



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Projekt

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Analyse von Ladevorgängen als Bestandteil der Flugzeugabfertigung

Verfasser: Hartwig Ottermann

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Abgabedatum: 31.05.2012

Kurzreferat

Diese Arbeit stellt einen Leitfaden zur Optimierung von Parametern und Eigenschaften dar, die im Flugzeugentwurf im Hinblick auf die Be- und Entladbarkeit von Verkehrsflugzeugen berücksichtigt werden sollten. Ein Schwerpunkt der folgenden Untersuchungen ist die Optimierung der Schwellenhöhe der Ladeluke von Flugzeugen, die für Handbeladung vorgesehen sind. Dadurch kann die Be- und Entladung unabhängig von vorhandenem Equipment durchgeführt werden. Hierdurch lassen sich effektiv Personen und Kosten einsparen. Außerdem beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit den Höhen von Frachträumen, welche sich auf dem Hauptdeck vor oder hinter der Passagierkabine oder im Unterdeck befinden. Zudem gibt die Arbeit Hinweise zu der Gestaltung von Frachträumen. Dabei wird u.a. auf die Eigenschaften des Frachtraumbodens und Befestigungsmöglichkeiten für besondere Ladungsstücke eingegangen. In diesem Zusammenhang werden auch die Längen der Frachträume, insbesondere im Hinblick auf die Lage der Ladeluke, analysiert. Wird die Ladeluke in der Frachtraummitte installiert, lässt sich ebenfalls Personal und Zeit einsparen. Des Weiteren behandelt die nachfolgende Arbeit die operationellen Unterschiede von Luftfahrtunternehmensarten aus Sicht der Flugzeugabfertigung. Zuletzt finden eine Analyse verschiedener Verfahren der Containerbeladung mit ULD und ein Vergleich zwischen Containerbeladung und Handbeladung statt.





DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE AND AERONAUTICAL ENGINEERING

Analyse von Ladevorgängen als Bestandteil der Flugzeugabfertigung

Aufgabenstellung zum *Projekt*

Hintergrund

Dem ständig wachsenden Markt der zivilen Luftfahrt sind durch die Kapazitätsgrenzen der Flughäfen natürliche Grenzen gesetzt. Durch eine intelligente Optimierung bestehender Systeme und Prozesse ist es möglich, diese Wachstumsgrenzen zu verschieben. Ein besonderes Augenmerk liegt in dieser Arbeit auf der Flugzeugabfertigung (ground handling) gelegt und auf die Reduzierung der Turnaround Zeit. Neben den Ein- und Aussteigevorgängen (boarding und deboarding), dem Tanken und vielen weiteren Prozessen wird diese Zeit auch für die Ladevorgänge (Entladen und Beladen) des Fluggeräts genutzt. Die Flugzeugcharakteristiken, wie sie sich aus dem Flugzeugentwurf ergeben, haben dabei einen wichtigen Einfluss auf die Prozesse der Abfertigung.

Aufgabe

Im Alltag des internationalen Flughafens *Hamburg Airport* ist die Flugzeugabfertigung mit dem Schwerpunkt Gepäck/Frachtabfertigung von Single-Aisle Flugzeugen zu analysieren. Dabei sollen folgende Punkte bearbeitet werden.

- Vergleich von ULD-Beladung zu Bulk-Beladung
- Lage der Ladeluke und Ausmaße des Laderaums
- Flugzeug spezifische Besonderheiten beim Bodenabfertigungsprozess
- Unterschiede bei Abfertigung von Charter- zu Linienverkehr
- Zusammenfassung und Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse sollen in einem Bericht dokumentiert werden. Es sind die DIN-Normen zur Erstellung technisch-wissenschaftlicher Berichte zu beachten.

Inhalt

	Seite
Kurzreferat	2
Verzeichnis der Bilder	6
Verzeichnis der Tabellen	8
Liste der Symbole.....	9
Liste der Abkürzungen	10
Verzeichnis der Begriffe und Definitionen.....	11
1 Einleitung.....	12
1.1 Motivation.....	12
1.2 Begriffsdefinition	13
1.3 Ziel der Arbeit	13
1.4 Aufbau der Arbeit.....	14
2 Vergleich verschiedener Luftverkehrsunternehmensarten	15
2.1 Flag Carrier	15
2.2 Low-Cost Carrier	16
2.3 Charter Carrier	17
2.4 Zusammenfassung und Vergleich	18
3 Die Flugzeugabfertigung	19
4 Schwellenhöhe der Ladeluke	32
4.1 Einsatzhöhe Förderband	32
4.2 Beladung	35
4.3 Entladung	36
4.4 Auswertung	36
5 Frachtraum.....	40
5.1 Grundlagen.....	40
5.2 Geometrie des Frachtraums	43
5.3 Frachtraumhöhe	45
5.4 Länge des Frachtraums	56
5.5 Bodenbeschaffenheit des Frachtraums	58
5.6 Besondere Anforderungen an den Frachtraum	60
6 Flugzeugbe- und Entladung durch ULD	64
6.1 Arten von ULD	64
6.2 Methoden der Containerbeladung	66
6.3 Containerbeladung vs. Handbeladung.....	69

7	Zusammenfassung	72
8	Schlussbemerkung	73
	Literaturverzeichnis	74
	Anhang A	80

Verzeichnis der Bilder

Bild 3.1	Abfertigungslageplan Airbus A320.....	19
Bild 3.2	Flugzeugschlepper mit Schleppstange	20
Bild 3.3	Flugzeugschlepper (Tow Bar Less).....	20
Bild 3.4	Bodenstromgerät im Einsatz	21
Bild 3.5	Airstarter im Einsatz.....	21
Bild 3.6	Fluggastbrücke an der vorderen Tür	22
Bild 3.7	Fluggasttreppe an der Hinteren Tür.....	22
Bild 3.8	Catering-Fahrzeug an der vorderen Service Tür.....	23
Bild 3.9	Hubtransporter an der Ladeluke eines Airbus A320.....	23
Bild 3.10	Dolly zum Transportieren von ULD	24
Bild 3.11	Zugmaschine	24
Bild 3.12	Förderband an der hinteren Ladeluke.....	25
Bild 3.13	Trolleys für den Transport von losen Ladungsstücken	25
Bild 3.14	Tankfahrzeug	26
Bild 3.15	Pumpenfahrzeug bei der Betankung.....	26
Bild 3.16	Klimagerät zur Versorgung mit konditionierter Luft.....	27
Bild 3.17	Frischwasserservicewagen mit Arbeitsbühne	27
Bild 3.18	Fäkalienservicewagen mit Arbeitsbühne	28
Bild 3.19	Abfertigungszeitplan eines Airbus A320.....	29
Bild 3.20	Abfertigungslageplan Airbus A340.....	30
Bild 3.21	Abfertigungszeitplan eines Airbus A340.....	30
Bild 4.1	Schwellenhöhe der Ladeluken am Beispiel Airbus A320	32
Bild 4.2	Diagramm zur Bestimmung der Erreichbarkeit	37
Bild 4.3	Diagramm zur Ermittlung des Erreichbarkeitsfaktors.....	39
Bild 5.1	Frachträume einer Boeing B737	40
Bild 5.2	Frachträume der ATR-42 und ATR-72	40
Bild 5.3	Overhead Stowage Compartments im Airbus A320	41
Bild 5.4	Frachtraum im Hauptdeck eines Airbus A330-200F	42
Bild 5.5	Großraumfrachtflugzeug Antonow AN-124.....	42
Bild 5.6	Rumpfquerschnitt Airbus A380	43
Bild 5.7	Rumpfquerschnitt Airbus A340	43
Bild 5.8	Rumpfquerschnitt Boeing B717.....	43
Bild 5.9	Rumpfquerschnitt Embraer EMJ135	43
Bild 5.10	Frachtraum für Handgepäck bei der Bombardier CRJ900	44
Bild 5.11	Bombardier CRJ900 mit straffiert dargestelltem Frachtraum	45
Bild 5.12	Schnitt durch Frachtraum mit Bemaßung.....	46
Bild 5.13	Isometrische Ansicht und Grundriss des Frachtraums	46
Bild 5.14	Trennnetz in der Mitte des Frachtraums.....	46
Bild 5.15	Seitenansicht Boeing B737	51
Bild 5.16	Schnitt durch Frachtraum mit Bemaßung.....	52

Bild 5.17	Bereich der Ladeluke der Boeing B737	52
Bild 5.18	Diagramm zur Ermittlung des Erreichbarkeitsfaktors.....	55
Bild 5.19	Frachtraum Airbus A320	58
Bild 5.20	Frachtraum Boeing B737.....	58
Bild 5.21	Frachtraum Embraer E-Jet.....	58
Bild 5.22	Frachtraum Boeing B717.....	58
Bild 5.23	Points, wie sie auch im Airbus A320 verbaut sind	63
Bild 6.1	PMC-Palette für Luftfracht.....	64
Bild 6.2	AKE-Container für Gepäck oder Fracht.....	65
Bild 6.3	AKH-Container für Gepäck oder Fracht	65
Bild 6.4	Hubbühne an vorderer Ladeluke eines Airbus A340	66
Bild 6.5	LWK zum Transportieren von ULD	67
Bild 6.6	Draufsicht auf die Beladung von UPS-Frachtflugzeugen	68
Bild 6.7	Beladung eines UPS-Frachtflugzeugs	68
Bild 6.8	Transporter für ULD.....	69
Bild 6.9	Locks zum Fixieren von ULD	70

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 4.1	Schwellenhöhe von Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen.....	34
Tabelle 4.2	Wertetabelle zum Diagramm in Bild 4.2	37
Tabelle 4.3	Wertetabelle zur Ermittlung der Erreichbarkeitsfaktoren.....	39
Tabelle 5.1	Frachtraumhöhen von Großraumflugzeugen	49
Tabelle 5.2	Frachtraumhöhen von ULD-fähigen Standardrumpfflugzeugen	49
Tabelle 5.3	Höhen von Unterdeckfrachträumen mit Handbeladung	50
Tabelle 5.4	Wertetabelle zur Ermittlung der Erreichbarkeitsfaktoren.....	55
Tabelle 5.5	Maximale Distanz zur Ladeluke	57
Tabelle 5.6	Maße der Ladeluken von Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen	62

Liste der Symbole

h	Höhe
n	Anzahl
$()_S$	Schwelle
$()_T$	Trolley

Liste der Abkürzungen

A	Airbus
AKE	IATA-ID-Code für einen LD3 Container
AKH	IATA-ID-Code für einen LD3-45W Container
An	Antonow
APM	Airport Planning Manual
APU	Auxiliary Power Unit
ATR	Avions de Transport Régional
B	Boeing
BAe	British Aerospace
COG	Center of Gravity
CRJ	Bombardier Canadair Regional Jet
DC	Douglas
DG	Dangerous Goods
DGR	Dangerous Goods Regulations
DHC	de Havilland Canada
DIN	Deutsches Institut für Normung
Do	Dornier
E	Embraer
ERJ	Embraer Regional Jet
F	Fokker
FC	Erste Klasse Gepäck
GPU	Ground Power Unit
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
ID	Identifikator
LC	Lokal Gepäck
LD	Load Device
LKW	Lastkraftwagen
MD	McDonnell Douglas
PMC	IATA-ID-Code für eine Palette
RJ	Regional Jet
TB	Transfer Gepäck
Tu	Tupolew
ULD	Unit Load Device
UPS	United Parcel Service
URL	Universal Resource Locator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WWW	World Wide Web

Verzeichnis der Begriffe und Definitionen

Containerbeladung

Be- und Entladung von Flugzeugen mit Standardcontainern bzw. Paletten. Gegenteil von Handbeladung.

Handbeladung

Be- und Entladung von Flugzeugen durch manuelles Laden der Ladungsstücke mit Hand. Gegenteil von Containerbeladung.

Lader

Geläufige Bezeichnung für Mitarbeiter der Bodenverkehrsdienste. Insbesondere im Bereich der Be- und Entladung von Flugzeugen tätig.

Ramp Agent

„Bezeichnung für den Mitarbeiter einer → Luftverkehrsgesellschaft oder eines Flughafenbetreibers dessen Aufgabe es ist, die Be- und Entladung sowie die Ver- und Entsorgung eines Flugzeugs auf der → Ramp zu organisieren und zu überwachen.“
(Klußmann 2007)

Turnaround

„Bezeichnet die Aktivitäten des → Bodenabfertigungsdienst, die an einem Flugzeug durchgeführt werden, das unter einer bestimmten Flugnummer landet und zu seiner → Parkposition rollt und unter einer anderen Flugnummer von dieser Parkposition aus wieder abfliegt. Die Zeit, in der eine komplette Abfertigung erfolgt, wird als Turn-around-Zeit (auch Wendezeit) bezeichnet.“ (Klußmann 2007)

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Luftfahrtmarkt hat insbesondere in den letzten zwanzig Jahren einen starken Wandel durchlaufen. Steigende Rohölpreise und die stärker werdende Konkurrenz aus dem Segment der Low-Cost Carrier zwingen die großen Luftverkehrsunternehmen, wie die Lufthansa, Air France oder British Airways, zu neuen Wegen. Berichte von Fusionen oder Sparprogrammen in der Luftfahrtbranche sind häufig den Medien zu entnehmen. Die Luftfahrtunternehmen sehen sich dazu gezwungen, effektiver und günstiger zu operieren.

Dies führt auch bei den Flugzeugherstellern zu Veränderungen. Der Markt benötigt neue, effizientere Flugzeuge. Airbus und Boeing haben unlängst mit neuen Versionen ihrer Klassiker reagiert, der A320Neo und die B737Max. Diese Flugzeuge basieren allerdings auf Flugzeugmodellen aus den sechziger (Boeing) bzw. den achtziger Jahren (Airbus). Zu dieser Zeit war der Begriff Low-Cost Carrier noch weitestgehend unbekannt.

Nicht nur der effizientere Umgang mit Treibstoff, sondern auch das Senken der gesamten Betriebskosten ist erforderlich um Wettbewerbsfähig zu bleiben. Ein wesentlicher Punkt hierfür ist die Steigerung der Auslastung der Flugzeuge, so dass mehr Flüge an einem Tag durchgeführt werden können. Dies erfordert die Optimierung der Flugzeugabfertigung. Nur durch schneller durchgeführte Turnarounds ist es möglich, diese zusätzlichen Flüge durchzuführen. Des Weiteren müssen auch die Kosten der Flugzeugabfertigung gesenkt werden, die ebenfalls die direkten Betriebskosten der Luftfahrtunternehmen beeinflussen.

