numbers (LCN) must be taken into consideration during aircraft design and assessment. But not only taxiing, maneuvering and parking is crucial for an efficient airport operation, the turnaround itself demands a number of processes and coordination of many parties involved: the airport, the airline and the ground handling company. Experts in the field believe that nowadays turnarounds are already optimized and therefore limited in a further efficiency increase [4]. This might be due to the fact that the aircraft remained as it is and only the ground handling processes together with used ground handling equipment have been adapted to serve for a more efficient turnaround. In this context, the question arises, if there would be a further potential in efficiency increase due to adaptations of the aircraft design itself which is task of the joint research project *Aircraft Design for Low Cost Ground Handling* (ALOHA) among the following partners:

- Hamburg University of Applied Sciences (HAW Hamburg) - acting as project leader
- Airbus Operations GmbH (Future Project Office)
- Airport Research Center GmbH (ARC)
- Hamburg Airport GmbH (Ground Handling Division)

ALOHA aims at identifying technologies and aircraft design adaptations that are exhibiting the

potential of an efficient ground handling in terms of costs and time demand. The HAW Hamburg involvement in the ALOHA project is financially supported with a grant of the FHprofUnd programme from the Federal Ministry of Education and Research. The grant is administered by the *Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen Otto von Guericke e.V.* (AiF). The duration of ALOHA is 3 years and 2 months. It started in November 2007.

2 The Airlines' Perspective

With the rise of fuel costs and fees that are additionally nowadays related to environmental considerations, airlines strive to reduce costs in areas and segments that are, in contrast to aforementioned ones, being able to get influenced. What remains as an airline authority can be ascertained by summing up the entire operating costs of an aircraft as part of the Direct Operation Costs (DOC).

$$C_{DOC} = C_{DEP} + C_{INT} + C_{INS} + C_F + C_M + C_C + C_{FEE} \quad (1)$$

$$C_{FEE} = C_{FEE,LD} + C_{FEE,NAV} + C_{FEE,GND} \quad (2)$$

The costs C incurred due to depreciation C_{DEP} and interest C_{INT} are primarily related to the purchase price of the aircraft. There is also a restricted influence on insurance costs C_{INS} covering hull damage and hull loss. As has been noticed over the past years, fuel costs C_F cannot be influenced at all. Maintenance costs C_M can be lowered by bringing into a play a fleet of homogeneous aircraft types to reduce costs of spare parts (e.g. through quantity discounts) and/or aircraft type trainings. Crew costs C_C must be kept equal to standardized levels because otherwise airlines run the risk of crew strikes [5]. Landing fees $C_{FEE,LD}$ as well as navigation fees $C_{FEE,NAV}$ are depended on aircraft mass, region and airport and are thus subject to the offered destinations. Ground handling fees $C_{FEE,GND}$ are (predominantly) dependent on the actions required during a turnaround and negotiated with local ground handling companies or airports through Service Level Agreements (SLA).

As a consequence, to remain competitive, airlines have nowadays only limited possibilities to reduce their operating costs, which are, by reducing (1) and (2):

$$\Delta C_{DOC} \approx \frac{\delta C_M}{\delta x_1} \cdot \Delta x_1 + \frac{\delta C_{FEE,GND}}{\delta x_2} \cdot \Delta x_2 \quad (3)$$

Although limited, the potential in reducing costs has been successfully exploited by well established Low Cost Airlines (LCA) such as Southwest Airlines and Ryanair. It is therefore likely that the low cost airlines segment will continue to grow, claiming an increasing market share of travel by air. Their success has sprouted a global interest of all airlines and puts them under pressure to catch up and remain competitive. One of the key enablers of LCA are adapted turnarounds [6, p. 22] as can be clearly seen in (3), partially only in combination with secondary airports though [7].

3 Problem Stating

An improvement in ground handling can lead to two principal effects: a reduction in ground handling costs, and an increase in aircraft utilization.

3.1 Ground Handling Cost Reduction

In principal, a cost reduction at one single ground handling process can be noticed on the total ground handling costs and thus, on the total airline related costs. One of the overall issues is the high dependency on other processes, resources and/or stakeholders. Thus, by reducing the interfaces between the aircraft and the airport terminal, a reduction in required Ground Support Equipment (GSE) and ground handling staff can be accomplished that would further reduce associated costs as well as e.g. the potential of delays. This means that the aircraft has to become more autonomous (i.e. getting independent of external GSE) such as including an autonomous push back system and on-board air stairs. On the contrary, such equipment leads to an increase in aircraft weight. Likewise, the aircraft must be designed to accommodate for the new technology.

Therefore, as improvements to ground handling operation always aim at reducing turnaround time and ground handling costs, it needs a close look to find out if improvements to ground handling operations also reduce the total DOC. This has to be done because in some cases, a reduction in ground handling costs increases the aircraft weight and delivery price, which leads to drawbacks in cruise performance and other DOC cost items such as fuel costs and depreciation (1).

3.2 Ground Handling Time Reduction

In contrast to plausible cost reductions, the reduction in time of one single ground handling process might not essentially lead to an overall reduction in turnaround time. This is because only the ground handling processes that are on the critical path are influencing the overall turnaround time. Processes not on the critical path are running simultaneously to critical path processes but do not depend on predecessors. Secondly, an overall reduction in turnaround is not directly linked to an increase in utilization. This effect might only be noticed if the reduction in turnaround time throughout the day may lead to a possibility of a further flight during the considered daily availability. (4) emphasizes this by showing the parameters involved:

$$U_{d,f} = t_f \cdot \frac{A_d}{t_f + t_a + t_t} = t_f \cdot n_{f,d} \quad (4)$$

where

- $U_{d,f}$ daily utilization [h/d]
- A_d daily availability [h]
- t_f flight time [h]
- t_a turnaround time [h]
- t_t taxi time [h]
- $n_{f,d}$ number of flights per day [-] *integer*

The utilization U of an aircraft is a parameter with a strong influence on DOC and indicates the efficiency of an airline's operation. Airlines consistently strive after maximizing their utilization in order to distribute their fixed costs (depreciation, interest, insurance) over an increasing number of flights, which is equivalent to a relative cost reduction of each individual flight. To

do so, the parameters involved in (4) must be surveyed individually: The flight time t_f is dependent on flight plan and therefore not a parameter to be adapted. Likewise the taxi time t_t which is mainly dependent on the airport layout. The daily availability A_d of an aircraft depends on many external things: flight plan, airport night time restriction, etc. The only parameter remaining for increasing the utilization is the turnaround time t_a . Hence the question arises: How much in turnaround time reduction is needed to increase the daily utilization $U_{d,f}$ and thus the annual utilization $U_{a,f}$ of an aircraft? Since the number of flights per day $n_{f,d}$ is an integer number, (4) must be rewritten to obtain the relative daily utilization $U_{d,f,rel}$ in [%]:

$$U_{d,f,rel} = \frac{t_f \cdot \lfloor n_{f,d} \rfloor}{A_d} = \frac{\left\lfloor \frac{A_d}{t_f + t_a + t_t} \right\rfloor \cdot t_f}{A_d} \quad (5)$$

$$\lfloor n_{f,d} \rfloor = \max \{ k \in \mathbb{Z} | k \leq n_{f,d} \} \quad (6)$$

Thus, the relative daily utilization increases only if the number of flights increases by one flight. This yields into the following requirement:

$$\frac{A_d}{t_f + t_a + t_t} = \lfloor n_{f,d} \rfloor + 1 \quad (7)$$

Figure 2 depicts the relative daily utilization over the flight time for two different standard turnaround times by applying (5). The relative daily utilization continuously increases with an increasing flight time up to a point where the number of flights suddenly decreases by one due to the fact of another flight in between. This characteristic is more significant at short range flights. Figure 3 depicts the necessary reduction in turnaround time to increase the utilization for different standard turnaround times by applying (5) and (6). Accordingly, the higher the flight time the higher the required turnaround time reduction for increasing the utilization (note that a reduction of turnaround time above 30 min is physically not possible since the standard turnaround time was set at 30 min or 20 min respectively). With shorter turnarounds throughout the day, the absolute impact on the relative utilization is slightly lower but achieved at

a lesser (absolute) number of minutes in required turnaround time reduction.

A reduction in turnaround time can be significant and depends primarily on the ratio of flight time to turnaround time. The possibility to achieve a higher utilization is higher for short range flights. With $A_d = 18$ h, $t_f = 1$ h, $t_a = 30$ min, and $t_t = 10$ min, a reduction of about 1.8 min in turnaround time t_a must be achieved to increase the utilization. This value increases to 5.7 min for flights with 2 hours flight time.

4 Analysis of the Current Turnaround Situation

To get a broader perspective of the various issues involved in the daily ground handling of an aircraft, interviews have been conducted with experts in the field. To later judge individual aircraft design proposals in a correct way, data of real turnarounds has been collected and analyzed.

4.1 Expert Interviews

In order to address the real issues that are faced in the daily aircraft ground handling, experts in the field of ground handling procedures, airline business strategies and ground handling equipment have been interviewed. The information collected (out of a total of ten interviews conducted) has been transferred into significant and short statements and separated for each ground handling process [4].