Ein weiterer Bedarf zur Optimierung der Flugzeugabfertigung besteht seitens der Flughäfen. Insbesondere im europäischen Raum sind bald die Kapazitätsgrenzen der Flughäfen erreicht. Hinzu kommen die derzeit in den Medien sehr präsente Diskussion über Nachtflugverbote und der zunehmende Widerstand der Bevölkerung gegen den Ausbau von Flughäfen. Durch eine intelligente Verbesserung der Abläufe am Boden könnten die Kapazitätsgrenzen weiter ausgereizt werden.

Wesentlicher Bestandteil der Flugzeugabfertigung sind die Ladevorgänge. Die Randbedingungen der Be- und Entladung von Flugzeugen haben sich in den letzten vierzig Jahren nur marginal verändert. Mehrere Flugzeughersteller haben ab ca. 1970 Großraumflugzeuge angeboten. Diese waren und sind noch heute für den Transport von Containern und Paletten (Unit Load Device, ULD) geeignet. Erst ab 1987 gab es diese Möglichkeit mit der Einführung des Airbus A320 auch bei den Standardrumpfflugzeugen. Bis auf die Flugzeuge der Airbus A320-Familie und die relativ unbedeutende Tupolew Tu204/214 sind alle anderen Standardrumpf- und Regionalflugzeuge für eine Be- und Entladung von Hand vorgesehen.

Es besteht daher Handlungsbedarf. Durch eine Optimierung der Parameter, welche die Flugzeugabfertigung beeinflussen, ist das Erreichen einer Effizienzsteigerung bezüglich der Turnaround Zeit und der Abfertigungskosten möglich.

1.2 Begriffsdefinition

Heinrich Mensen definiert die Flugzeugabfertigung in seinem Werk (**Mensen 2007**) wie folgt:

Unter verkehrlicher Abfertigung sind Dienstleistungen des Flugplatzbetreibers oder von Drittfirmen zu verstehen, die den Transport von Personen, Gütern und Post zwischen dem Terminal und dem Luftfahrzeug (Flugzeug) unterstützen.

Weiterhin schreibt er:

Unter betrieblicher Abfertigung versteht man alle Dienste des Flugplatzbetreibers, der Luftverkehrsgesellschaften oder von Drittfirmen, die dazu dienen, die Flugzeuge (Luftfahrzeuge) für eine Flugaufgabe, einschließlich der erforderlichen Ver- und Entsorgung, vorzubereiten.

Zu der Flugzeugabfertigung zählen im Einzelnen die Aufgaben (nach **Mensen 2007**):

- Administrative Abfertigung: u.a. Verwaltung, Steuerung und Überwachung der Abfertigung
- Fluggastabfertigung: u.a. Kontrolle und Betreuung der Passagiere
- Gepäckabfertigung: u.a. Kontrolle und Sortierung
- Fracht- und Postabfertigung: u.a. Kontrolle und Behandlung der Transportpapiere
- Vorfelddienste: u.a. Be- und Entladen der Flugzeuge (Gepäck, Fracht und Post), Bewegen der Flugzeuge und Catering
- Reinigungsdienste: u.a. Frischwasserservice, Fäkalienservice und Kabinenreinigung
- Betankungsdienste: u.a. Be- und Enttanken der Flugzeuge
- Stationswartungsdienste: u.a. Flugzeugwartung und Vorhalten von Instandsetzungsmaterial.

1.3 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit hat zum Ziel, verschiedene Ansätze und Hilfestellungen für den Flugzeugentwurf zu liefern. Dabei sollen verschiedene Parameter und Eigenschaften analysiert und beleuchtet werden, die Einfluss auf die Flugzeugabfertigung haben.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf den Ladevorgängen. Es sollen insbesondere die Schwellenhöhe der Ladeluke und die Frachtraumhöhen untersucht werden. Auch die Eigenschaften der Frachträume, die die Flugzeugabfertigung beeinflussen, soll analysiert werden. Des Weiteren soll der Einfluss der Parameter auf die Turnaround Zeit und den Bedarf an Personal und Equipment bestimmt werden.

Weiterhin ist es Ziel dieser Arbeit, Formel für die praktische Anwendung im Flugzeugentwurf zu erzeugen, die bei zukünftigen Projekten berücksichtigt werden können.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Projektarbeit ist in folgende Abschnitte gegliedert:

Abschnitt 2 beschreibt die Unterschiede der verschiedenen Luftverkehrsunternehmensarten und ihren Anforderungen an die Flugzeugabfertigung.

Abschnitt 3 gibt einen Überblick über das erforderliche Equipment für eine Flugzeugabfertigung und erläutert die unterschiedlichen Aufgaben.

Abschnitt 4 beschäftigt sich mit den Schwellenhöhen der Ladeluken von vorhandenen Flugzeugen. Darüber hinaus werden die daraus resultierenden Auswirkungen für die Be- und Entladungsvorgänge diskutiert und eine optimale Schwellenhöhe ermittelt.

Abschnitt 5 beschreibt und analysiert die Laderäume für Gepäck, Fracht und Post der verschieden Flugzeugtypen. Es werden die Frachtraumhöhen und Längen untersucht. Ferner werden Die Größen und Eigenschaften der Ladeluken analysiert.

Abschnitt 6 vergleicht die Abfertigung von Flugzeugen mit Container-Beladung mit Flugzeugen, die von Hand beladen werden.

Abschnitt 7 stellt die Zusammenfassung der, in dieser Arbeit, ermittelten Ergebnisse dar.

Abschnitt 8 ist die Schlussbemerkung.

Anhang A Inhalt der CD.

2 Vergleich verschiedener Luftverkehrsunternehmensarten

In diesem Abschnitt sollen die, aus Sicht der Flugzeugabfertigung, wichtigsten verschiedenen Arten von Luftverkehrsunternehmen aufgezeigt und beleuchtet werden. Außerdem soll erläutert werden, welche Bedeutung die Art des Luftverkehrsunternehmens auf die Flugzeugabfertigung, insbesondere auf das Be- und Entladen, ausübt.

2.1 Flag Carrier

Der Begriff Flag Carrier heißt übersetzt so viel wie Fahnenträger. Man versteht darunter definitionsgemäß ein Luftverkehrsunternehmen welches, zumindest mehrheitlich, im Staatsbesitz ist und für den Staat auch repräsentative Aufgaben übernehmen kann (**Wikipedia 2012a**).

Durch die zunehmende Privatisierung von großen Staatsfluglinien trifft diese Definition aber immer seltener zu. Trotzdem werden diese Unternehmen im Allgemeinen noch als Flag Carrier bezeichnet. Beispiele hierfür sind auf dem europäischen Kontinent die Lufthansa, British Airways und Air France. Flag Carrier stellen unter den allgemeinen Linienfluggesellschaften durch ihre Angebotspalette eine besondere Spezies dar, was sich insbesondere auch auf die Flugzeugabfertigung auswirkt. Die meisten Flag Carrier haben eine gemischte Flugzeug-Flotte aus Kurz-, Mittel- und Langstreckenflugzeugen. Des Weiteren unterhalten viele von ihnen ein Frachtflugunternehmen mit eigener Flotte an Frachtflugzeugen und vermarkten zusätzlich noch die freien Kapazitäten der Frachträume der Passagierflugzeuge für Fracht oder Post. Flag Carrier leiten in der Regel einen Großteil ihres Flugaufkommens über Luftverkehrsdrehkreuze, welche auch als Hubs bezeichnet werden. Dies sind meist größere Flughäfen, auf denen eine große Anzahl an Umsteigeverbindungen angeboten wird. Das Konzept der Hubs sieht vor, dass die Passagiere von umliegenden Regionalflughäfen mit Hilfe der Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge gebündelt werden und so auf die Langstreckenflugzeuge für die internationalen und vor allem interkontinentalen Flugstrecken verteilt werden. Umgekehrt gilt dasselbe. Weiterhin bieten Flag Carrier auf Flugstrecken mit hoher Nachfrage auch Direktverbindungen an. Als Beispiel soll hier die Deutsche Lufthansa AG dienen. Die beiden Hubs dieser Luftverkehrsgesellschaft sind Frankfurt am Main und München, wobei Frankfurt a. M. gleichzeitig das Drehkreuz für die Lufthansa Cargo AG ist. Sie werden beispielsweise von Hamburg, Berlin oder Stuttgart bedient. Die Lufthansa bietet als Direktverbindungen Strecken wie Hamburg – Stuttgart oder Köln – Berlin an.

Für die Be- und Entladung in der Flugzeugabfertigung ist die Zusammensetzung der Passagiergruppen ein wichtiger Anhaltspunkt für die zu erwartende Menge des Gepäcks. Die Klientel der Flag Carrier setzt sich aus unterschiedlichen Personengruppen zusammen. So machen Geschäftsreisende einen Großteil der Passagiere aus. Diese fliegen häufig morgens zu einem Geschäftstermin in eine andere Stadt und kommen meist noch am selben Tag zurück. Dadurch haben diese Passagiere in der Regel nur Handgepäck bei sich, welches sich bei den meisten Flugzeugtypen in den Staufächern innerhalb der Passagierkabine unterbringen lässt. Ein anderer Teil der Passagiere nutzt die Umsteigeverbindungen der Hubs für Fernreisen. In diesem Fall ist das Gepäck erwartungsgemäß zu groß und zu schwer für eine Mitnahme in die Kabine. Es wird in die Frachträume der Flugzeuge geladen. Ein weiterer nicht unerheblicher Aspekt der Abfertigung von Flag Carriern macht die Fracht aus. Sie kann auf einigen Strecken teilweise mehr als die Hälfte der in den Frachträumen transportierten Nutzlast ausmachen. Die Bodenstandzeiten von Flag Carriern liegen bei Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen durchschnittlich bei einer Stunde. Bei Langstreckenflugzeugen kann man hier mehr Zeit, mindestens 1,5 bis 2 Stunden, veranschlagen.

2.2 Low-Cost Carrier

Low-Cost Carrier werden im Deutschen oft als Billigflieger oder Billigairline bezeichnet. Typische Vertreter dieser Sparte sind in Europa die Luftverkehrsgesellschaften easyJet und Ryanair. Bei Low-Cost Carriern handelt es sich um Luftverkehrsgesellschaften, bei denen ein möglichst preisgünstiger Transport der Passagiere im Vordergrund steht. Das ist nur zu erreichen, indem die direkten Betriebskosten niedrig gehalten werden. Dies geschieht unter anderem dadurch, dass der Service an Bord der Flugzeuge eingeschränkt wird und teilweise nur noch entgeltlich zu beziehen ist. Außerdem fliegen Low-Cost Carrier überwiegend auf auslastungsstarken Direktverbindungen und haben selten Umsteigeverbindungen. Vorzugsweise werden anstatt der teuren Großflughäfen in Stadtnähe kleinere, in der Umgebung gelegene, Flughäfen angeflogen, die günstigere Lande- und Abfertigungsgebühren bieten. Low-Cost Carrier bedienen beispielsweise Flughäfen wie London-Luton oder London-Stansted und meiden Flughäfen wie London-Heathrow. Des Weiteren hat diese Art der Luftverkehrsunternehmen häufig einheitliche Flotten. Dies soll u.a. Kosten bei der Wartung und der Ausbildung der Besatzung sparen. Ryanair setzt beispielsweise auf eine reine Boeing B737-800 Flotte. Der Mitbewerber easyJet hingegen nutzt Flugzeuge vom Typ Airbus A319/A320. Großraumflugzeuge sind bei Low-Cost Carriern seltener anzutreffen. Allerdings gibt es, insbesondere im asiatischen Raum, eine steigende Anzahl von Unternehmen, die diese Flugzeuge einsetzen. Beispiel hierfür ist der malaysische Low-Cost Carrier AirAsia X, der ausschließlich Langstreckenflüge anbietet (**Wikipedia 2012b**).

Low-Cost Carrier haben meistens sehr kurze Bodenstandzeiten, um eine möglichst hohe Auslastung ihrer Flugzeuge zu erreichen. Das bedeutet, dass diese Luftverkehrsunternehmen

mit ihren Flugzeugen eine möglichst große Anzahl von Flügen an einem Tag durchführen wollen. Die Reduzierung der Bodenstandzeiten geschieht im Allgemeinen durch eine Reduzierung der durch die Abfertigungsunternehmen auszuführenden Dienste. Teilweise wird auf das Catering und das Reinigen der Kabine verzichtet. Es ist weiterhin notwendig, dass auch das Be- und Entladen zügig durchgeführt werden kann. Aus diesem Grund versuchen viele Luftverkehrsunternehmen dieser Sparte die Menge, des für den Transport im Frachtraum aufgegebenen Gepäcks, durch hohe Gebühren zu regulieren (**Easyjet 2012**). Dadurch nehmen die Passagiere zum Großteil nur Handgepäck mit, welches sie in den Staufächern der Passagierkabine unterbringen können. Typischerweise wird in Flugzeugen von Low-Cost Carriern keine Fracht oder Post transportiert.

2.3 Charter Carrier

Charter Carrier oder auch Charterfluggesellschaften sind Luftverkehrsgesellschaften, die in der Regel keine eigenen Linienflüge anbieten, sondern ihre Flugzeuge bzw. die Sitzplätze ihrer Flugzeuge im Rahmen von Verträgen Unternehmen aus der Touristik-Branche überlassen (**Wikipedia 2012c**). Es gibt allerdings auch Linienfluggesellschaften, die einen Teil ihrer Flotte regelmäßig für Charterflüge einsetzen. Ein Beispiel hierfür ist das deutsche Luftfahrtunternehmen Air Berlin. Die Flugziele können bei Charterflügen variieren. So werden das ganze Jahr über, aber vor allem im Sommer, Flüge in die Urlaubsregionen des Südens vorgenommen. In den Wintermonaten werden zudem häufig Flughäfen in den Skigebieten bedient. Eine besondere Art der Charterflüge stellt der sogenannte Ethnische Verkehr dar. Dabei werden Flüge für Familien von Arbeitsmigranten in ihre Heimatregionen durchgeführt (**Wikipedia 2011**). Die Flugzeuge, die im Charterverkehr eingesetzt werden, sind überwiegend Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge. Oft sind hier Flugzeuge der Airbus A320-Familie oder Boeing B737-Familie anzutreffen. Allerdings werden bei einigen Luftverkehrsunternehmen auch größere Flugzeuge eingesetzt, wie z.B. Airbus A330 und Boeing B747.

Was alle Charterflüge gemein haben, ist die große Menge an Gepäck. Der Grund hierfür ist, dass die Passagiere bei einem Charterflug vorwiegend für mehrere Tage verreisen. Das beeinflusst das Gepäck in Größe und Gewicht, sodass es nicht mehr in den Staufächern innerhalb der Passagierkabine untergebracht werden kann. Insbesondere die Flüge des Ethnischen Verkehrs haben ungewöhnlich große Mengen an Gepäck. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Passagiere bei vielen dieser Flüge bis zu drei Gepäckstücke ohne Zusatzgebühr mitführen dürfen. Außerdem fliegen diese Passagiere meist für mehrere Wochen, teilweise bis zu einem Monat, in ihre Heimatländer, was selbstverständlich auch das Gewicht der Gepäckstücke beeinflusst. In seltenen Fällen wird auch Frachtgut bei Charterflügen transportiert. Dieses sind dann allerdings geringe Mengen, die die Be- und Entladung nur marginal beeinflussen. Aufgrund der großen Mengen an Gepäck, die bei der Abfertigung

von Charterflügen zu be- und entladen sind, werden, selbst bei Standardrumpfflugzeugen, Bodenstandzeiten von bis zu 90 Minuten erreicht.

2.4 Zusammenfassung und Vergleich

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die drei aufgezeigten Typen von Luftverkehrsunternehmen bei der Flugzeugabfertigung in drei Bereichen deutlich unterscheiden.

Dies sind zum Ersten die Bodenstandzeiten. Unternehmen aus dem Segment der Low-Cost Carrier erreichen hier die kürzesten Zeiten, während die Abfertigung von Flugzeugen der Flag-Carrier teilweise bis zu doppelt so viel Zeit in Anspruch nimmt. Diese Bodenstandzeiten werden nur noch von den Charter Carriern übertroffen.

Der zweite zu erwähnende Unterschied der aufgezeigten Typen von Luftverkehrsunternehmen ist das Aufkommen des von den Passagieren aufgegeben Gepäcks bezüglich der Anzahl, der Masse und des Volumens. Hier sind an erster Stelle die Charter Carrier zu nennen, die aufgrund der zu bedienenden Flugziele und ihrer Passagiere am meisten Gepäck transportieren. Bei den Flugzeugen der Low-Cost Carrier wird hingegen am wenigsten Gepäck in den Frachträumen transportiert.

Der letzte bedeutende Unterschied ist der Transport von Fracht bzw. Post. Die Unternehmen des Segments der Flag Carrier transportieren Fracht und Post als Zusatzgeschäft. Bei den Charter Carriern spielt dies nur eine untergeordnete Rolle, während bei den Low-Cost Carriern im Allgemeinen gänzlich auf den Transport von Fracht bzw. Post verzichtet wird.

Was jedoch alle Luftfahrtunternehmen, unabhängig von ihrem Kerngeschäft, gemeinsam haben, ist der Druck, Kosten zu sparen. Es ist deshalb erforderlich Flugzeuge zu entwickeln, die sich schnell und kostengünstig abfertigen lassen und dabei den unterschiedlichen Anforderungen der in diesem Kapitel erwähnten Arten von Luftverkehrsunternehmen gerecht werden.

3 Die Flugzeugabfertigung

Wie aus der historischen Einleitung ersichtlich geworden ist, hat sich die Abfertigung von Großraumflugzeugen seit ca. 1970 und die Abfertigung von Standardrumpfflugzeugen seit 1987 nur unwesentlich verändert. Die vielfältigen Aufgaben, die während der Bodenstandzeiten von den Bodenverkehrsdiensten durchgeführt werden müssen, sind nach wie vor die gleichen wie damals. Um einen Überblick über das umfangreiche Spektrum von Tätigkeiten rund um die Flugzeugabfertigung zu bekommen, sollen an dieser Stelle einige Bilder und Diagramme aus den Airport Planning Manuals (APM) zur Hilfe genommen werden. Airport Planning Manuals sind von den Flugzeugherstellern herausgegebene Dokumente, die den Flughäfen und insbesondere den Flugzeugabfertigungsunternehmen bei der Planung unterstützen sollen. Dies kann beispielsweise notwendig sein, wenn ein Luftverkehrsunternehmen diesen Flughafen mit einem neuen Flugzeugtyp anfliegen möchte. Sie enthalten umfangreiche Informationen, zum Beispiel über die Maße des Flugzeugs, die Lage der Türen und Service-Öffnungen oder dem Rollverhalten bei Kurvenfahrten auf dem Rollfeld.

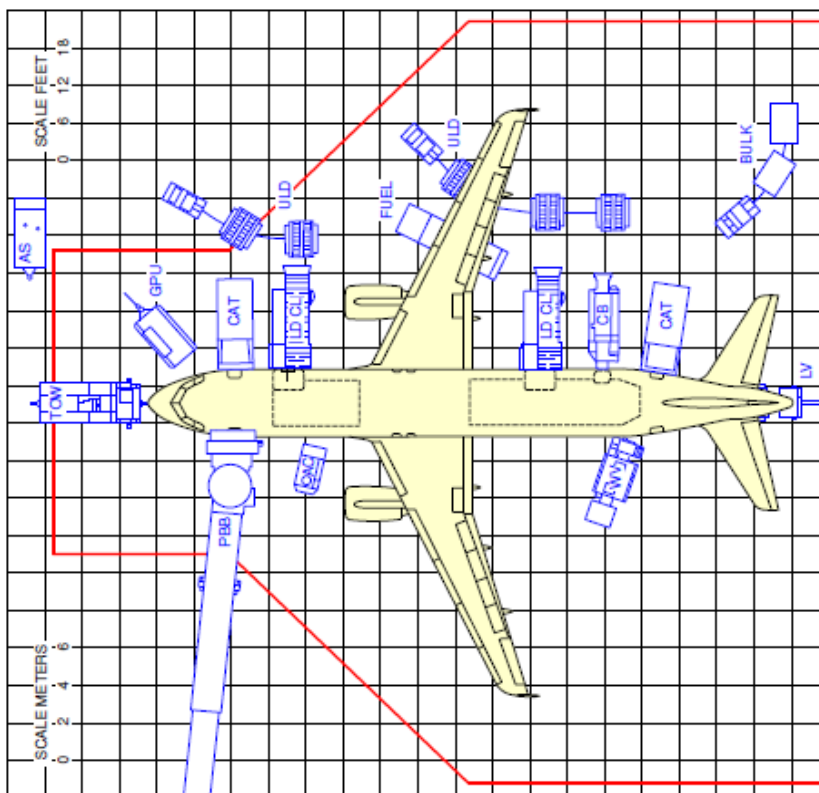


Bild 3.1 Abfertigungslageplan Airbus A320 (nach Airbus 2011a)

Bild 3.1 zeigt den Lageplan eines Airbus A320 mit Containerbeladung, der an einer Pier Position eines Flughafens abgestellt ist - inklusive aller Abfertigungs- und Servicefahrzeuge. Nachfolgend sollen nun die einzelnen Fahrzeuge und ihre Aufgaben erklärt werden. Dabei wird stets Bezug auf Bild 3.1 genommen.

An der Front des Flugzeugs sieht man den Flugzeugschlepper (in Bild 3.1 bezeichnet mit TOW). Dieser wird für den Pushback-Vorgang benötigt, also das Zurückdrücken des Flugzeugs, da es dies aus eigener Kraft nicht kann bzw. darf. Des Weiteren wird der Flugzeugschlepper für Schleppvorgänge auf dem Vorfeld eingesetzt. Flugzeugschlepper gibt es grundsätzlich in zwei unterschiedlichen Ausführungen. Zum einen existieren Schlepper, die das Flugzeug mit einer Schleppstange (Tow Bar) ziehen oder schieben (Bild 3.2). Zum anderen gibt es Schlepper, die das Bugfahrwerk des Flugzeugs umgreifen und anheben (Tow Bar Less Tow Truck) (Bild 3.3). Auf diese Weise kann das Flugzeug bewegt und gelenkt werden.



Bild 3.2 Flugzeugschlepper mit Schleppstange (Europlast 2012)



Bild 3.3 Flugzeugschlepper (Tow Bar Less) (Europlast 2012)

Neben dem Schlepper ist auf Bild 3.1 das Bodenstromgerät (Ground Power Unit, GPU) zu sehen. Die GPU übernimmt die Stromversorgung des Flugzeugs am Boden (Bild 3.4). Dabei liefert das Aggregat die bei Flugzeugen üblichen 115V Wechselstrom bei 400Hz oder 28V Gleichstrom. Es arbeitet dabei energieeffizienter, umweltfreundlicher und auch bedeutend leiser als das Hilfstriebwerk (Auxiliary Power Unit, APU) des Flugzeugs.



Bild 3.4 Bodenstromgerät im Einsatz (Weyer 2012)

In der Nähe des Bodenstromgeräts steht der Airstarter bereit (in Bild 3.5 bezeichnet mit AS). Dieses Fahrzeug ist mit einem Hilfstriebwerk ausgerüstet, welches ähnlich funktioniert wie die APU eines Flugzeugs. Sollte die APU defekt sein, kann der Airstarter durch einen Hochdruckschlauch ans Flugzeug angeschlossen werden. Durch das Hilfstriebwerk des Fahrzeugs wird dann der nötige Luftdruck zur Verfügung gestellt, der zum Starten der Triebwerke benötigt wird.



Bild 3.5 Airstarter im Einsatz (Rheinmetall 2012)

An der vorderen linken Tür ist, wie in Bild 3.1 zu erkennen, die Fluggastbrücke an das Flugzeug angedockt (Bild 3.6). Sie verbindet das Flugzeug mit dem Flughafengebäude und dient den Passagieren zum Ein- und Aussteigen. Alternativ dazu können auch Fluggasttreppen eingesetzt werden (Bild 3.7). Teilweise wird der Aufbau noch durch eine zusätzliche Fluggasttreppe an der hinteren linken Tür ergänzt. Diese wird jedoch meist vom Kabinenreinigungspersonal (Cleaning) und anderen Servicekräften benutzt.



Bild 3.6 Fluggastbrücke an der vorderen Tür (JBT 2012)



Bild 3.7 Fluggasttreppe an der Hinteren Tür (TBTUK 2012)

Wie in Bild 3.1 zu erkennen ist, stehen an den Türen der rechten Rumpfseite die Catering-Fahrzeuge, da sich im Inneren des Flugzeugs an diesen Stellen die Bordküchen (Galleys) befinden. Das Catering-Personal füllt die Bestände an Getränken, Mahlzeiten, Snacks und Duty-Free-Ware in den Galleys auf. Bild 3.8 zeigt ein Catering-Fahrzeug an der vorderen Service Tür einer Boeing B737.



Bild 3.8 Catering-Fahrzeug an der vorderen Service Tür (Doll 2012)

Außerdem kann man an der rechten Rumpfseite vor den Luken zum vorderen und hinteren Frachtraum die Hubbühne erkennen (in Bild 3.1 bezeichnet mit LD CL). Mit diesen werden die Container und Paletten für Gepäck, Fracht und Post be- und entladen. In der Praxis finden bei Standardrumpfflugzeugen oft Hubtransporter Verwendung (Bild 3.9). Mittels dieser Fahrzeuge können Container und Paletten sowohl gehoben wie auch transportiert werden.



Bild 3.9 Hubtransporter an der Ladeluke eines Airbus A320 (Laweco 2012)

Die ausgeladenen Container werden auf Dollies geladen (in Bild 3.10 mit ULD bezeichnet). Dies sind Anhänger, welche an die Container und Paletten angepasst sind und so einen sicheren Transport ermöglichen. Auch die ULD mit Zuladung werden auf Dollies bereitgestellt. Mit Hilfe einer Zugmaschine (Bild 3.11) werden die Dollies mit der Ausladung in die verschiedenen Flughafengebäude gefahren und die Zuladung zum Flugzeug gebracht.



Bild 3.10 Dolly zum Transportieren von ULD (Franke 2012)



Bild 3.11 Zugmaschine (Mulag 2012)

Zwischen der hinteren Hubbühne und dem Catering-Fahrzeug ist in Bild 3.1 das mit CB gekennzeichnete Förderband zu erkennen. In Bild 3.12 ist ein solches abgebildet. An dieser Stelle befindet sich im Flugzeuginneren der Frachtraum für die Handbeladung.



Bild 3.12 Förderband an der hinteren Ladeluke (Mulag 2012)

Für den Transport des losen Gepäcks und der losen Fracht bzw. Post steht eine Zugmaschine mit Trolleys bereit (in Bild 3.1 mit dem Wort BULK gekennzeichnet). Damit wird die Ausladung in die verschiedenen Flughafengebäude gefahren und die Zuladung zum Flugzeug gebracht. In Bild 3.13 sind zwei mögliche Varianten von Trolleys abgebildet.



Bild 3.13 Trolleys für den Transport von losen Ladungsstücken (Franke 2012)

Unter der rechten Tragfläche ist das Tankfahrzeug zu erkennen, welches das Flugzeug mit Kerosin betankt (Bild 3.14). Alternativ dazu kann auch ein Pumpenfahrzeug (Bild 3.15) verwendet werden. Dieses kann das Kerosin aus einem auf dem Vorfeld befindlichen Bodenanschluss in die Tanks des Flugzeugs pumpen.



Bild 3.14 Tankfahrzeug (Rohr 2012)



Bild 3.15 Pumpenfahrzeug bei der Betankung (Rohr 2012)

An der linken Seite des Rumpfes steht, wie auf Bild 3.1 zu erkennen ist, zwischen der Fluggastbrücke und der Tragfläche das Klimagerät (gekennzeichnet mit AC). Mit Hilfe dieses Gerätes kann über einen am Flugzeug angeschlossenen Schlauch die Kabinenluft konditioniert, d.h. geheizt oder gekühlt, werden, wenn die Wetterlage dies erfordert. Bild 3.16 zeigt ein solches Klimagerät im Einsatz.