Results emphasize the need of a better door positioning with respect to ground handling equipment dimensions through lowered sill heights and door clearances (e.g. cargo loading and catering processes are often restricted by the engine nacelles. In addition to this, the engine inlet is highly susceptible in the event of secondary damages. The wing root is e.g. interfering with the passenger boarding bridge at the second door of the Airbus A321).

Furthermore, Center of Gravity (CG) limitations decrease the flexibility of cargo loading and enforce many processes that are not optimal: e.g. passing of loose baggage along the cargo hold

into the rear end of the cargo compartment; use of cargo nets requires tying of cargo nets which is time consuming and the position of it is decisive for the CG location or cargo loading in a certain sequence (unloading from back to front and loading from front to back).

The process of refueling from the fuel truck ramp is rather often accomplished than in the conventional way with ladder and rolled out fuel hose which needs more time for preparation. Reasons for that are either that the fuel truck cannot park directly under the aircraft wing because of the low wing height (Boeing B737) or, as it is often the case, the fuel truck parking near the cargo holds is interfering with the loading and off loading process.

Experts in the field additionally pointed out that there is a wastage of cargo volume by making use innovative ground handling equipment such as sliding carpets. The pushback must be considered as a critical process since it can lead to delays and the missing of slots. A lower accessibility can be noticed for underwing deicing with wings located close to the ground so that is usually accomplished by hand. Bigger GSE is used for ground handling than it is actual necessary for the type of aircraft at the airport to serve more type of aircraft with the same purchased GSE. Using larger GSE than necessary is often not optimal. Obviously, the capacity and flexibility of ground handling activities is limited by the number of available aircraft doors.

4.2 Turnaround Process Analyses

168 turnarounds of typical single-aisle aircraft in the short to medium range segment at four different airports have been video-tape recorded and analyzed. Collected data has been prepared to undergo mathematical regressions (e.g. number of passengers versus disembarking time) and statistical evaluations of all possible sets of turnaround parameters. Where obvious, outliers have been deleted to get a representative data sample. The evaluation of ground handling processes is thus based on measures of central tendency and dispersion as well as probability den-

sity distributions.

Results showed that only a few processes correlate linearly. A higher order mathematical regression would not deliver better results since collected data is much dispersed. This is due to the fact that ground handling processes necessitate much of activities and are therefore involving and depending on various parameters. Although a total of 96 parameters have been recorded and are thus available in the data sample, a certain number of influences that might even be hard to capture, remain unconsidered. For instance, Figure 1 (top left and right) depicts the number of passengers over disembarking and embarking time. As can be seen, the disembarking time correlates almost linearly with the number of passengers. In contrast to that, the embarking time is much dispersed, prohibiting a successful regression analysis.

Furthermore, in some cases the recorded process times cover more activities than the actual considered one. For instance, as the refueling process has been captured by a time stamp of fuel hose connecting and disconnecting, the definite fuel flow starts a few moments later. In this case, the data sample is representative to calculate total refueling time rather than fuel flow rates.

According to statistical evaluations, most of the processes are exhibiting a log-normal distribution characteristic (9) such as the disembarking process as shown in Figure 1 (middle left). This is because the probability of a value below a certain (minimum) time is close to zero due to the fact that the process cannot be carried out in such a relatively short time. The slope of the probability function then rises up very quickly up the mode where it then decreases with a negative but lesser slope than before. This means that the probability of a disembarking time below the mode is very low in contrast to the probability of a disembarking time above the mode. Thus, the mode in this example could be considered as an absolute minimum for later comparisons. For the process of embarking however, the Normal distribution (8) is in better agreement with the data sample (Figure 1 middle right) as the probability distribution shows a symmetrical characteris-

tic about the mode of around 9 min in embarking time. As a result, the probability of achieving an embarking time below or above the mode is similar and emphasizes the hypothesis that the embarking process is dependent on various parameters and cannot be captured solely by the number of passengers.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (8)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

To evaluate the influence of other (recorded) parameters on e.g. disembarking time, the Pearson product-moment correlation coefficient (PMCC) has been calculated according to [8]:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

with the measured value of x_i of the characteristic X_1 and y_i of the characteristic X_2 at the i -th individual. PMCC values help to identify linear correlations between couples of selected data samples rather than expressing any curve progression other than linear. Figure 1 (bottom) depicts a number of PMCC values of different (pre-selected) parameters related to the dis/embarking process. What can be noticed is that disembarking time correlates almost linearly ($r > 0.5$) with the aircraft model (A319, A320, A321, B737, B738), the number of aircraft seats, and, as previously mentioned and depicted in Figure 1 (top left), on the number of disembarking passengers. For the embarking process however, no representative linear correlation could be found. Interesting to see however is that the embarking process does not depend on aisle width, seat pitch or stage length. Some pairs show a very good linear correlation e.g. seat pitch versus airline business model where it has to be kept in mind that others are a reason of logic interrelations such as number of aircraft seats versus number of passengers, aircraft type or seat pitch.

5 Aircraft Design Synthesis and Analyses

As can be seen in Figure 2 aircraft that are most affected by turnaround time are short and medium range aircraft, in particular the Boeing B737 and the Airbus A320. The B737 was developed in the 1960's, the A320 in the 1980's. This explains why requirements of nowadays ground handling operations (comparable to that of low cost airlines) were not considered in the design of the B737 and A320. The manufacturers have already announced successors of the B737 and A320. It is therefore of great interest to come up with adapted aircraft design proposals that are additionally featuring enhanced ground handling capabilities.

With this in mind, the twin-engined Airbus A320 has been chosen as the baseline aircraft for later comparisons and analyses with the proposed aircraft designs.

5.1 Aircraft Design Process in PrADO

Basis of aircraft design analysis and multidisciplinary design optimizations is the Preliminary Aircraft Design and Optimisation program PrADO [9, 10], developed by the Institute of Aircraft Design and Lightweight Structures of the Technische Universität Braunschweig. The core of the program reflects a set of design modules, representing each relevant discipline involved in the preliminary aircraft design process that are run until overall aircraft masses are converged. The program can easily be extended by adding new modules to take account for further aspects that are gaining significance [11]. Likewise, modules not necessary for a design analyses can be deactivated to lower computational effort. All modules are communicating with each other only through a data management system which accesses thematically sorted databases. The databases are initialized through data of the transport mission, a basic parametric description of the configuration layout, constraints and design targets. Additionally, different methods for a specific task are available reflecting user-defined requirements such as level

of detail, method of analysis, etc.

In context of the ALOHA project, the module *DOC* becomes significant. The PrADO method selected for *DOC* computation is the *DOC* method according to Association of European Airlines (AEA) [12] due to its completeness and public availability. The method of AEA was established in 1989. For later comparison and analysis with available cost indices, a compensation for inflation must be provided to account for the predominantly financial condition of all the years in between:

$$k_{INF} = \prod_{n_{method}}^{n_{year}} (1 + p_{INF}) \quad (11)$$

According to the U.S. Department of Labor k_{INF} amounts to 1.79 for the period of 1989 to 2010 with average consumer price indexes as a calculation basis [18].

The design method in PrADO has been validated (Table 1) through a re-design of the baseline aircraft (Figure 6). Overall aircraft masses are in good agreement with data out of [14]. Take-off field and landing-field length according to FAR requirements as well as the approach speed are subject to flight mission simulations off landing and take-off and predicted with a deviation of about 13 %. However, on this basis, the requirements of further adapted aircraft designs have been set to values of Table 2, compensating the deviations subject to flight mission simulations.

5.2 Aircraft Design Proposals and Analysis

The aircraft design under investigation is an Airbus A320 aircraft adapted for ground handling operations. The analysis of the current turnaround situation (Chapter 4) showed, that a shoulder wing aircraft could exhibit the capability of time-reduced and cost-reduced turnarounds. The configuration to be investigated is therefore an Airbus A320-like configuration with a shoulder wing instead of a conventional low wing.