Model DAC900 Trailer Mounted

Bild 3.16 Klimagerät zur Versorgung mit konditionierter Luft (JC Aviation 2012)

An derselben Seite steht auf Höhe des hinteren Frachtraums der Frischwasserservicewagen (WV). Dieser füllt die Bordbestände an Trinkwasser auf, welche in den Galleys zum Zubereiten der Mahlzeiten, zur Reinigung und in den Toiletten zum Spülen und Händewaschen benötigt werden. Frischwasserservicewagen sind oft mit Arbeitsbühnen ausgerüstet (Bild 3.17), damit auch höher liegende Serviceanschlüsse an Flugzeugen erreicht werden können.



Bild 3.17 Frischwasserservicewagen mit Arbeitsbühne (Vestergaard 2012)

Unter dem Heck des Flugzeugs ist der Fäkalienservicewagen. Dieser pumpt die Fäkalien der Bordtoiletten aus den Schmutzwassertanks des Flugzeugs und reinigt die Tanks mit einer chemischen Lösung. Auch Fäkalienservicewagen sind mit Arbeitsbühnen ausgerüstet, wie auf Bild 3.18 zu erkennen ist.



Bild 3.18 Fäkalienservicewagen mit Arbeitsbühne (Vestergaard 2012)

An vielen Flughäfen wird die Versorgung mit Bodenstrom und konditionierter Luft über Kabel und Schläuche vorgenommen, die direkt an der Fluggastbrücke angebracht sind. Strom und warme bzw. kalte Luft werden dann an anderer Stelle erzeugt. Auf manchen Flughäfen gibt es Versorgungsstationen, die aus dem Boden ausfahrbar sind und ebenfalls elektrische Energie und Luft zur Verfügung stellen. Diese beiden Varianten sollen die Anzahl der für die Flugzeugabfertigung eingesetzten Fahrzeuge reduzieren.

Die aufgezählten Fahrzeuge und Geräte zeigen, welche umfangreichen Aufgaben durch die Mitarbeiter der Bodenverkehrsdienste durchgeführt werden müssen. Diese Aufgaben sind im Allgemeinen bei allen Flugzeugen gleich. Lediglich der Aufbau kann bei verschiedenen Flugzeugkonfigurationen variieren. Ergänzend ist hier allerdings zu bemerken, dass es sich beim abgebildeten Airbus A320 um ein Flugzeug mit Containerbeladung handelt. Die Flugzeuge der Airbus A320-Familie bieten, wie bereits erwähnt, fast als einzige Standarddrumpfflugzeuge die Möglichkeit der Container-Beladung. Bei allen anderen Flugzeugen dieser Kategorie wird die Be- und Entladung von Hand durchgeführt. Für die Darstellung auf Bild 3.1 bedeutet dies, dass die beiden Hubbühnen durch Förderbänder ersetzt werden.

Es ist allerdings zu erwähnen, dass nicht alle der aufgezeigten Aufgaben gleichzeitig durchgeführt werden können bzw. dürfen. Um einen Einblick über den zeitlichen Ablauf der Flugzeugabfertigung und den dabei involvierten Prozessen zu bekommen, soll Bild 3.19 helfen. Dabei handelt es sich um ein Abfertigungszeitplan (Full Service Turnaround Chart), der ebenfalls den APM des Airbus A320 entnommen ist. Dieser Ablauf entspricht weitestgehend dem Lageplan von Bild 3.1. Der Ablauf beginnt, wenn das Flugzeug die Abstellposition erreicht (On-Block) und endet an dem Punkt, an dem es die Abstellposition mit Hilfe des Schleppers verlässt (Off-Block).

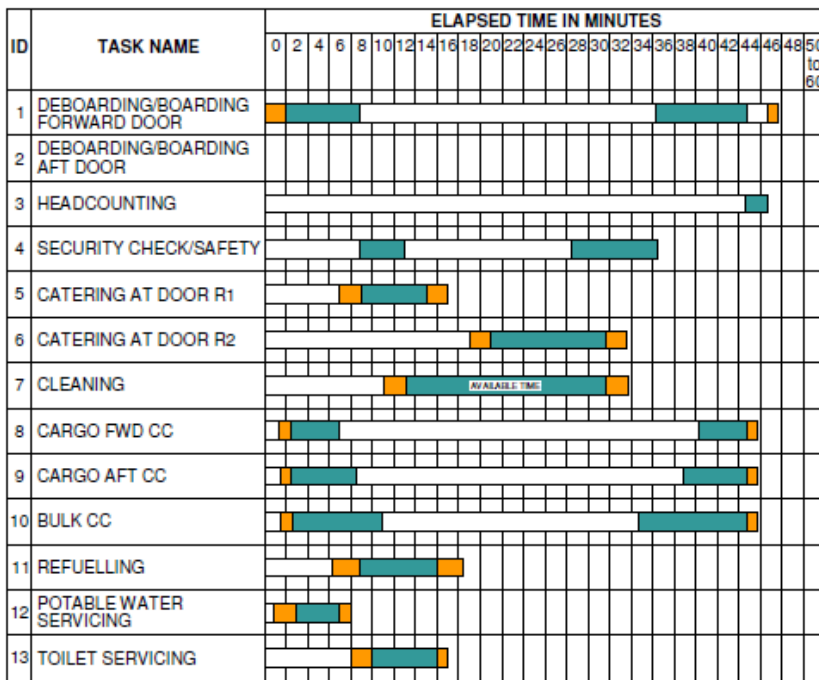


Bild 3.19 Abfertigungszeitplan eines Airbus A320 (Airbus 2011a)

Wie in Bild 3.19 zu erkennen ist, finden mehrere der Prozesse nicht gleichzeitig statt. Einige Prozesse schließen sich sogar gegenseitig aus. So ist es z.B. aus hygienischen Gründen nicht zulässig, dass die Fäkalien aus den Schmutzwassertanks der Toiletten abgepumpt werden, während der Trinkwasservorrat aufgefüllt wird, obwohl die dazugehörigen Serviceklappen der Flugzeuge grundsätzlich nicht nebeneinander liegen. Die entsprechenden Fahrzeuge dürfen von den Mitarbeitern der Bodenverkehrsdienste aus den oben genannten Gründen noch nicht einmal nebeneinander geparkt werden (**Groundstars 2011**). Auch das Reinigen der Kabine findet erst statt, wenn die Passagiere diese verlassen haben. Ähnlich verhält es sich mit dem Tankvorgang. Dieser darf nur unter besonderen Sicherheitsvorkehrungen stattfinden, wenn sich Passagiere an Bord des Flugzeugs befinden. Die ICAO gibt hierfür in ihrem Dokument 9137 „Airport Service Manual“, Part 1 „Rescue and Firefighting“ jedoch eher allgemein gehaltene Vorschriften, die besagen, dass die Fluchtmöglichkeit der Passagiere im Brandfall sichergestellt sein muss (**Wikipedia 2012e**). Die Luftverkehrsunternehmen handhaben den Brandschutz auf unterschiedliche Weise. Einige von ihnen fordern die Bereitstellung eines Löschfahrzeugs der Flughafenfeuerwehr einschließlich Besatzung. Anderen genügt es, dass ein eingewiesener Mitarbeiter der Bodenverkehrsdienste den Tankvorgang überwacht und im ständigen Kontakt zu dem Piloten des Flugzeugs steht, um gegebenenfalls die Evakuierung zu veranlassen.

Bild 3.19 soll in dieser Arbeit allerdings nur der Veranschaulichung der Prozesse einer Flugzeugabfertigung dienen. Die Zeiten, die von Airbus für die einzelnen Schritte angegeben werden, sind sehr allgemein gehalten und bieten daher lediglich einen groben Anhaltspunkt für die Abfertigungsdauer.

Als Ergänzung zu den vorangegangenen Abbildungen zeigen Bild 3.20 und Bild 3.21 den Lageplan und den Abfertigungszeitplan eines Airbus A340-600. Dieses Flugzeug soll hier stellvertretend für die Abfertigung von Großraumflugzeugen dienen.

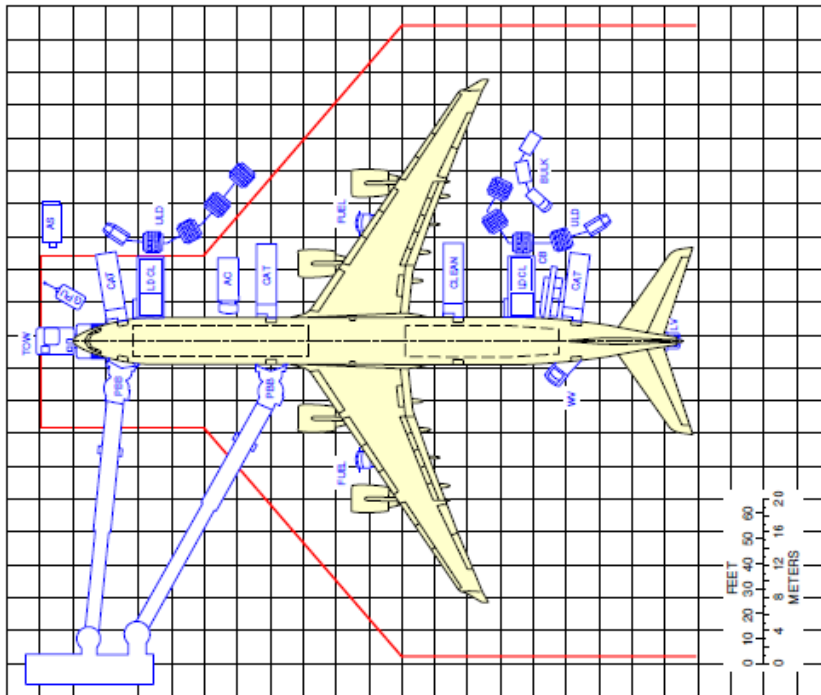


Bild 3.20 Abfertigungslageplan Airbus A340 (nach Airbus 2012a)

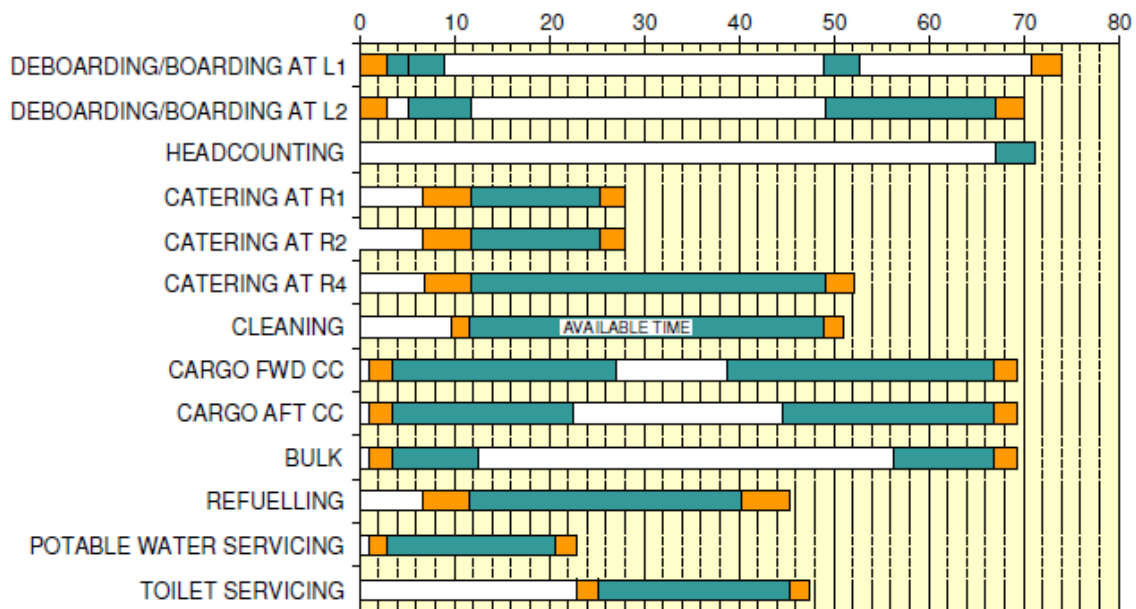


Bild 3.21 Abfertigungszeitplan eines Airbus A340 (Airbus 2012a)

Der Aufbau des Lageplanes mit den Abfertigungs- und Servicefahrzeugen ähnelt dem des Airbus A320 an vielen Stellen. Neben den verschiedenen Flugzeuggrößen ist der signifikanteste Unterschied die Verwendung von zwei Fluggastbrücken (PBB), die so ein schnelleres Ein- und Aussteigen der Passagiere ermöglichen. Dies wird allerdings nicht an allen Flughäfen so gehandhabt, da die Pier Positionen nur mit einer oder aber mit drei

Fluggastbrücken ausgestattet sein können. Des Weiteren ist an der hinteren Tür der linken Rumpfseite ein Fahrzeug des Kabinenreinigungspersonals angedockt. Auch dies ist so nicht überall üblich. Auf vielen Flughäfen wird an diese Tür eine Fluggasttreppe als Servicetreppe angedockt, welche dann durch das Kabinenreinigungspersonal und andere Servicekräfte benutzt werden kann.

4 Schwellenhöhe der Ladeluke

Mit der Schwellenhöhe der Ladeluke (Sill Height) wird der vertikale Abstand zwischen der Oberfläche, auf der das Flugzeug steht, und der Schwelle der Ladeluke bezeichnet (Bild 4.1).