In the case of a shoulder wing, the landing gear integration becomes challenging. On the

contrary, the wing can be designed without a kink which yields into a simple (and single) tapered wing design. To lower the length of the landing gear, the fuselage should be kept close to the ground which additionally eases ground handling operations due to lowered sill heights. With this in mind the tail clearance for appropriate take-off rotation becomes decisive. A remedy can be found by additionally locating the engines at the tail of the fuselage, shifting the aircraft CG and thus the wing position and landing gear adjustment (relative to the fuselage) backwards. The free area obtained below the aircraft wings additionally eases ground handling processes such as refueling or loading and offloading because there will be no interferences with the engine nacelles anymore. The calculation of the wing position towards an optimum overall CG has been implemented in PrADO, by solving an equilibrium of momentum around the leading edge of the Mean Aerodynamic Chord (MAC) of the wing group (WG) and the fuselage group (FG):

$$\tilde{x} = x_{FG} - \Delta\tilde{x}_{CG} + \frac{m_{WG}}{m_{FG}} (\Delta\tilde{x}_{CG,WG} - \Delta\tilde{x}_{CG}) \quad (12)$$

with
 x longitudinal axis
 \tilde{x} x coordinate of leading edge at MAC
 $\Delta\tilde{x}_{CG,..}$ distance between CG and \tilde{x}
 $\Delta\tilde{x}_{CG}$ e.g. set to $0.25 \cdot c_{MAC}$
 $m_{..}$ mass of wing or fuselage group

Although optimized in wing positioning, the stretched fuselage of the shoulder wing configuration will get heavier. However, the question can be raised, if the shoulder wing configuration is able of compensating its structural and aerodynamic penalties through a simple tapered wing design. Figure 4 summarizes and visualizes the results of an calculated Pareto-optimal boundary with design variables \mathbf{x} of aspect ratio (AR), wing reference area (S_{ref}) and taper ratio (λ):

$$\min_{\mathbf{x} \in \mathfrak{R}^n} = \left\{ \left[\begin{array}{l} \mathbf{f}_{m_w}(\mathbf{x}) \\ \mathbf{f}_{m_f}(\mathbf{x}) \end{array} \right] \middle| g(\mathbf{x}) \leq 0 \right\} [13] \quad (13)$$

with the objective functions of minimum wing mass $\mathbf{f}_{m_w}(\mathbf{x})$ and minimum fuel mass $\mathbf{f}_{m_f}(\mathbf{x})$ (calculated for the selected reference mission). The

overall tendency of the selected objective functions is depicted according to the theory: the better the aerodynamic quality – the higher the aspect ratio or wing span – the higher the wing bending moment and thus the structural weight of the wing. In contrast to that is the wing - very short in span - that is very light in weight but exhibits a poor aerodynamic quality. What can be seen is that the fuel mass is not decreasing anymore after a certain point (around the wing mass of 13 t) which means that any further increase in wing span is not favorable. This is due to the structural penalty of the wing which is - after this point - higher than the aerodynamic improvement.

Figure 4 shows additionally where the wing of the baseline aircraft would be located in terms of wing and fuel mass for the same flight mission. The point is situated below the Pareto-optimal boundary due to the fact of lower operating empty mass which mainly results out of a lower fuselage mass (11.7 t versus 9.3 t of fuselage mass). This leads to the conclusion that the shoulder wing configuration is not able of compensating its structural and aerodynamic penalties through a simple tapered and optimized wing design.

When it comes to optimizations with DOC as a target function, the wing design point is moving along the Pareto-optimal boundary according to the cost parameters selected. To come up with a final wing design, the shoulder wing configuration has been optimized towards minimum DOC per seat and per kilometer with cost parameters selected and listed in Figure 8. The resulting point is slightly above the Pareto-optimal boundary (Figure 4). This is because of the fact that the fuselage mass dependency on wing mass has been neglected during calculations. What can additionally be noticed is that the wing has been optimized towards a more aerodynamic efficient design compared to the baseline aircraft. This is due to the fact that the DOC parameters selected for optimization do incorporate higher fuel prices which was obviously not the case when the Airbus A320 was designed back in the 1980's.

The proposed aircraft designs additionally

feature foldable passenger seats [15] next to the aisle for a faster dis/embarking. The increase in fuselage mass can therefore additionally be blamed on the heavier foldable passenger seats (40.0 kg instead of 29.9 kg of a triple economy seat bench).

The idea of reducing the time of processes on the critical path of the turnaround, has been further extended by designing a six abreast, twin-aisle shoulder wing aircraft (Figure 6). The empennage of the shoulder wing configuration could be adapted towards an *H-tail* to allow for engine noise shielding effects (compare [16]). This is however not a primary task of the ALOHA project.

6 Ground Handling Analyses of Proposed Aircraft Designs

In order to assess the aircraft design proposals in terms of ground handling operations, ground handling scenarios have been developed that have been reproduced in the simulation environment CAST Ground Handling. The process oriented cost calculation has been chosen to accurately predict the difference in ground handling costs.

6.1 Ground Handling Scenarios

All collected data from turnaround analyses (Chapter 4.2) has been fed into turnaround Gantt charts that are thus based on realistic turnaround parameters. It has been noticed, that turnaround processes are primarily dependent on the airline business model (conventional versus low cost) and the parking position (terminal or remote apron). In order not to lose this information through a rough averaging of the real-time turnaround parameters, four ground handling scenarios have been defined as depicted in Table 4. Scenarios at the terminal (I and III) reflect a *full service* turnaround including a cleaning of the cabin, potable water refilling and waste water service as it would occur at every third or fourth turnaround on short-haul flights. A further differentiation is made between conventional and low cost airlines (I and II vs. III and IV): use

of containers (transfer baggage) vs. bulk cargo, full catering vs. limited catering, towbarless push back vs. towbar pushback (less GSE costs), etc. Also, a different passenger load factor between low cost and conventional airlines is taken into consideration.

An example of the derived Gantt chart is depicted in Figure 5. The length of each bar has been scaled according to the results of the regression analysis of each turnaround process where the lines indicate the process time with respect to the standard deviation of each turnaround process. All scenarios and derived Gantt charts are thus based on realistic turnaround data and represent the basis of evaluation of adapted aircraft designs. Furthermore, all derived Gantt charts do not take into consideration a refueling parallel to dis/embarking as this is not the case in the 168 turnarounds video-tape recorded.

6.2 CAST Ground Handling

Results from spreadsheet (Gantt chart) analysis have a disadvantage: they will not be able to cover requirements resulting from geometry based component interaction. Simulations allow to bring the different complex views together in one model by the use of layered modeling, each of these layers reflecting thus simulation and analysis of the individual reality. In addition to the layered structure of the simulation engine, it was necessary to remain flexible during the development as well as in the modeling process. Using simulations off-the-shelf, the user will usually either not be able to realize specific needs coming from the analysis or the simulation will – because it only provides general building blocks – need quite much user effort to generate sophisticated yet understandable results.

By using the Comprehensive Airport Simulation Tool (CAST), an in-house development of the Airport Research Center [17], as a basis for a new ground handling module, software classes can be quickly and flexibly adapted while, at the same time, being powerful enough in fulfilling the needs raising from discussed requirements. As a result, the ground handling part of the sim-

ulation engine *CAST Ground Handling* has been developed within ALOHA and allows for simulation of different service arrangements of different aircraft models.

From a *user's point of view*, different aspects of the simulation itself and the simulation results can be realized by quite detailed modeling abilities and powerful object filters which only report relevant model and analysis details. By quick object instantiation, the user can handle the base components such as aircraft models, vehicles and lane segments to quickly reflect the turnaround scenario that shall be analyzed. Because every single object can be configured individually including the definition of properties, methods and processes, the simulation scenario can be developed and tested step-by-step, providing interim simulation results and thus evaluation and validation in every stage of the modeling, increasing the reliability and thus the efficiency.

From the *developer's point of view*, *CAST* provides an object oriented simulation core, which allows a capsulated and safe development. In addition, *CAST* contains a sophisticated state-of-the-art 3D rendering engine including abilities to model textured, detailed and precise geometry details. As an example, it was possible to implement an importing component to provide the detailed aircraft geometry out of PrADO, acting as an autonomous agent in the *CAST* engine (Figure 7). This conversion of the 3D PrADO geometry into the 3D *CAST* Ground Handling environment allows for ground handling simulation of different aircraft designs that have been designed and pre-evaluated with PrADO. Finally, the time and process based simulation run itself allows to define complex object interactions in advance, that is, during the modeling process itself, the user can describe what shall happen when the participating object is led into a certain state during the simulation run.

During the modeling process, *CAST* allows the user to instantiate objects of the developed classes in a simulation model, which aggregated reflects the desired scenario. Once connected and configured, the simulation runs will modify the objects' properties based on the natural classes'

behavior as well as the user's configuration. This includes realistic behavior of the participating objects – for instance, the vehicles will move along the defined lanes, reflecting tow curve behavior and loader modification (platform lifting, cargo transport, fuselage docking at predefined connection points, etc.).

Once the different simulation scenarios have been performed, *CAST* allows to extract the simulation results as well as process times and their detailed cost structure efficiently by the use of spreadsheet software.

6.3 Process Cost Calculation in Ground Handling

Process cost calculation uses an approach that allows for a better assignment and control of indirect divisions or e.g. service provider costs. This means that the costs can be imposed to their actual product or service. Relating to each single company processes, a first orientation can be found at the value chain. The company cost centers are splitting general tasks into process oriented activities. Process cost rates will then be calculated by assigning costs (that are subject to the so called cost drivers) to the process activities. The process oriented overheads (burden costs) are then imposed on the products and services with the help of the derived process cost rates [19, Chapter 5].