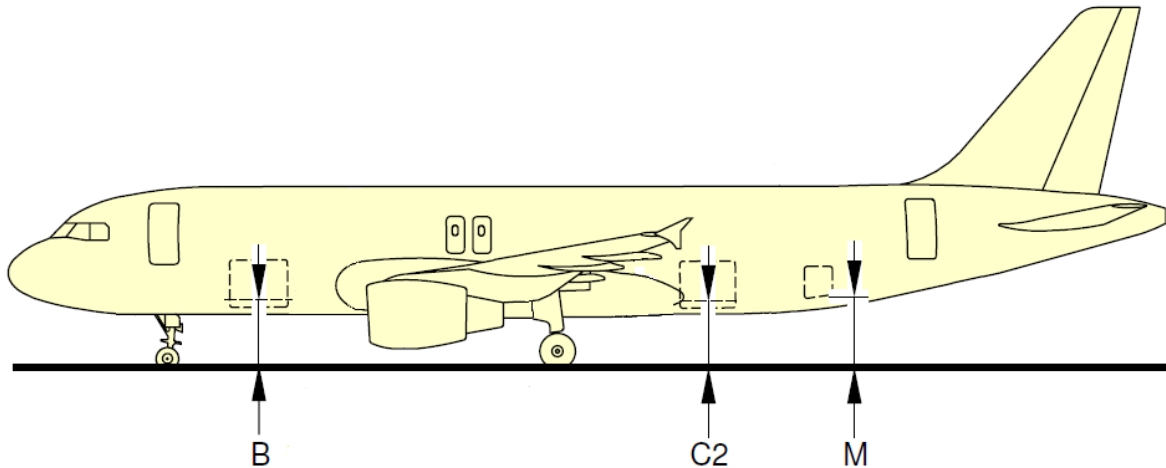


Bild 4.1 Schwellenhöhe der Ladeluken am Beispiel Airbus A320 (nach Airbus 2011a)

4.1 Einsatzhöhe Förderband

Im Bereich der Standardrumpfflugzeuge sind, wie auch bei den Regionalflugzeugen, derzeit die meisten Flugzeugmuster für Handbeladung vorgesehen. Um bei diesen Flugzeugen die Be- und Entladung autark von bodenseitigen Hilfsmitteln, wie z.B. Förderbändern, durchführen zu können, ist die untere Schwellenhöhe der Ladeluke der entscheidende Parameter.

Die Unabhängigkeit von bodenseitigen Hilfsmitteln ist aus verschiedenen Gründen sinnvoll. Zum einen können die Abfertigungsunternehmen, auch aus Kostengründen, nicht immer genügend von diesen vorhalten. So werden pro Flugzeug häufig ein, manchmal sogar bis zu drei Förderbänder (Airbus A320/321) benötigt. Zum anderen spielt der Faktor Zeit eine Rolle. So muss ein Förderband vor dem Ladevorgang an das Flugzeug manövriert werden und der ausfahrbare Ausleger an die Ladeluke gesteuert werden. Während der unterschiedlichen Phasen der Be- und Entladung ist es ebenso erforderlich, die Höhe des Auslegers an die Schwelle der Ladeluke anzupassen. Nach dem Ladevorgang ist das Förderband wieder vom Luftfahrzeug zu entfernen. Diese Manöver bergen zudem das Risiko einer Beschädigung des Flugzeugs, da der Abstand zwischen dem Ausleger des Förderbandes bzw. dem Förderband im Allgemeinen und dem Luftfahrzeug nur wenige Zentimeter beträgt. Ein zusätzlicher nicht uninteressanter Aspekt ist, dass der Verzicht auf ein Förderband bei einer entsprechenden Schwellenhöhe die Einsparung eines Ladergabts möglich macht. Der Grund hierfür ist, dass der außerhalb der Ladeluke arbeitende Lader beim Beladevorgang die Ladungsstücke über eine

gewisse Distanz innerhalb des Frachtraums bewegen kann. Dies ist beim Einsatz eines Förderbands nicht möglich, weshalb ein zusätzlicher Lader die Ladungsstücke vom Förderband aufnehmen und weiter bewegen muss. Ebenso reicht es beim Entladevorgang, dass ein Lader im Frachtraum die Ladungsstücke lediglich in die Nähe der Ladeluke bewegt. Beim Einsatz eines Förderbandes ist hier ein zusätzlicher Lader erforderlich, der die Ladungsstücke auf das Förderband legt.

Die Schwellenhöhen der Ladeluken variieren bei den Regional- und Standarddrumpfflugzeugen derzeit zwischen 0,87 m beim Avro RJ85/RJ100 und 2,67 m bei der Boeing B757. An dieser Stelle ist noch zu erwähnen, dass die Schwellenhöhe der Ladeluke auch vom Beladezustand abhängig ist. Sie verringert sich mit durch Kraftstoff und Nutzlast zunehmendem Gesamtgewicht, da die Federbeine des Fahrwerks ineinander gefahren werden. In Tabelle 4.1 wird die Schwellenhöhe der Ladeluke von einigen Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen angegeben. Teilweise wurde dabei auch der Beladezustand berücksichtigt, wenn hierzu Daten aus den APM zur Verfügung standen. Viele der in Tabelle 4.1 dargestellten Werte wurden auf dem Vorfeld des Hamburg Airports durch Messungen ermittelt, wobei diese Messungen stets im entladenen Zustand der Luftfahrzeuge durchgeführt wurden. Es konnte bei den Messungen jedoch keine Rücksicht auf den Betankungszustand genommen werden. Des Weiteren ist der Tabelle zu entnehmen, bei welchen Flugzeugtypen zwingend ein Förderband erforderlich ist. Diese Angabe ist allerdings kritisch zu betrachten, da sie sich bei der Körpergröße des Ladepersonals auf die Durchschnittskörpergröße einer männlichen Person von 1,80 m bezieht. Vor allem in Ländern des asiatischen Raums sowie in Süd-Amerika sind die Menschen durchschnittlich etwas kleiner (**Dyszluk 2007**, Abschnitt 2). Die Einschränkung auf die männliche Körpergröße soll an dieser Stelle keine Diskriminierung des weiblichen Geschlechts darstellen, in der Regel arbeitet im Bereich der Be- und Entladung von Flugzeugen jedoch überwiegend männliches Ladepersonal.

Tabelle 4.1 Schwellenhöhe von Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen

Hersteller	Typ	Schwellenhöhe der Frachtluke						Förderband
		Vorne		Hinten		Ganz Hinten		
		entladen	beladen	entladen	beladen	entladen	beladen	
		m	m	m	m	m	m	
Airbus	A318 ^a	2,08	2,00	2,20	2,11			ja
Airbus	A319 ^b	2,09	1,99	2,22	2,09			ja
Airbus	A320 ^c	2,09	1,98	2,22	2,07	2,29	2,11	ja
Airbus	A321 ^d	2,10	1,99	2,26	2,09	2,29	2,11	ja
Antonow	An-148	0,87		0,90				
ATR	ATR-42	1,10		1,31				
Avro (BAe)	RJ85 (146-200)	0,87		0,90				
Avro (BAe)	RJ100 (146-300)	0,87		0,90				
Boeing	B717-200 ^e	1,30	1,10	1,30	1,20			
Boeing	B737-300 ^f	1,40	1,27	1,37	1,37			
Boeing	B737-400 ^f	1,40	1,27	1,37	1,37			
Boeing	B737-500 ^f	1,40	1,27	1,37	1,37			
Boeing	B737-600 ^f	1,45	1,30	1,78	1,63			ja
Boeing	B737-700 ^f	1,45	1,30	1,78	1,63			ja
Boeing	B737-800 ^f	1,45	1,30	1,80	1,65			ja
Boeing	B737-900 ^f	1,45	1,30	1,80	1,65			ja
Boeing	B757-200 ^g	2,67	2,46	2,51	2,36			ja
Boeing	B757-300 ^g	2,67	2,44	2,39	2,29			ja
Bombardier	CRJ100			1,65				
Bombardier	CRJ200			1,65				
Bombardier	CRJ900			2,35				ja
Bombardier	DHC-8-300			1,20				
Bombardier	DHC-8-400			1,65				ja
Dornier	Do 328			1,28				
Embraer	ERJ135 ^h			1,80	1,69			ja
Embraer	ERJ140 ⁱ			1,81	1,69			ja
Embraer	ERJ145 ^j			1,81	1,66			ja
Embraer	E170 ^k	1,56	1,47	1,55	1,45			
Embraer	E175 ^l	1,55	1,46	1,58	1,42			
Embraer	E190 ^m	1,68	1,58	2,11	1,93			ja
Embraer	E195 ⁿ	1,65	1,57	2,08	1,94			ja
Fokker	F70	1,32		1,59				
Fokker	F100	1,46		1,48		1,55		
McDonnell Douglas	MD-81 ^o	1,30	1,10	1,40	1,20	1,70	1,40	
McDonnell Douglas	MD-82 ^o	1,30	1,10	1,40	1,20	1,70	1,40	
McDonnell Douglas	MD-83 ^o	1,30	1,10	1,40	1,20	1,70	1,40	
McDonnell Douglas	MD-88 ^o	1,30	1,10	1,40	1,20	1,70	1,40	
McDonnell Douglas	MD-87 ^o	1,30	1,10	1,40	1,30	1,60	1,50	
McDonnell Douglas	MD-90 ^p	1,30	1,20	1,40	1,30	1,60	1,50	
Saab	2000			1,90				ja

a	(Airbus 2011b)	g	(Boeing 1999)	m	(Embraer 2011c)
b	(Airbus 2011c)	h	(Embraer 2008)	n	(Embraer 2011d)
c	(Airbus 2011a)	i	(Embraer 2005)	o	(Boeing 1989)
d	(Airbus 2011d)	j	(Embraer 2007)	p	(Boeing 2002)
e	(Boeing 2001)	k	(Embraer 2011a)		
f	(Boeing 2007)	l	(Embraer 2011b)		

Beim Auswerten von Tabelle 4.1 ist zu erkennen, dass bis zu einer Höhe von ca. 1,65 m die Be- und Entladung ohne ein Förderband durchgeführt werden kann. Es ist zudem bei einigen im Grenzbereich liegenden Flugzeugtypen möglich, den Entladevorgang ohne Förderband und den Beladevorgang mit einem Förderband durchzuführen. Dies ist jedoch nach den zuvor erwähnten Zeitgründen nicht zweckmäßig und daher nur in Ausnahmefällen wirklich sinnvoll.

Um eine Be- und Entladung autark von Förderbändern zu ermöglichen, muss die Schwellenhöhe der Ladeluke demnach unterhalb der Höhe 1,65 m liegen. Zur Ermittlung der optimalen Schwellenhöhe ist es zweckmäßig, eine differenzierte Betrachtung der Ladevorgänge vorzunehmen, da zu erwarten ist, dass für verschiedene Ladetätigkeiten verschiedene Höhen von Vorteil sind. Eine Aufteilung in die zwei Bereiche Beladung und Entladung kann so verschiedene Werte für die Schwellenhöhe liefern, aus denen danach die optimale Schwellenhöhe ermittelt werden kann.

4.2 Beladung

Bei der Beladung werden die Ladungsstücke vom Ladepersonal in der Regel von Trolleys und teilweise auch von Plattenwagen in die Flugzeuge geladen. Die Plattenwagen sind den Trolleys ähnlich, haben jedoch eine ca. doppelt bis dreimal so große Ladefläche ohne Seitenwände. Beide haben eine durchschnittliche Ladeflächenhöhe von 0,60 m. Im Allgemeinen werden bis zu vier Schichten Koffer auf ihnen gestapelt. Dementsprechend liegen die obersten Koffer auf einer Höhe von ca. 1,60 m. Es ist aufgrund der Schwerkraft einfacher und somit auch schneller, Gegenstände von einer höheren Ebene auf eine niedrigere zu bewegen, also beispielsweise die Koffer oben vom Trolley nach unten auf den Ladeboden des Flugzeugs zu bewegen. Dies bedeutet, dass die Schwelle der Ladeluke für die Beladevorgänge möglichst niedrig sein sollte. Sie sollte daher maximal der Höhe eines entladenen Trolleys entsprechen. Jedoch gibt es auch hier Einschränkungen. Ist die Schwelle zu niedrig, könnten die Ladungsstücke wie auch der Ladeboden des Flugzeugs Schaden nehmen. Es erweist sich an dieser Stelle als guter Kompromiss, die Schwellenhöhe der Ladeluke für die Beladung an die Höhe der Trolleys anzupassen.

Mit der durchschnittlichen Höhe eines entladenen Trolleys von $h_{S,T,leer}=0,60$ m ergibt sich für die optimale Schwellenhöhe der Ladeluke zum Beladen die folgende Höhe.

$$h_{S,laden} = h_{S,T,leer} = 0,60 \text{ m} \quad (4.1)$$

4.3 Entladung

Bei den Entladevorgängen ist es effektiver, Gegenstände von einer höheren Ebene auf eine niedrigere Ebene zu bewegen. Die niedrigere Ebene ist in diesem Fall der Ladeboden des Trolleys mit einer Höhe von 0,60 m. Diese Höhe steigt, wie oben beschrieben, bei der Beladung des Trolleys auf maximal ca. 1,60 m. Die Schwellenhöhe der Ladeluke sollte für den Entladevorgang demnach bei ca. 1,60 m liegen. Dadurch werden die Ladungsstücke immer mindestens auf einer Ebene bewegt.

Mit der durchschnittlichen Höhe eines beladenen Trolleys von $h_{S,T,voll}=1,60$ m ergibt sich für die optimale Schwellenhöhe der Ladeluke zum Entladen die folgende Höhe.

$$h_{S,entladen} = h_{S,T,voll} = 1,60 \text{ m} \quad (4.2)$$

4.4 Auswertung

Es ist zu erkennen, dass die Optima der separat ermittelten Schwellenhöhen aufgrund der unterschiedlichen Bewegungsabläufe bei Be- und Entladung different sind. Es muss an dieser Stelle demnach ein Kompromiss zwischen diesen beiden Werten ermittelt werden.

Das Hauptkriterium für eine Optimierung der Schwellenhöhe eines Flugzeugs ist die Zeit, die für die Ladevorgänge benötigt wird. Die Dauer der Beladung entspricht nach eigenen Erfahrungen der Dauer der Entladung. Aus diesem Grund sollte für beide Ladevorgänge der gleiche Faktor hinsichtlich der Gewichtung angewendet werden.

Die optimale Schwellenhöhe des Frachtraums eines Flugzeugs kann somit als Mittelwert der beiden unter Entladung und Beladung ermittelten Werte abgebildet werden.

$$h_{S,opt} = \frac{h_{S,laden} + h_{S,entladen}}{2} = \frac{0,60 \text{ m} + 1,60 \text{ m}}{2} = 1,20 \text{ m} \quad (4.3)$$

Diese Höhe entspricht ungefähr der Brusthöhe eines 1,80 m großen Laders. Ein Vorteil der ermittelten Schwellenhöhe des Frachtraums ist, dass eine Höhe von 1,20 m auch von Personen mit geringerer Körpergröße, wie sie beispielsweise im asiatischen Raum (Körpergröße ca. 1,71 m (**Dyszluk 2007**)) vorkommt, problemlos und ohne Hilfsmittel zu erreichen ist.

Bei der Bewertung von Flugzeugentwürfen ist es erforderlich, auch eine Bewertung hinsichtlich der Be- und Entladbarkeit des Frachtraums durchzuführen. Einen Anhaltspunkt für diese Bewertung bietet hierbei eine Arbeit des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), die

sich mit der Wartbarkeit von Flugzeugen auseinander setzt (**Brink 1973**, Abschnitt 3.2.5). Die Erreichbarkeit für das Wartungspersonal wird danach mit einem Faktor bestimmt, der mit abnehmender Erreichbarkeit zunimmt (Bild 4.2).

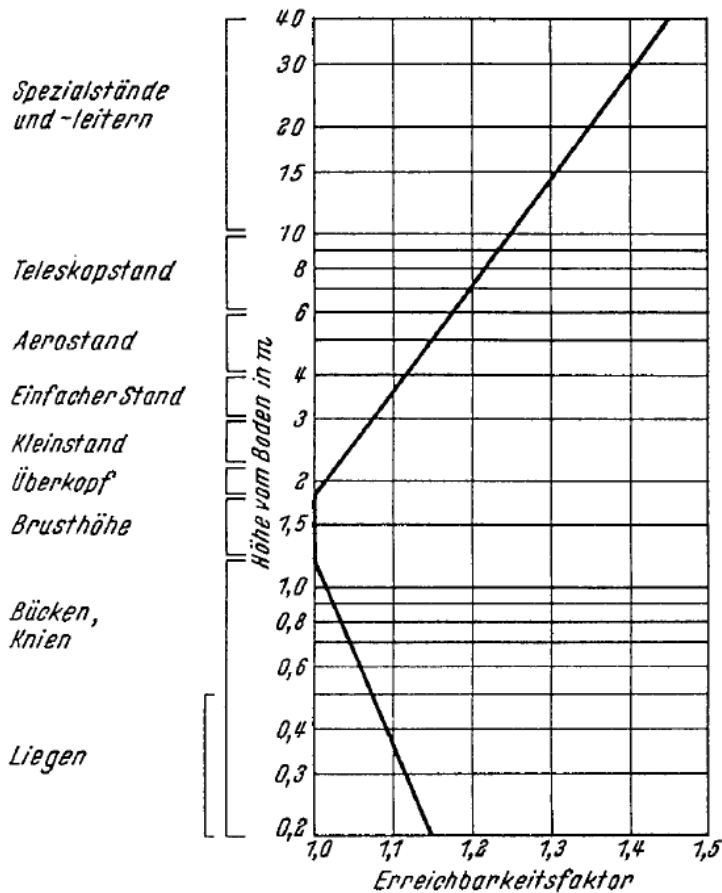


Bild 4.2 Diagramm zur Bestimmung der Erreichbarkeit (**Brink 1973**)

Tabelle 4.2 Wertetabelle zum Diagramm in Bild 4.2

x	1	1,01	1,04	1,06	1,07	1,09	1,11	1,12	1,15	1,17	1,22	1,25	1,31	1,35
y _o	1,8	2			3			4		6	8	10	15	20
y _u	1,2	1	0,8	0,6		0,4	0,3		0,2					

Eine Auswertung des in Bild 4.2 dargestellten Diagramms und der daraus erzeugten Wertetabelle Tabelle 4.2 ergibt für die Funktion oberhalb der Höhe 1,20 m

$$y_o = 0,002e^{6,7927 \cdot x} \quad , \quad (4.4)$$

für den Bereich unterhalb der Höhe 1,20 m lautet die Funktion

$$y_u = 209899e^{-12,7 \cdot x} \quad . \quad (4.5)$$

Der Zahlenwert im Exponenten dieser Exponentialfunktionen beschreibt die Steigung, während der Zahlenwert in der Basis den Vorfaktor darstellt. Für die weiteren

Berechnungsschritte soll ausschließlich die Steigung verwendet werden, da sich das Optimum der Schwellenhöhe der Ladeluke von den in Bild 4.2 dargestellten Werten unterscheidet. Es wird angenommen, dass die Schwellenhöhe der Ladeluke konstant ist und somit nicht durch den Beladezustand des Flugzeuges beeinflusst wird. Eine Umformung der Formeln (4.4) und (4.5) ergibt nun für den Bereich oberhalb der Höhe 1,20 m den Vorfaktor

$$F_O = e^{\ln 1,2 - 6,7972} = 0,0013408 \quad , \quad (4.6)$$

für den Bereich unterhalb der Höhe 1,20 m lautet der Vorfaktor wie folgt:

$$F_U = e^{\ln 1,2 + 12,7} = 393297,45 \quad (4.7)$$

Mit den ermittelten Vorfaktoren ergeben sich nun die Funktionen zur Beschreibung des Erreichbarkeitsfaktors der Schwellenhöhe des Laderaums. Sie lautet für den Bereich oberhalb der optimalen Schwellenhöhe von 1,20 m

$$y_O = 0,0013408 \cdot e^{6,7972 \cdot x} \quad , \quad (4.8)$$

der Bereich unterhalb der Höhe 1,20 m wird mit folgender Formel beschrieben:

$$y_U = 393297,45 \cdot e^{-12,7 \cdot x} \quad (4.9)$$

Für die Anwendung ist es nun erforderlich, die Formeln umzustellen. Dadurch kann der Erreichbarkeitsfaktor in Abhängigkeit von der Schwellenhöhe der Laderäume bestimmt werden. Die Berechnungsformel zur Bestimmung des Erreichbarkeitsfaktors in Abhängigkeit von der Schwellenhöhe für den Bereich oberhalb der optimalen Schwellenhöhe von 1,20 m lautet

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y_O}{0,0013408}\right)}{6,7972} \quad , \quad (4.10)$$

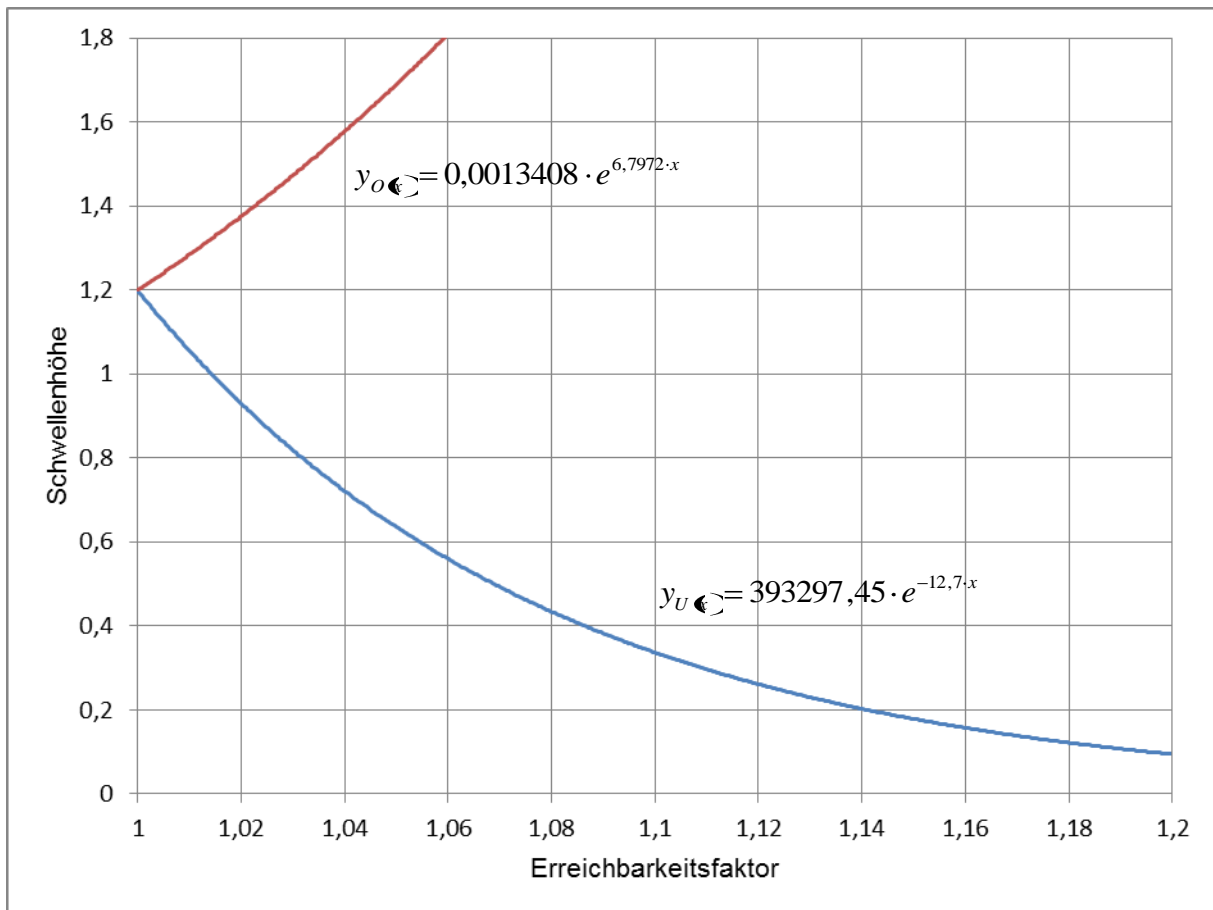
die Formel für den Bereich unterhalb der Höhe 1,20 m lautet

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y_U}{393297,45}\right)}{-12,7} \quad . \quad (4.11)$$

Aus den Formeln (4.10) und (4.11) lässt sich eine Wertetabelle erstellen (Tabelle 4.3). Dieser sind die Erreichbarkeitsfaktoren für die zu bewertenden Schwellenhöhen zu entnehmen.

Tabelle 4.3 Wertetabelle zur Ermittlung der Erreichbarkeitsfaktoren

Schwellenhöhe [m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Erreichbarkeitsfaktor	1,196	1,141	1,109	1,086	1,069	1,054	1,042	1,032	1,023
Schwellenhöhe [m]	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Erreichbarkeitsfaktor	1,014	1,007	1,000	1,012	1,022	1,033	1,042	1,051	1,059

**Bild 4.3** Diagramm zur Ermittlung des Erreichbarkeitsfaktors

Das Diagramm in Bild 4.3 visualisiert nun die beiden unter (4.8) und (4.9) ermittelten Funktionen. Das Diagramm kann, wie auch die Wertetabelle (Tabelle 4.3) und die Formeln (4.10) und (4.11), zur Bestimmung des Erreichbarkeitsfaktors benutzt werden.

5 Frachtraum

Mit dem Frachtraum (Cargo Compartment) bezeichnet man den Bereich des Flugzeugs, der zum Transportieren von Gepäck, Fracht und Post vorgesehen ist.

5.1 Grundlagen

Der Frachtraum befindet sich bei den meisten Passagierflugzeugen unterhalb der Passagierkabine, so auch bei der Boeing B737 (Bild 5.1). Die Lage vor oder hinter der Kabine ist ebenfalls bei vielen Flugzeugtypen verbreitet. Als Beispiel sollen hier die Flugzeuge des Herstellers ATR dienen, bei denen sich die Frachträume vor wie auch hinter der Passagierkabine befinden (Bild 5.2).

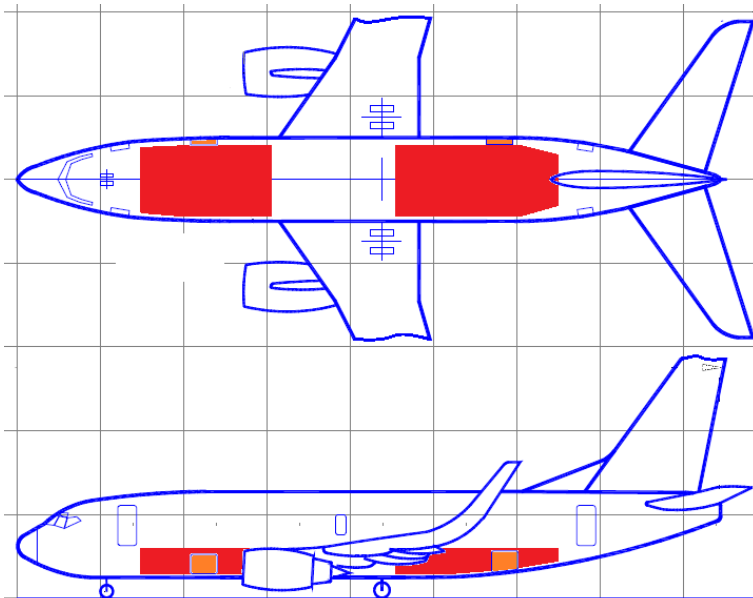


Bild 5.1 Frachträume einer Boeing B737 (nach Boeing 2007)

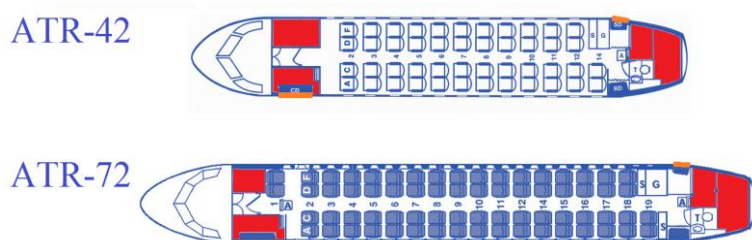


Bild 5.2 Frachträume der ATR-42 und ATR-72 (nach Avanti 2012)

Bei Flugzeugen werden die Frachträume in verschiedene Sektionen (Holds) unterteilt. Diese sind normalerweise durch Netze getrennt, die von Hand entfernt oder geöffnet werden können (siehe auch Bild 5.2 und Bild 5.14). Bei der Beladung erhält das Ladepersonal vom Ramp Agenten, der die Flugzeugabfertigung koordiniert, Informationen über die Aufteilung der Beladung in Form einer Ladeanweisung (Loadsheet). Auf dieser ist vermerkt, wie viel Gepäck, Fracht oder Post in die einzelnen Sektionen geladen werden soll. Die Sektionen dienen der Aufteilung der Ladung zur Bestimmung des Schwerpunktes (Center of Gravity, COG) des Flugzeugs. Zudem werden sie bei vielen Luftverkehrsunternehmen beispielsweise auch zur Sortierung des Gepäcks benutzt. So werden etwa die Gepäckstücke für die Destination (Local Baggage, LC) von denen getrennt, die ihren Bestimmungsort über eine Umsteigeverbindung erreichen (Transfer Baggage, TB). Oft wird auch das Gepäck der Passagiere der Business oder Ersten Klasse (First Class Baggage, FB) extra geladen, da dieses beim Ausladen höchste Priorität hat.