The process cost calculation (which is a full cost pricing method) takes only into account processes with a repetitive character. This is because the cost drivers can only be imposed on such processes. In contrast, processes with a non-repetitive character cannot be evaluated analytically. Processes with repetitive character are further subdivided into activity quantity induced and activity quantity neutral processes. The latter ones are in general calculated by being drawn up to a budget. Process cost rates (of processes with a repetitive character that are activity quantity induced) are calculated by means of the cost driver p_{CD} i.e. per definition: process costs divided by process quantity. For processes with a repetitive character that are activity quantity neutral, a fixed

amount allocation p_{const} has to be evaluated i.e. the ratio of costs of activity quantity induced and activity quantity neutral processes which is additionally multiplied by the cost driver p_{CD} [19, Chapter 5]. The total cost driver p is then the sum of both (14).

$$p = p_{CD} + p_{const} \quad (14)$$

$$C_{FEE,GND} = \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_A} [t_{i,j}(x_{ops}, \bar{k}) \cdot p_{i,j,CD} \cdot n_{i,j,RES} + p_{i,j,const}] \quad (15)$$

where

n_p	no. of individual ground handling processes involved
n_A	no. of activities of the individual ground handling process i
t_i	process time of an individual ground handling activity j within the ground handling process i that is, if applicable, a function of x_{ops} and k
x_{ops}	operational parameter such as no. of seats, no. of baggage, volume of fuel refueled, etc.
k	average rate of the operational parameter x_{ops}
$p_{i,j,CD}$	cost driver of activity j within the ground handling process i
$n_{i,j,RES}$	number of resources necessary for activity j within the ground handling process i
$p_{i,j,const}$	fixed amount allocation for activity j within the ground handling process i

The process cost calculation of ground handling has been successfully applied and demonstrated by [20]. In principal, on every process that takes part in the ground handling of aircraft, actual costs can be imposed. This means that the ground handling fee is the sum of all process and activity related costs involved in the ground handling. Thus, (15) can be stated in general for estimating the ground handling costs. The parameters x_{ops} and k can be found for the main ground handling processes out of the regression and statistical analysis of collected turnaround

data (compare Chapter 4.2). For the cost drivers, a further data analysis becomes necessary. Some data can be found in [20], other might be possible to gather from webpage's of ground support equipment manufacturers, ground handling companies, and airports.

7 Aircraft Design Assessment and Discussion

At the time of writing, the analyses of the proposed aircraft design with the help of CAST Ground Handling have not been finished (Figure 7). The method of analysis is therefore restricted to Gantt chart analysis and process oriented cost calculation according to (15).

The reduction in turnaround time has been predicted by adapting the processes of dis/embarking and off/loading of derived Gantt charts of each individual ground handling scenario. According to preliminary dis/embarking simulation results, the foldable passenger seat yields a reduction in disembarking time of 44.9 % and in embarking time of 16.6 %, both considered for a one door operation (scenario I and III due to the use of a passenger boarding bridge). The difference in embarking and disembarking is in agreement with the results obtained from the real data turnaround analysis (Figure 1). It is estimated that for a two door operation (scenario II and IV) the same percentages in reduction apply (further simulations pending). Furthermore, the cleaning time has been reduced by 1/3 due to a better accessibility. Due to simultaneous off-loading and loading of cargo, the GSE does not have to be changed from the aft to the forward cargo door and vice versa. For low cost airlines, the loose baggage has to be loaded into containers, before the container is loaded into the aircraft. This is considered as more time efficient and easier in operation (alternatively, a *container-like box* inside the cargo hold could be loaded with loose baggage either by hand due to the reduced cargo sill height or with the help of a belt loader). After loading, the container can than be slid to the correct CG position. As a consequence, no weight and balance calculations

have to be accomplished (optimal CG position could be located by weight sensors at landing gear struts) and no proportioning of baggage and freight into forward and aft cargo holds is disarranging the ground handling process. For all these reasons, it is believed that the off/loading processes are not decisive for the overall turnaround time anymore and in none of the cases part of the critical turnaround path. The reductions in turnaround time are depicted in Figure 8. The high percentage in turnaround time reduction in scenario II is because of the switching of the critical path processes. Obviously, a further reduction in turnaround time could be possible for scenarios II and IV by making use of a three-door operation (not considered due to the lack of empirical data).

The reduction in turnaround costs has been predicted with the help of cost parameters to be found in [20]. Due to a turnaround time-dependent amount of the total turnaround related costs ($\approx 70\%$) an overall reduction in costs is depicted in all scenarios (Figure 8). Scenarios I and III require crew and passenger transports from the remote apron to the terminal which rises the absolute value. For all scenarios a container loader instead of a belt loader is needed. This gives two container loaders for scenarios I and II and only one for scenarios III and IV. Due to the easier operation, only two instead of three aircraft loaders of the ground staff are necessary. For scenarios III and IV, the ground staff remains as it is due to off/loading of loose baggage into the container boxes. Although the container loaders are more expensive than the belt loaders, the overall reduction in turnaround costs is depicted due to the reduction in the number of ground handling personnel needed and their active time (e.g. cleaning).

With predicted reductions in turnaround time and costs, DOC calculations have been performed for different DOC flight missions (DOC range = 300 nm, 500 nm, and 700 nm). With an assumed daily availability of about $A_d = 16$ h, and annual availability of $A_a = 3750$ h according to [12], and *under the premise of overall aircraft masses and performance identical to the baseline*

aircraft, a total reduction of 1.3 %... 4.0 % in total DOC per seat-kilometer can be noticed. However, by implementing the concepts of foldable passenger seats and simultaneous loading and off-loading into the aircraft design, the overall benefit in DOC gets lost. This is due to the higher overall aircraft masses of the proposed aircraft design which rises almost all DOC elements in (1) and (2), but primarily as a result of a higher fuel consumption of about 9.5 %. A higher purchase price of the aircraft is also taken into consideration which is however not crucial. The relative annual utilization yields into discrete values according to (5) and (6) and is also subject to performance calculations and therefore the flight time. It can be seen that although the relative annual utilization increases by up to 19.7 %, the DOC per seat-kilometer value increases. Thus, the advantage of a better turnaround disappears due to the mass penalties of the proposed aircraft design.

Although the presented method of turnaround analyses takes a number of parameters into consideration, not all improvements could have been assessed with respect to their financial impact. An example of that are possibilities of delays due to turnaround issues which could lead into the missing of departure slots. Such situations are becoming increasingly the case at highly optimized and increased capacity airports. It is believed that by simplifying operational turnaround processes the possibility of delays subject to ground handling activities is reduced, putting the proposed shoulder wing aircraft into another spotlight. Furthermore, the potential of optimizing e.g. the fuselage has not been exhausted. Weight reductions would therefore be possible.

Due to the high influence of overall aircraft mass on the total DOC, the concept of the twin-aisle shoulder wing aircraft as depicted in Figure 6 has not been followed. A second problem that might occur with this concept is the bottleneck of the passenger boarding bridge what could nullify the benefit of the second aisle during dis/embarking for scenarios I and II. Furthermore, as the turnaround time could be reduced already by a remarkable extent, a further reduction

would be problematic in other areas than ground handling. As an example, the pilots themselves demand some time to work off all required preflight checks.

8 Summary

A short turnaround time of an aircraft is nowadays essential for an efficient and economic operation of an aircraft. Although nowadays ground handling processes are already optimized to a certain extent, new possibilities evolve by adapting the aircraft design itself, providing new conditions for turnaround processes. In principal, an improvement in ground handling can lead to an increase in aircraft utilization and/or a reduction in ground handling costs. The increase in aircraft utilization can only be noticed if the total time reduction of all turnarounds of the considered day enables the possibility of conducting another flight. A significant reduction in turnaround time can only be accomplished by adapting the processes of dis/embarking and off/loading. This is because the adaptation of only one process could shift the other process onto the critical path of the turnaround. A significant reduction in dis/embarking time can be achieved by incorporating foldable passenger seats next to the aisle, which reduces the aisle interference. For off/loading of cargo and baggage, a continuous cargo compartment is suggested that enables a simultaneous offloading or loading as well as an optimum aircraft CG positioning by an optimum container positioning in the cargo hold. Incorporating these two enhancements in an aircraft yields into a shoulder wing aircraft configuration with the engines located at the tail of the aircraft. Under the premise of masses and performance identical to an Airbus A320-like baseline aircraft a total reduction of 1.3 %... 4.0 % in total DOC per seat-kilometer can be noticed. The necessary adaptations of the aircraft yield however into an increase of overall aircraft masses due to an increase in fuselage length and the engines at the tail. The resulting higher fuel consumption rises the fuel costs which are in relation to the increase in aircraft utilization and decrease in

ground handling costs of a greater extent. For these reasons, the proposed shoulder wing aircraft design featuring a time and cost reduced turnaround results in a higher total DOC per seat-kilometer in comparison to the unchanged baseline aircraft with poor turnaround time capabilities. However, the proposed shoulder-wing aircraft configuration could reduce the possibility of delays caused by ground handling operations which has not been taken into consideration in the analysis presented.

Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support of the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) which made this work possible. The authors gratefully acknowledge the cooperation of all experts to conduct interviews and their contributions as well as the contributions from all airlines for empirical data acquisition. The first author would like to thank Axel Dengler and Sebastian Pahner from Airbus for interesting discussions and the exchange of ideas as well as Oliver Crönertz for his contributions towards ground handling cost analyses.