Neben den erwähnten Frachträumen befindet sich in der Regel ein Teil des Frachtraums in Form von Gepäckfächern (Overhead Stowage Compartment) über den Sitzen innerhalb der Kabine (Bild 5.3). Diese Gepäckfächer haben allerdings nur ein verhältnismäßig geringes Fassungsvermögen und sind lediglich für den Transport von Handgepäck vorgesehen.



Bild 5.3 Overhead Stowage Compartments im Airbus A320 (**Airbus 2012b**)

Es gibt zwei Arten von Frachtflugzeugen. Zunächst gibt es Frachtflugzeuge, die auf Grundlage von Passagierflugzeugen konstruiert wurden. Diese Flugzeuge haben dann meist mehrere Decks zum Aufnehmen der Fracht. Als Beispiel soll hier der Airbus A330-200F (Bild 5.4) dienen, der auf der Passagierversion des Airbus A330-200 basiert. Um aus einem Passagierflugzeug ein Frachtflugzeug herzustellen, sind einige Modifikationen erforderlich. Diese Modifikationen beinhalten u.a. eine Verstärkung des Kabinenbodens sowie der Einbau einer großen Ladeluke im Hauptdeck. Insbesondere beim Airbus A330-200F war es jedoch zusätzlich notwendig, das Bugfahrwerk zu verlängern. Dadurch wurde erreicht, dass der Rumpf im Bodenstandfall in einer horizontalen Lage liegt. Dies ist für die Be- und Entladungsvorgänge erforderlich.



Bild 5.4 Frachtraum im Hauptdeck eines Airbus A330-200F (Airbus 2012c)

Eine weitere Kategorie der Frachtflugzeuge bilden die Großraumfrachtflugzeuge, wie die Antonow An-124 (Bild 5.5) oder der Airbus A400M. Bei diesen Flugzeugen bildet nahezu der gesamte Rumpf den Frachtraum. Großraumfrachtflugzeuge finden häufig im militärischen Transportbereich Verwendung, werden aber teilweise auch für zivile Transporte eingesetzt, insbesondere für den Transport von sperrigen oder schweren Gütern. Flugzeuge dieser Kategorie haben im Allgemeinen am Heck ein großes Frachttor, das häufig gleichzeitig als Laderampe dient. Es gibt auch einige Großraumfrachtflugzeuge, die zusätzlich am Bug über ein Frachttor verfügen. Dieses wird meistens, wie bei der Antonow An-124, nach oben geklappt. Bei einigen wenigen Flugzeugtypen wird auch der gesamte Bug zur Seite geklappt.



Bild 5.5 Großraumfrachtflugzeug Antonow AN-124 (Wikipedia 2012d)

In dieser Arbeit sollen in erster Linie die verschiedenen Parameter und Eigenschaften der Frachträume von Passagierflugzeugen untersucht werden. Diese Untersuchungen lassen sich auch auf Frachtflugzeuge projizieren, sofern sie nicht aus dem Bereich der Großraumfrachtflugzeuge kommen, da sich diese in der Flugzeugabfertigung deutlich unterscheiden.

Die Parameter und Eigenschaften der Frachträume beeinflussen die Be- und Entladung von Flugzeugen, neben der Schwellenhöhe der Ladeluke (Kapitel 4), am signifikantesten.

5.2 Geometrie des Frachtraums

Die Geometrie des Frachtraums ist stark vom Rumpfqerschnitt (Cross Section) beeinflusst. Nahezu alle Passagierflugzeuge, die sich derzeit im Einsatz oder in der Entwicklung befinden, sind mit einer Druckkabine ausgestattet. Dies hat zur Folge, dass die Rümpfe über einen Kreis oder kreisähnlichen Querschnitt verfügen.

Die Größe der Passagierkabine ist ein weiterer beeinflussender Faktor für die Geometrie des Frachtraums. Flugzeuge werden dahingehend konstruiert, dass die Rumpfbreite auf Höhe der Armlehne ihr Maximum erreicht. Bei Flugzeugen mit nur wenigen Sitzen pro Reihe (bis ca. 4) ist es daher häufig nicht möglich, einen ausreichend großen Frachraum unter der Passagierkabine zu realisieren. Dieser muss dann vor oder hinter der Kabine platziert werden, wie auf Bild 5.2 zu erkennen ist.

An dieser Stelle folgen zur näheren Erläuterung einige Abbildungen von Rumpfqerschnitten, welche verschiedene Extreme darstellen.

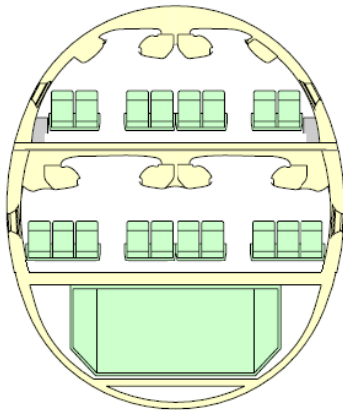


Bild 5.6 Rumpfqerschnitt Airbus A380
(Airbus 2011e)

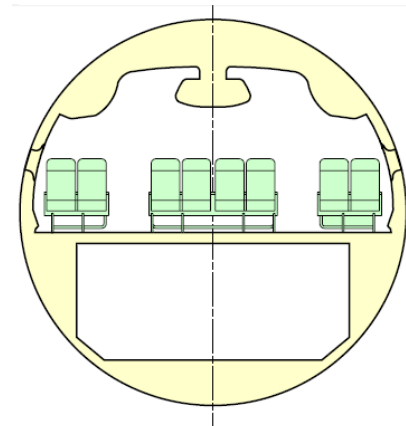


Bild 5.7 Rumpfqerschnitt Airbus A340
(Airbus 2012d)

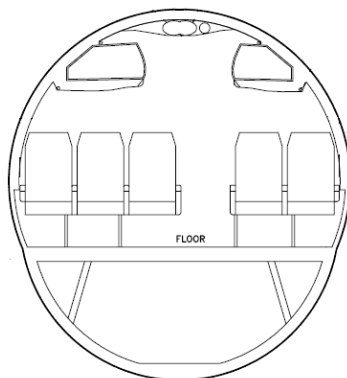


Bild 5.8 Rumpfqerschnitt Boeing B717
(Boeing 2001)

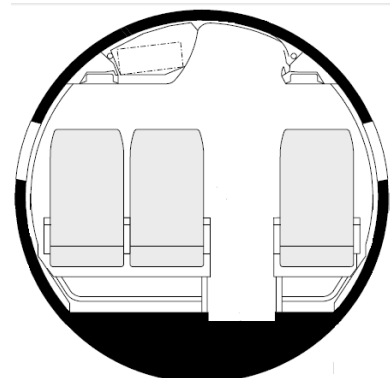


Bild 5.9 Rumpfqerschnitt Embraer EMJ135
(Embraer 2008)

In Bild 5.6 ist der Rumpfquerschnitt eines Airbus A380 dargestellt. Dieses Flugzeug hat einen ovalen Rumpf, was dem Umstand geschuldet ist, dass es über die gesamte Kabinenlänge über zwei Passagierdecks verfügt. Im unteren Rumpfbereich des Flugzeugs ist der Frachtraum. Dieser bietet die Möglichkeit der Containerbeladung. Es können über einen Großteil der Frachtraumlänge beispielsweise zwei LD3-Container nebeneinander aufgenommen werden. Lediglich im Bereich des Hauptfahrwerks ist dies nicht möglich, da hier der Frachtraum etwas schmaler ist (Airbus 2011e, Abschnitt 2.6.1). Die Frachträume von nahezu allen Großraumflugzeugen sind für die Aufnahme von zwei LD-3-Containern nebeneinander dimensioniert. So auch der in Bild 5.7 dargestellte Airbus A340. Dieses Flugzeug verfügt über einen Kreisquerschnitt. Der Querschnitt des Rumpfes ist dabei dem ersten Modell des europäischen Flugzeugherstellers entliehen, dem Airbus A300. In Bild 5.8 ist der Rumpfquerschnitt einer Boeing B717 dargestellt. Dieser ist identisch mit dem der Douglas DC-9, da es sich bei der Boeing B717 lediglich um eine Weiterentwicklung dieses Flugzeugmusters handelt. Als Besonderheit wurde für den Rumpf ein Doppelkreisquerschnitt (Double Bubble) gewählt, um im Unterdeck genügend Platz für Gepäck, Fracht und Post vorzuhalten. Auch die Boeing B737 und die Flugzeuge der Airbus A320-Familie haben einen Doppelkreisquerschnitt. Dieser ist jedoch bei beiden Mustern weitaus weniger ausgeprägt. Als viertes Beispiel stellt Bild 5.9 den Rumpfquerschnitt der Embraer ERJ135 dar. Dieser Flugzeugtyp verfügt über maximal drei Sitze pro Reihe. Aufgrund des geringen Radius ist der runde Kreisquerschnitt für einen ausreichend großen Frachtraum unterhalb der Passagierkabine zu klein und dadurch nicht geeignet. Bei der Embraer ERJ135 befindet sich der Frachtraum deshalb am Heck, zwischen Passagierkabine und hinterem Druckschott. Bei Flugzeugen der Bombardier CRJ-Serie (bis zu vier Sitze pro Reihe) sind ab der Version CRJ-700 unter der Passagierkabine verhältnismäßig kleine Frachträume installiert (Bild 5.10). Diese sind mit Schlitten ausgestattet, die sich von Hand verschieben lassen und so eine Be- und Entladung von der Ladeluke aus ermöglichen. Dieser Frachtraum wird aber aufgrund seiner geringen Größe fast ausschließlich für Handgepäck benutzt, da die innerhalb der Kabine befindlichen Handgepäckfächer nur ein sehr geringes Fassungsvermögen haben. Der eigentliche Frachtraum dieser Flugzeuge liegt hinter der Passagierkabine.

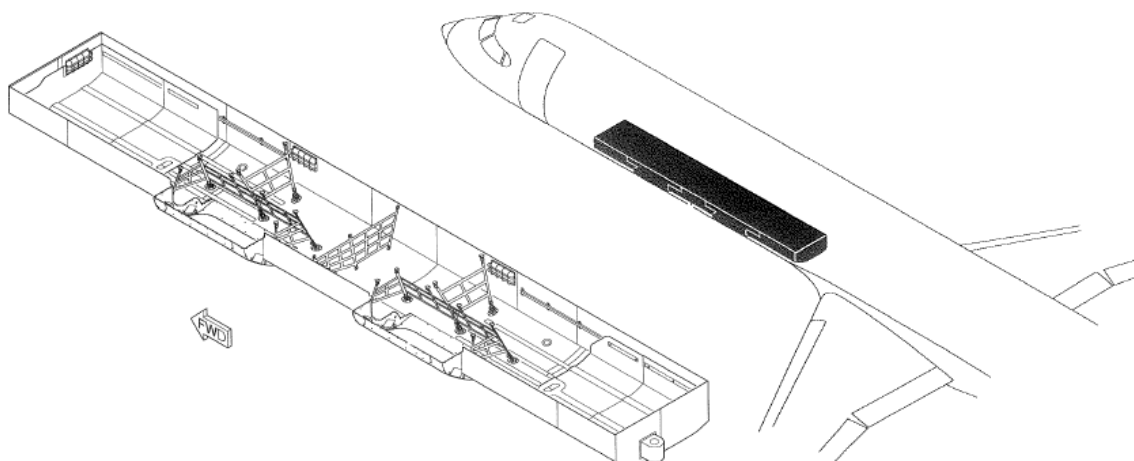


Bild 5.10 Frachtraum für Handgepäck bei der Bombardier CRJ900 (Politecnico 2012)

5.3 Frachtraumhöhe

Wie bereits in der Einführung dieses Kapitels beschrieben, hat der Frachtraum innerhalb eines Flugzeugs je nach Flugzeugart und Hersteller eine unterschiedliche Lage. Daraus folgt, dass auch die Höhe der Frachträume verschiedener Flugzeugtypen divergent ist.

5.3.1 Frachträume im Hauptdeck (vor/hinter der Passagierkabine)

Bei Frachträumen, die vor oder hinter der Passagierkabine liegen, ist die Frachtraumhöhe in der Regel identisch mit der Höhe der Passagierkabine. Die Höhe von Kreis- oder kreisähnlichen Rumpfquerschnitten erreicht in der Mitte ihr Maximum. Aus diesem Grund ist bei vielen Flugzeugtypen an dieser Stelle der Gang in der Passagierkabine. Die Höhe der Passagierkabine im Gang erlaubt in der Regel das aufrechte Gehen eines durchschnittlich großen Erwachsenen. Diese Höhe hat dementsprechend auch der Frachtraum an seiner höchsten Stelle (Bild 5.12).

5.3.2 Beispiel Bombardier CRJ900

Als Beispiel für einen solchen Frachtraum soll an dieser Stelle der hinter der Passagierkabine gelegene Frachtraum (Bild 5.12, Bild 5.13) der auf Bild 5.11 dargestellten Bombardier CRJ900 betrachtet werden.