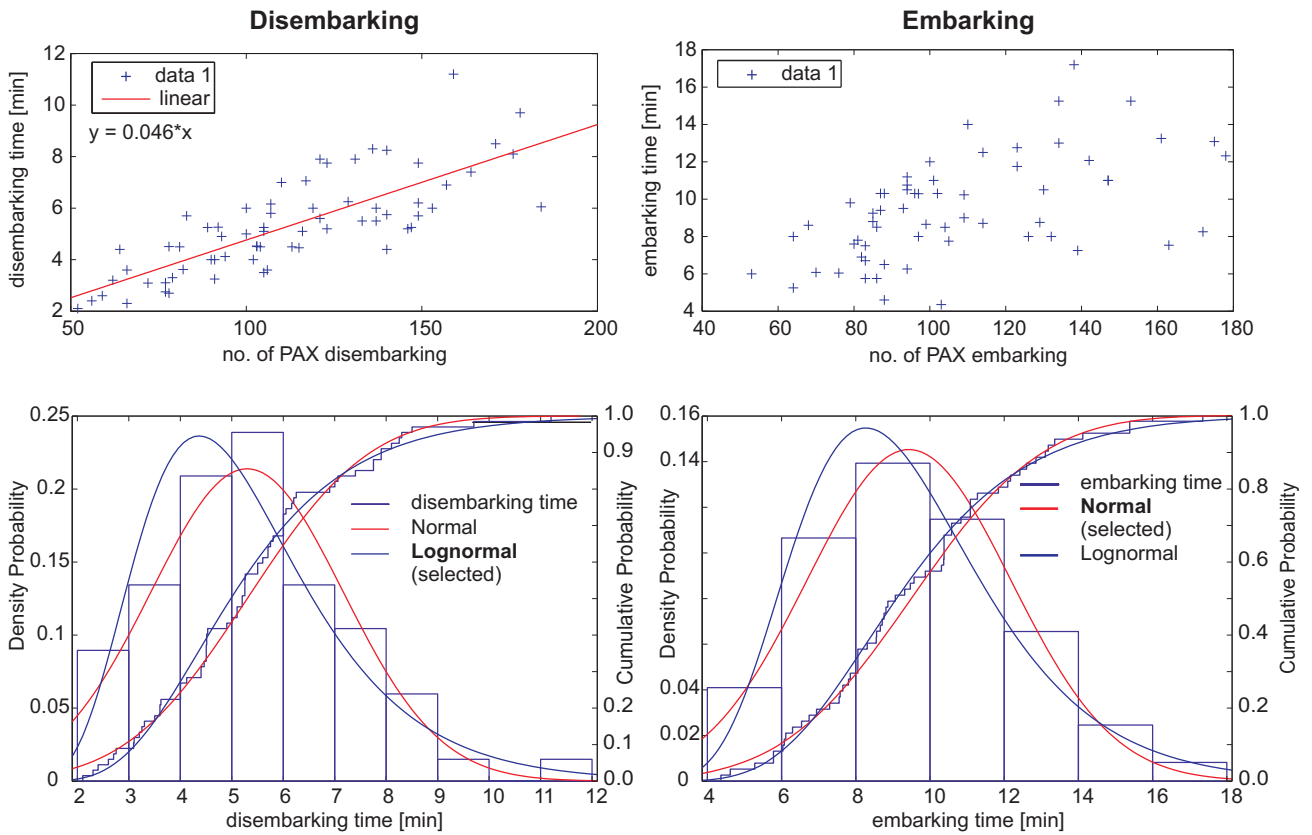
References

- [1] Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE). *European Aeronautics: A Vision for 2020*. ACARE, Brussels, 2001.
- [2] Penner J E, Lister D H, Griggs D J, et. al. *Aviation and the Global Atmosphere - Summary for Policy Makers*. IPCC International Panel on Climate Change, Geneva, 1999. URL: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/>
- [3] Collins T D. *Analysis of A380 Transport*. Department of Aerospace and Ocean Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2010. URL: <http://www.aoe.vt.edu/>
- [4] Krammer P, Binnebesel J, Scholz D. *Analysis of Interviews Performed with Ground Handling Experts*. Aero - Aircraft Design and Systems Group, Hamburg University of Applied Sciences 2010. Technical Report (ALOHA_FinalReport_Expert-Interviews_2010-03-31)

- [5] Sheahan M, Jones R. Lufthansa strike suspended, BA cabin crew join fray. In: *Reuters Feb 22nd 2010*. URL: <http://www.reuters.com/>
- [6] Gittell J H. *The Southwest Airlines Way*. McGraw-Hill, 2005. ISBN: 0-07-139683-7
- [7] Krammer P, Scholz D. ALOHA - Aircraft Design for Low-Cost Ground Handling. In: *mobiles*, 35 (2009/2010). HAW Hamburg, Department of Automotive and Aeronautical Engineering, pp 60-63, 2009. URL: <http://ALOHA.ProfScholz.de>
- [8] Köhler W, Schachtel G, Voleske P. *Biostatistik*. 4th edition, Springer, 2007. ISBN: 978-3-540-37710-8
- [9] Heinze W. *Ein Beitrag zur quantitativen Analyse der technischen und wirtschaftlichen Auslegungsgrenzen verschiedener Flugzeugkonzepte für den Transport großer Nutzlasten*. ZLR Report 94-01, Technical Universität Braunschweig, 1994.
- [10] Heinze W, Österheld C M, Horst P. Multidisziplinäres Flugzeugentwurfverfahren PrADO – Programmwurf und Anwendung im Rahmen von Flugzeugkonzeptstudien. In: *German Aerospace Congress 2001*, Hamburg, DGLR-2001-194, 2001.
- [11] Werner-Westphal C, Heinze W, Horst P. Multidisciplinary Integrated Preliminary Design Applied to Future Green Aircraft Configurations. In: *45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, Reno, Nevada, AIAA 2007-655, 2007.
- [12] Association of European Airlines. *Short-Medium Range Aircraft AEA Requirements*. Brussels, G(T)5656, 1989.
- [13] Schumacher A. *Optimierung mechanischer Strukturen*. Springer, 2005. ISBN: 3-540-21887-4
- [14] Airbus S.A.S. *A320 Airplane Characteristics for Airport Planning AC*. Blagnac Cedex, France, Airbus S.A.S., Issue: Jul 1995, Ref: D - AC
- [15] AIDA Development GmbH. *Foldable Passenger Seat: Feasibility, Design and Mock Up*. Corporate Information. URL: <http://www.aida-development.de> (2010-06-30)
- [16] European Union. *European Research Project Clean Sky JTI*. URL: <http://www.cleansky.eu/> (2010-06-30)
- [17] Airport Research Center. *CAST Comprehensive Airport Simulation Tool - CAST Overview*. Aachen, 2010, URL: <http://www.airport-consultants.com/> (2010-03-15)
- [18] U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics. *Consumer Price Index – All Urban Consumers, U.S. City Average*. Washington, 2010, URL: <ftp://ftp.bls.gov/pub/special.requests/cpi/cpi.txt> (2010-03-22).
- [19] Beyer H T. *Online-Lehrbuch – Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. Erlangen, University of Erlangen, Institut for Economics, Lecture notes, 2004, URL: <http://www.economics.phil.uni-erlangen.de/bwl/> (2010-03-28)
- [20] Crönertz O. *Prozessorientierte Kalkulation von Flughafenleistungen. Schwerpunkt: Bodenabfertigungsdienste von Passagierflugzeugen*. Saarbrücken, VDM Verlag Dr. Müller, 2008, ISBN: 978-3-8364-8460-2
- [21] Krammer P, Rico Sánchez D, Scholz D. *Cost Estimation and Statistical Analysis of Ground Handling Process*. Aero - Aircraft Design and Systems Group, Hamburg University of Applied Sciences, 2010. Technical Report (ALOHA_FinalReport_Cost_and_Statistical_Analysis_2010-03-31.pdf)
- [22] Sanz de Vicente S. *Ground Handling Simulation with CAST*. Aero - Aircraft Design and Systems Group, Hamburg University of Applied Sciences, Master Thesis, 2010. Publication pending

Copyright Statement

The authors confirm that they, and/or their company or organization, hold copyright on all of the original material included in this paper. The authors also confirm that they have obtained permission, from the copyright holder of any third party material included in this paper, to publish it as part of their paper. The authors confirm that they give permission, or have obtained permission from the copyright holder of this paper, for the publication and distribution of this paper as part of the ICAS2010 proceedings or as individual off-prints from the proceedings.



Pearson product-moment correlation coefficients (PMCC):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
airline business model	1	1.000	0.163	-0.177	-0.175	-0.494	0.242	0.828	-0.082	-0.348	-0.286	-0.485	-0.153	-0.072	-0.078	0.047
A/C model	2		1.000	0.170	0.286	0.627	0.423	0.211	-0.063	0.319	0.326	-0.424	0.039	0.146	0.527	0.397
previous stage length	3			1.000	0.689	0.348	-0.059	-0.269	0.351	0.317	0.221	0.112	-0.109	-0.045	0.340	N/A
subsequent stage length	4				1.000	0.425	-0.009	-0.246	0.404	0.306	0.364	0.034	-0.161	-0.068	N/A	-0.075
no. of A/C seats	5					1.000	-0.163	-0.541	0.301	0.749	0.666	0.185	-0.054	0.053	0.512	0.222
aisle width	6						1.000	0.349	-0.419	-0.404	-0.448	-0.575	0.332	0.233	0.083	0.130
seat pitch	7							1.000	-0.382	-0.447	-0.356	-0.478	-0.097	-0.070	-0.111	0.085
cabin class layout	8								1.000	0.335	0.262	0.293	-0.297	-0.159	-0.033	-0.283
no. of disembarcking PAX	9									1.000	0.593	0.408	-0.274	-0.250	0.568	N/A
no. of embarking PAX	10										1.000	0.237	-0.221	-0.120	N/A	0.296
dis/embarking thr. 1/2 doors	11											1.000	-0.414	-0.544	-0.238	-0.354
time for positioning GSE	12												1.000	0.588	0.115	N/A
time for removing GSE	13													1.000	N/A	0.265
disembarcking time	14														1.000	0.308
embarking time	15															1.000

Fig. 1 Example results of turnaround process analyses [21]: disembarcking (left) versus embarking (right) with analyses of linear regression (top), probability density distribution (middle) and PMCC (bottom)

AIRCRAFT DESIGN FOR LOW COST GROUND HANDLING - THE FINAL RESULTS OF THE ALOHA PROJECT

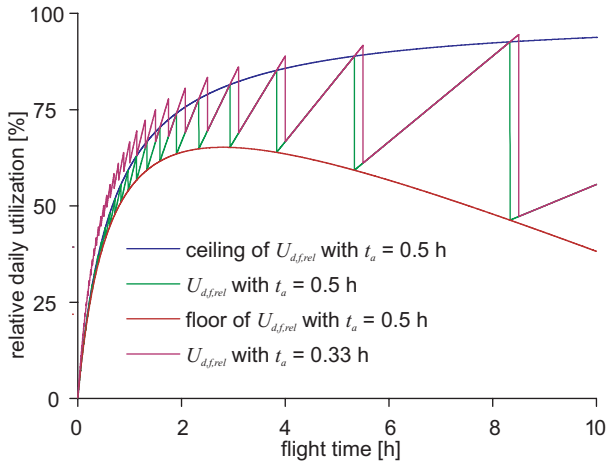


Fig. 2 $U_{d,f,rel}$ over t_f at different t_a with $A_d = 18$ h, $t_t = 10$ min

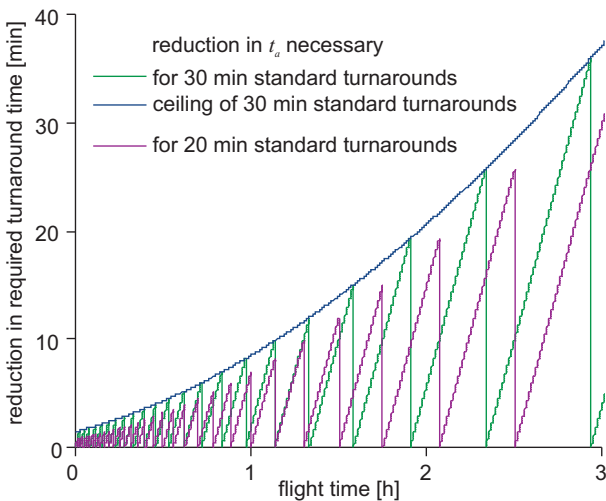


Fig. 3 Necessary reduction in t_a as a function of t_f to increase $U_{d,f}$ with $A_d = 18$ h, $t_t = 10$ min

Table 1 Results of A320 redesign to validate the design method of PrADO

Parameter	Airbus[14]	PrADO	Dev.
operating empty mass	41244 kg	41966 kg	2%
fuel mass (design range = 3273 km)	13157 kg	13401 kg	2%
max. take-off mass	73500 kg	74466 kg	1%
cruise lift-to-drag ratio	-	18.1	-
required take-off field length FAR	2090 m	2371 m	13%
required landing field length FAR	1750 m	1603 m	-8%
approach speed	72 m/s	82 m/s	13%

Table 2 Requirements for aircraft design proposals (including chosen values that are subject to the validation of the baseline aircraft)

Parameter	Value
transport mission	
- design range	3273 km
- payload :	19099 kg
- passenger (BC / EC)	12 / 138
- cargo mass	5674 kg
range for flight with max. fuel	5277 km
max. acceptable take-off field length (MTOW, 0 km, ISA)	< 2400 m
max. acceptable landing field length (MLW, 0 km, ISA)	< 1650 m
max. acceptable approach speed (MLW, 0 km, ISA)	< 82 m/s
fuel reserves	
- range for diversion (reserve fuel) FAR Part 121 (domestic)	370.4 km
- loiter FAR Part 121 (domestic)	0.5 h
freight density	
- baggage	200 kg/m ³
- cargo	180 kg/m ³

Table 3 Results of investigated aircraft designs

Parameter	Shoulder Wing - single aisle	Shoulder Wing - twin aisle
fuselage geometry		
- length	40.6 m	40.6 m
- max. width/height	3.95 m/4.14 m	4.43 m/4.14 m
wing geometry		
- reference area	130 m ²	133 m ²
- aspect ratio	10.04	10.04
static thrust	2 x 121 kN	2 x 121 kN
cruise (begin)		
- altitude	11.28 km	11.28 km
- Mach number	0.75	0.75
- trim angle	-9.5°... 1.6°	-10.7°... 0.6°
- L/D (trimmed)	18.37	18.73
oper. empty mass	48295 kg	50009 kg
- fuselage	11746 kg	12516 kg
- wing	10153 kg	10561 kg
- propulsion	7955 kg	7955 kg
fuel mass (reference mission: 3273 km), incl. reserves	13401 kg	13401 kg
max. take-off mass	80795 kg	82509 kg
max. landing mass	71011 kg	72725 kg
max. loadable fuel mass	21212 kg	24897 kg
FAR take-off field length	2356 m	2400 m
FAR landing field length	1627 m	1631 m
approach speed	81.00 m/s	81.88 m/s

design variables:

variable	min	max
AR	6	15
λ	0.2	1.0
S_{ref}	80	160

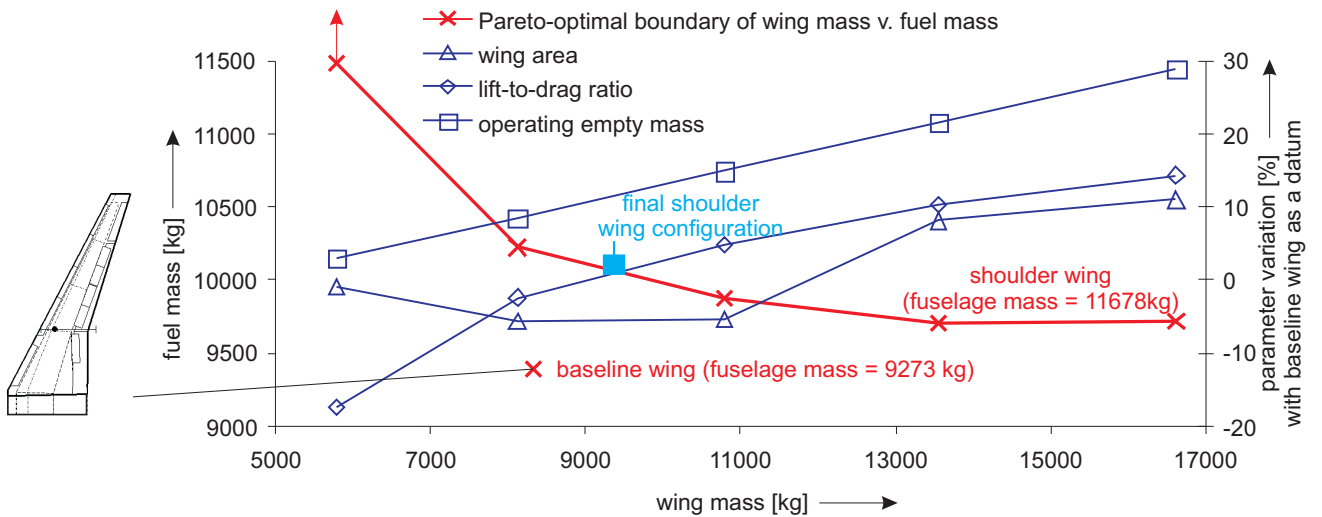
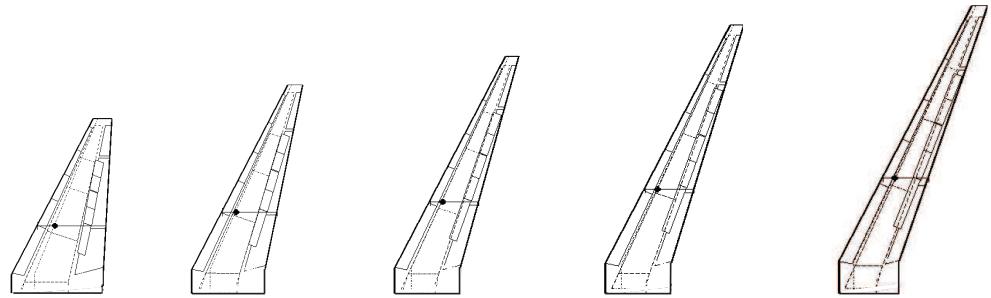


Fig. 4 Pareto optimal boundary of min. wing mass v. min. fuel mass of the shoulder wing (red curve) vs. the baseline wing (red cross); note that the top left point could even be at higher fuel masses because the optimization at this point was restricted by the preselected aspect ratio lower limit of $AR = 6$.

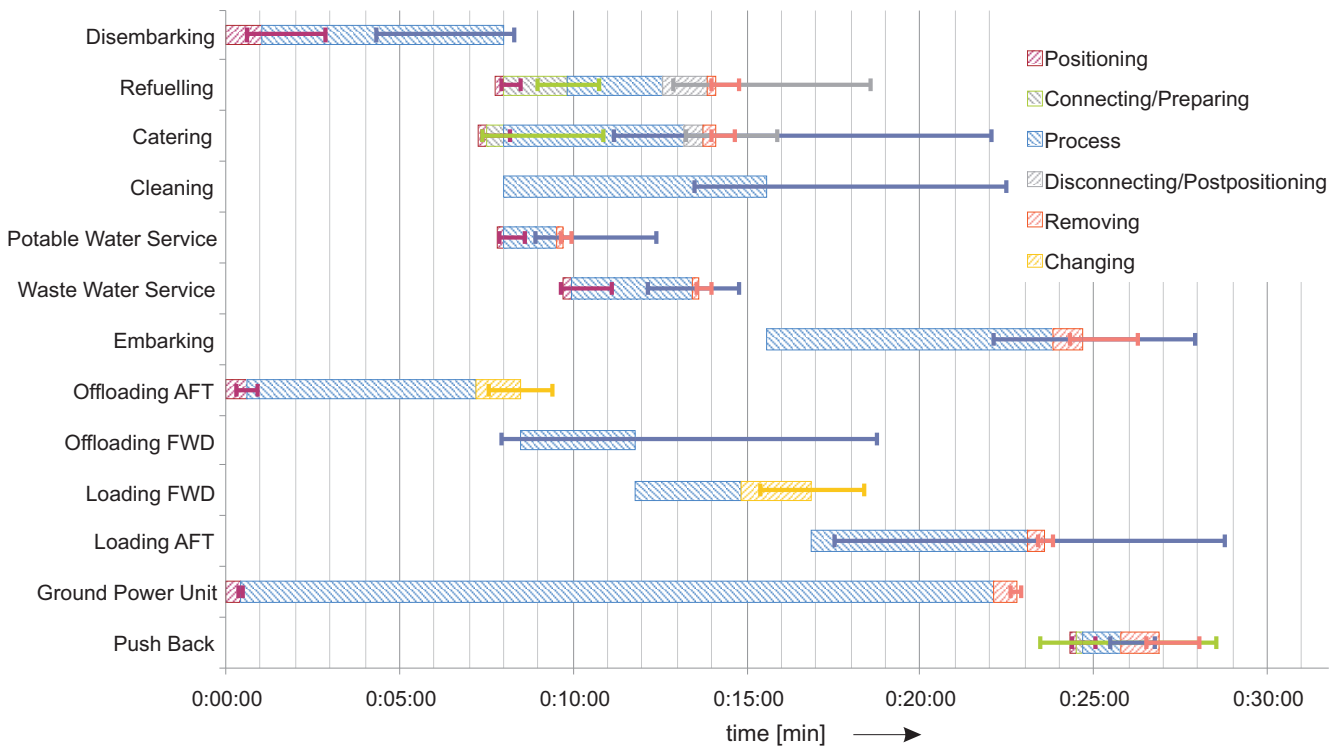


Fig. 5 Turnaround Gantt chart of ground handling scenario I of the baseline aircraft [22]: process bars scaled according to regression analyses, lines represent standard deviations out of statistical evaluations

AIRCRAFT DESIGN FOR LOW COST GROUND HANDLING - THE FINAL RESULTS OF THE ALOHA PROJECT

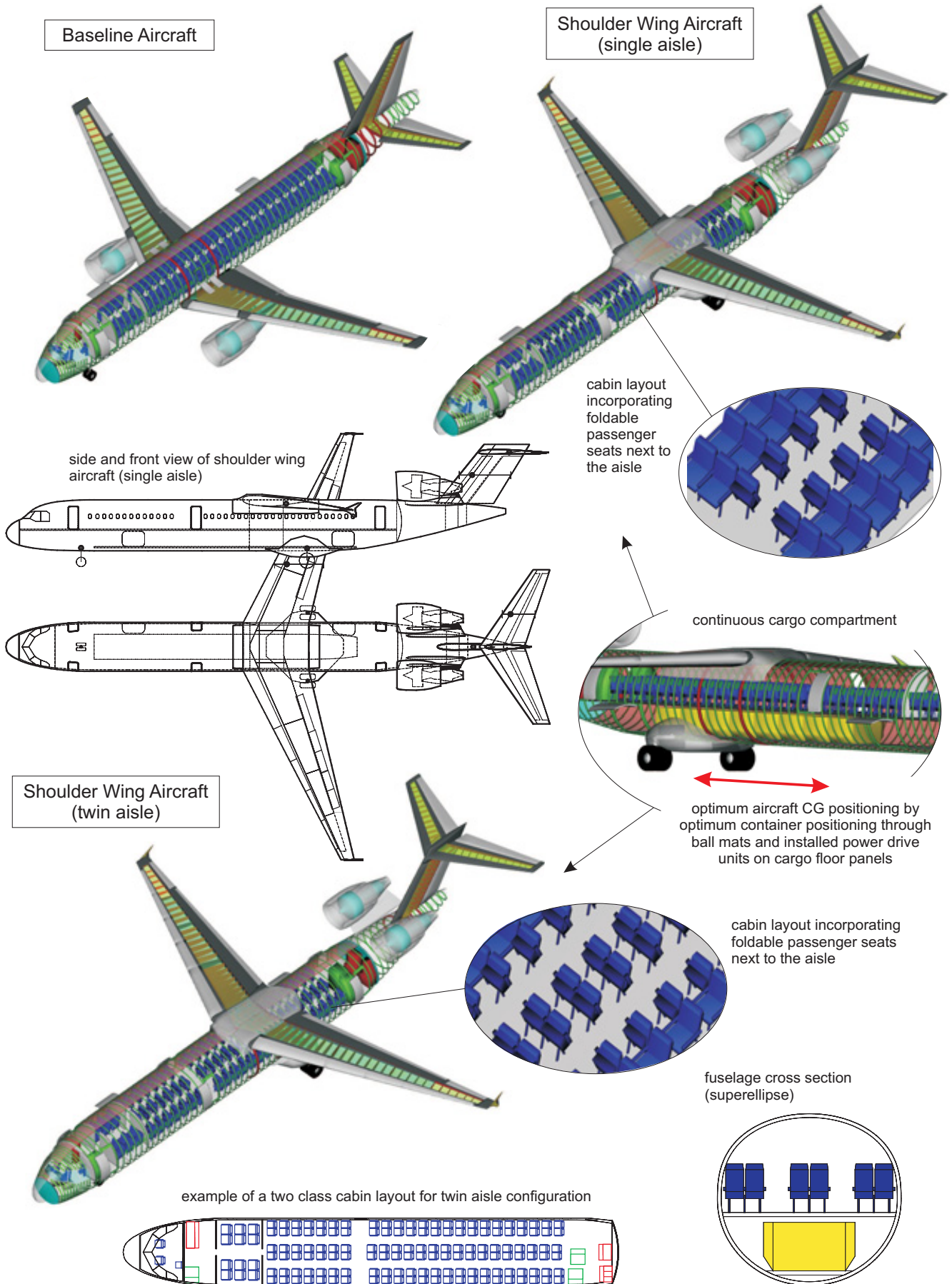


Fig. 6 PrADO 3D visualization using Tecplot of baseline aircraft (top left), single aisle shoulder wing aircraft (top right), and twin aisle shoulder wing aircraft (not further investigated in terms of ground handling).

Table 4 Definition of ground handling scenarios: conventional vs. low cost airline business model / terminal vs. remote apron position

Scenario	I	II	III	IV
airline business model	conventional		low cost	
no. of passengers	67 % passenger load factor		83 % passenger load factor	
fuel	according to DOC mission (range = 500 nm)			
catering	two catering trucks: 1 AFT, 1 FWD		one catering truck: 1 AFT	
potable water service	100 l	n/a	100 l	n/a
waster water service	80 l	n/a	80 l	n/a
parking position	terminal	remote apron	terminal	remote apron
cargo (type and amount)	4 ULDs (3 AFT, 1 FWD)	4 ULDs (3 AFT, 1 FWD)	100 bags (bulk cargo)	100 bags (bulk cargo)
ground power	from PBB ¹	from GPU	from PBB ¹	from GPU
cleaning	yes	no	yes	no
push back	towbarless	n/a (remote apron)	towbar	n/a (remote apron)

¹ PBB = passenger boarding bridge

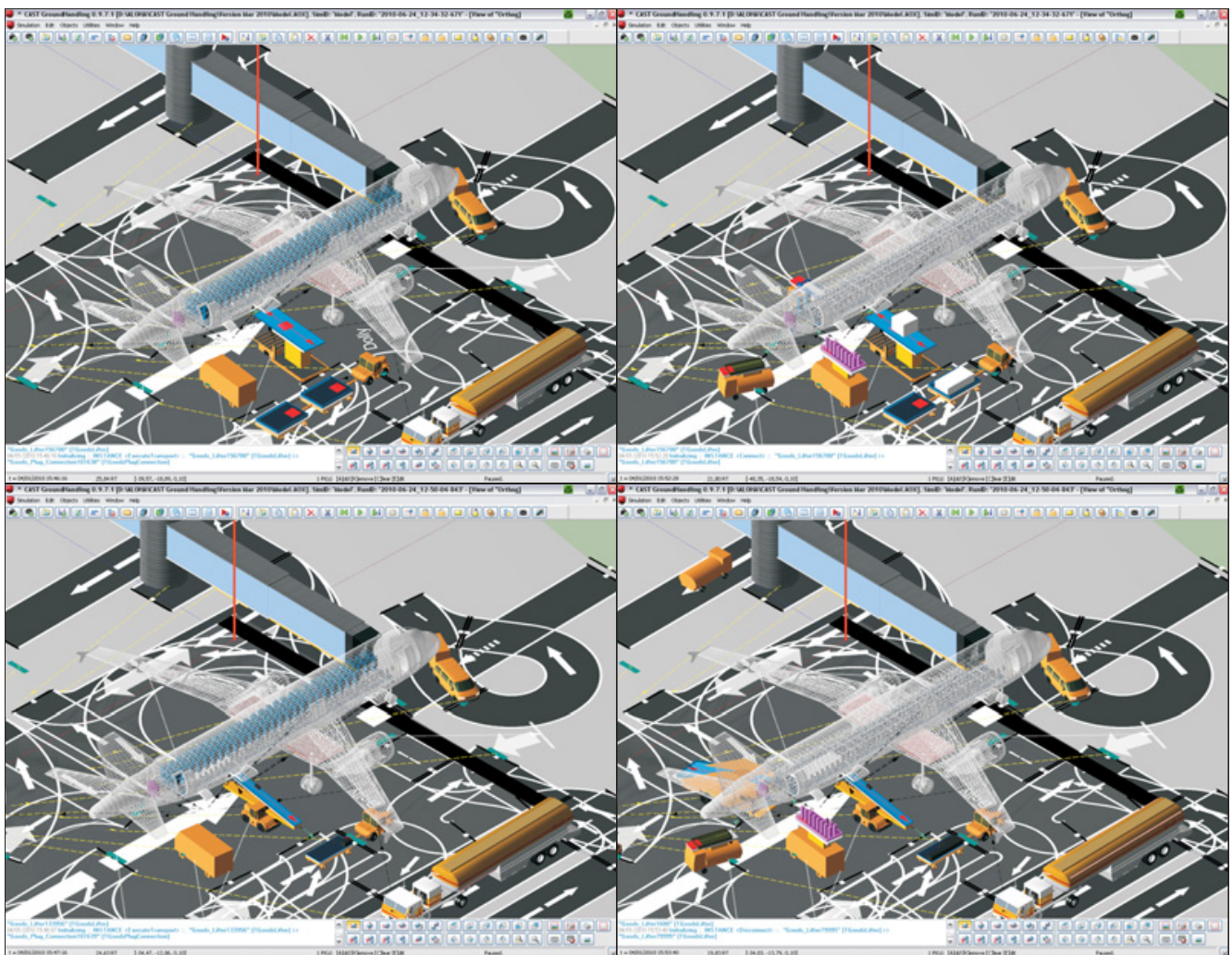
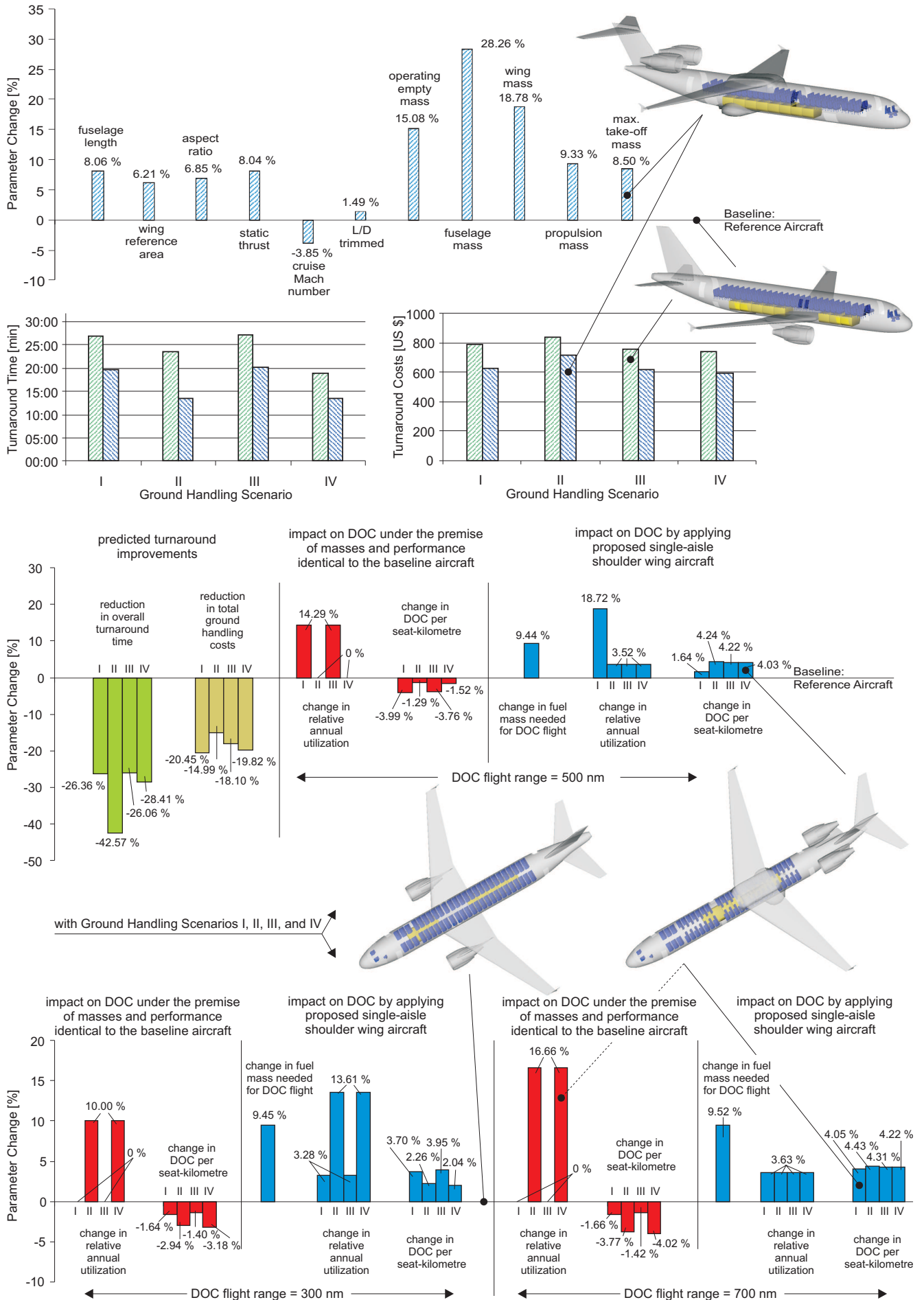


Fig. 7 Turnaround simulation with CAST Ground Handling at different time stamps of the baseline aircraft (3D geometry out of PRADO): ground handling scenario I at the top (left 04:45, right 10:57), scenario III at the bottom (left 05:45, right 12:09); left: PAX disembarking; right: all PAX disembarked. Turnaround simulation of adapted aircraft designs is still in progress.

AIRCRAFT DESIGN FOR LOW COST GROUND HANDLING - THE FINAL RESULTS OF THE ALOHA PROJECT



with basic DOC values of fuel: 0.68 US \$ / kg, landing fee: 2463 US \$, navigation fee: 781 US \$, daily availability 16 h, annual availability 3750 h for all calculations

Fig. 8 Assessment of turnaround improvements in general and by applying the proposed aircraft design