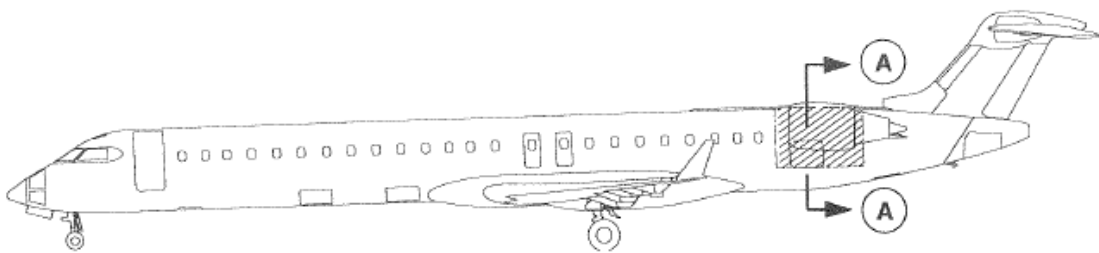


Bild 5.11 Bombardier CRJ900 mit straffiert dargestelltem Frachtraum (Politecnico 2012)

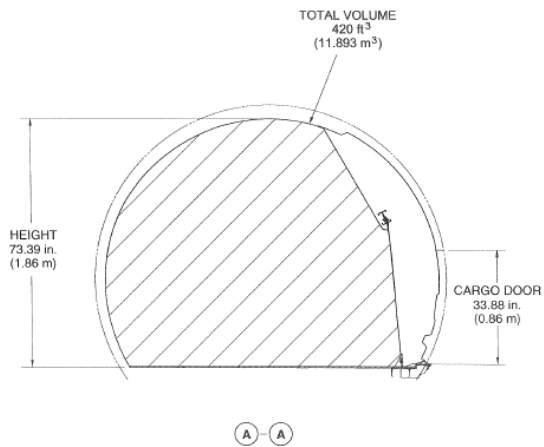


Bild 5.12 Schnitt durch Frachtraum mit Bemaßung (Politecnico 2012)

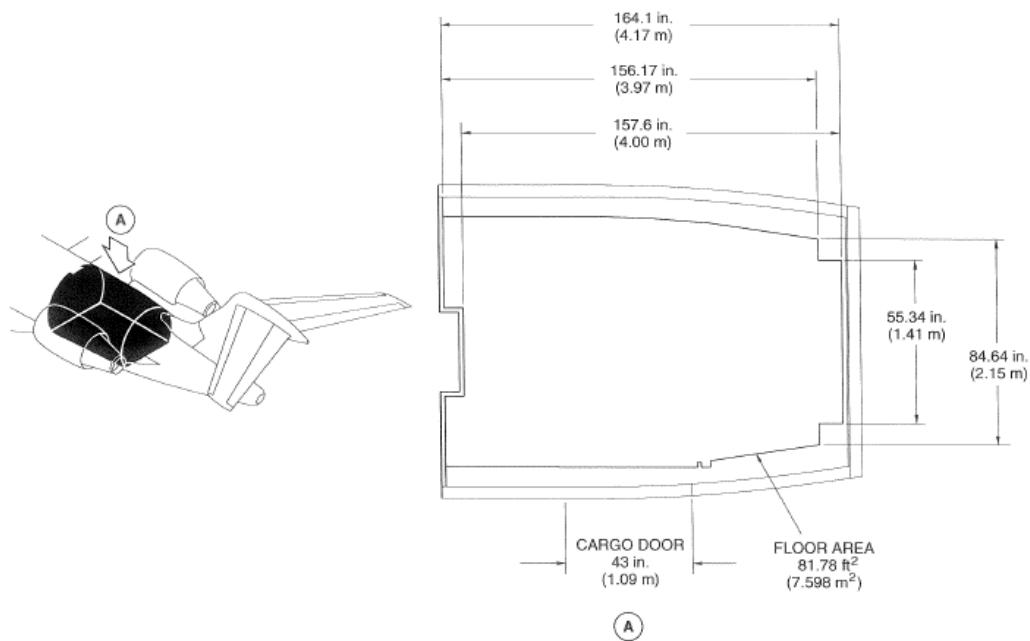


Bild 5.13 Isometrische Ansicht und Grundriss des Frachtraums (Politecnico 2012)

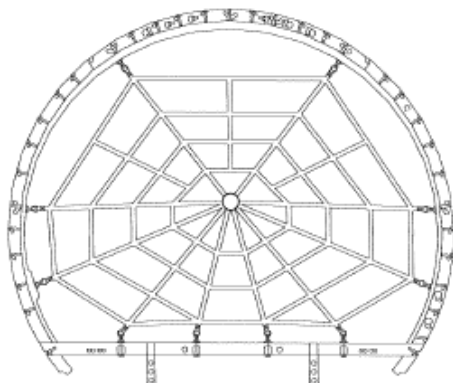


Bild 5.14 Trennnetz in der Mitte des Frachtraums (Politecnico 2012)

Der Frachtraum der Bombardier CRJ900 ist in zwei Sektionen aufgeteilt, die durch ein Netz voneinander getrennt sind (Bild 5.14). Die Schwelle der Ladeluke liegt, wie in Bild 5.12 zu erkennen, auf Bodenhöhe des Frachtraums. Frachträume wie diesen findet man in ähnlicher Form bei vielen Flugzeugtypen. Sie unterscheiden sich dann lediglich in Größe, Form und eventuell der Sektorenaufteilung.

5.3.3 Be- und Entladung von Frachträumen im Hauptdeck (vor/hinter der Passagierkabine)

Zum Be- und Entladen von Frachträumen, wie sie die Bombardier CRJ900 hat, sind in der Regel zwei Lader erforderlich. Lediglich eine Person arbeitet im Frachtraum, da die maximale Entfernung zu der Ladeluke im Allgemeinen gering ist. Eine weitere Person arbeitet außerhalb des Frachtraums, unabhängig davon, ob ein Förderband eingesetzt wird oder nicht.

Bei der Entladung erweist sich die ebenerdige Schwelle der Ladeluke als vorteilhaft, da man die Ladungsstücke dadurch immer von oben nach unten bewegen kann. Der Lader hat dabei die Möglichkeit selbst festzulegen, ob er im Stehen oder auf den Knien arbeiten möchte. Normalerweise werden die oberen Schichten im Stehen entladen, während die unteren Schichten, bis zu einer Höhe von ca. 1,20 m, in der hingeknieten Körperhaltung entladen werden.

Der Vorteil bei der Entladung ist allerdings der Nachteil bei der Beladung. Da die Ladungsstücke auf Höhe der Ladelukenschwelle in das Flugzeug gelangen, können sie unproblematisch bis zu einer Stapelhöhe von ca. 1,20 m vom Lader aus der hingeknieten Körperhaltung gestapelt werden. Danach wird dieses Vorgehen jedoch zusehends schwerer und die Arbeit muss stehend fortgeführt werden. Dabei müssen die Gepäckstücke jedoch vom Boden auf die zunehmende Stapelhöhe angehoben werden, was nicht ohne zusätzliche körperliche Anstrengungen zu bewerkstelligen ist.

Es liegt nah, dass ein Anheben der Schwelle der Ladeluke auf einen Mittelwert zwischen Boden und Stehhöhe (bis ca. 0,90 m) die Lösung des Problems darstellen würde. Dies ist jedoch nicht sinnvoll, da die Frachträume der betrachteten Art meist nicht immer bis zur Decke beladen werden. Teilweise werden die einzelnen Sektionen aus Gründen der Gewichtsverteilung (Weight and Balance) nur bis zur Hälfte beladen. Dabei ist eine vollständige Be- und Entladung aus der hingeknieten Körperhaltung möglich. Außerdem könnte ein Anheben der Schwelle des Frachtraums in Konflikt zu den in Kapitel 4 ermittelten Ergebnissen stehen.

Wie bereits dargestellt, haben Frachträume im Hauptdeck grundsätzlich Stehhöhe. Für eine später folgende Bewertung dieser Höhe müssen nun konkrete Werte ermittelt werden. Als

Minimalwert wird dafür die Höhe 1,85 m gewählt, da hier ein durchschnittlich großer Lader mit Arbeitsschuhen und Anstoßkappe (Kopfbedeckung zum Schutz) aufrecht stehen und dadurch ergonomisch arbeiten kann.

$$h_{\min, \text{Stehhöhe}} = 1,85 \text{ m} \quad (5.1)$$

Als maximale Höhe für einen Frachtraum mit Stehhöhe sollte die Höhe 2,00 m gewählt werden, da das problemlose Be- und Entladen von Ladungsstücken so noch möglich ist. Eine größer gewählte Höhe würde insbesondere den Beladevorgang erheblich erschweren.

$$h_{\max, \text{Stehhöhe}} = 2,00 \text{ m} \quad (5.2)$$

5.3.4 Frachträume im Unterdeck

Frachträume von Flugzeugen, die unterhalb der Passagierkabine im Unterdeck gelegen sind, haben grundsätzlich einige Besonderheiten. Gemeinhin gibt es einen vorderen und einen hinteren Frachtraum. Bei Flugzeugen mit Tiefdecker Konfiguration werden die Frachträume durch den Flügelmittelkasten und den Fahrwerksschacht unterbrochen. Beispiele hierfür sind der Airbus A320 oder die Boeing B737 (siehe Bild 5.1). Bei Flugzeugen mit Hochdecker Konfiguration erfolgt die Trennung lediglich durch den Fahrwerksschacht (Avro RJ85/RJ100, Antonow An-148). Die einzelnen Frachträume haben normalerweise jeweils ein bis zwei Ladeluken zum Be- und Entladen. Eine weitere Besonderheit von Frachträumen im Unterdeck ist, dass sich insbesondere der hintere Frachtraum zum Heck des Flugzeugs hin horizontal wie auch vertikal verjüngt. Dies ist auch auf Bild 5.1 zu erkennen.

Unterhalb der Passagierkabine gelegene Frachträume können bezüglich ihrer Höhe in zwei Kategorien aufgeteilt werden. Zum einen gibt es Frachträume, die für den Transport von Standardcontainern vorgesehen sind. Zum anderen gibt es Frachträume, die lediglich für den Transport von losen Transportgütern (Bulk Load) geeignet sind. Der verjüngte Bereich des Frachtraums ist, aufgrund des zum Heck hin ansteigenden Frachtraumbodens, nicht für Standardcontainer geeignet. Bei Flugzeugen, die für diese Art des Transportes konzipiert sind, ist dieser Bereich daher grundsätzlich den losen Transportgütern vorbehalten. Er hat aus diesem Grund bei vielen Flugzeugmustern eine eigene Ladeluke.

Zu der erst genannten Kategorie der Frachträume zählen sämtliche Frachträume von Großraumflugzeugen. Diese sind in der Höhe an die ULD-Standardcontainer, z.B. LD3, angepasst, die eine Höhe von ca. 1,63 m (64 Inch) haben. Die Frachträume sind aus Gründen der Brandschutzsicherheit, der Luftzirkulation und nicht zuletzt der Manövrierfähigkeit der Container innerhalb des Frachtraums etwas höher als die Standardcontainer.

Tabelle 5.1 zeigt die Frachtraumhöhen einiger Großraumflugzeuge. Dabei ist zu erkennen, dass die Höhen zwischen 0,05 m und 0,15 m über der Standardcontainerhöhe liegen.

Tabelle 5.1 Frachtraumhöhen von Großraumflugzeugen

Hersteller	Flugzeugtyp	Frachtraumhöhe
		m
Airbus	A300 ^a	1,78
Airbus	A310 ^b	1,78
Airbus	A330 ^c	1,71 (1,75 vorne)
Airbus	A340 ^d	1,71 (1,75 vorne)
Airbus	A380 ^e	1,75
Boeing	B747 ^f	1,68
Boeing	B767 ^g	1,70
Boeing	B777 ^h	1,70
McDonnell Douglas	DC-10 ⁱ	1,68
McDonnell Douglas	MD-11 ^j	1,68

^a (Airbus 2009a) ^e (Airbus 2011e) ⁱ (Boeing 2011b)
^b (Airbus 2009b) ^f (Boeing 2011) ^j (Boeing 2011c)
^c (Airbus 2012d) ^g (Boeing 2005)
^d (Airbus 2012a) ^h (Boeing 2011a)

Bei den Standardrumpfflugzeugen sind, wie bereits erläutert, lediglich die Flugzeuge der Airbus A320-Familie und die selteneren Tupolew Tu-204/214 für den Transport von ULD-Standardcontainer im Unterdeck geeignet. Bei diesen Flugzeugen werden allerdings andere Container als bei den Großraumflugzeugen verwendet. Die sogenannten LD3-45W haben eine an den kleineren Rumpf angepasste Form und eine Höhe von ca. 1,14 m (45 Inch). Die Frachtraumhöhen können Tabelle 5.2 entnommen werden.

Tabelle 5.2 Frachtraumhöhen von ULD-fähigen Standardrumpfflugzeugen

Hersteller	Flugzeugtyp	Frachtraumhöhe
		m
Airbus	A319 ^a	1,24
Airbus	A320 ^b	1,24
Airbus	A321 ^c	1,24

^a (Airbus 2011c)
^b (Airbus 2011a)
^c (Airbus 2011d)

Alle anderen Standardrumpfflugzeuge mit Frachtraum im Unterdeck sind für eine Be- und Entladung von Hand vorgesehen. Deshalb ist es nicht erforderlich, dass in den Frachträumen bestimmte Maße eingehalten werden müssen. Dies bedeutet, dass sich die Frachtraumhöhen der unterschiedlichen Flugzeugtypen sehr voneinander unterscheiden. Durch Tabelle 5.3 soll dieser Eindruck verdeutlicht werden.

Tabelle 5.3 Höhen von Unterdeckfrachträumen mit Handbeladung

Hersteller	Flugzeugtyp	Frachtraumhöhe
		m
Avro (BAe)	RJ85 (146-200)	1,04
Avro (BAe)	RJ100 (164-300)	1,04
Airbus	A320-Familie ^a	1,24
Antonow	An-148	0,75
Boeing	B717-200 ^b	0,99
Boeing	B737-Familie ^c	1,19 (1,12 vorne)
Boeing	B757-Familie ^d	1,37 (1,12 vorne)
Embraer	E-Jets ^e	0,94
Fokker	F70/F100	0,77
McDonnell Douglas	MD-80-Familie ^f	0,99
McDonnell Douglas	MD-90 ^g	0,99

^a	(Airbus 2011a)	^e	(Embraer 2011a)
^b	(Boeing 2001)	^f	(Boeing 1989)
^c	(Boeing 2007)	^g	(Boeing 2002)
^d	(Boeing 1999)		

Die nachfolgenden Überlegungen beschränken sich auf Flugzeuge, die für Handbeladung vorgesehen sind.

Erfahrungsgemäß sind die Frachträume ergonomischer und somit schneller und effektiver zu be- und entladen, wenn sie eine größere Höhe aufweisen. Ein Lader mit einer Körpergröße von 1,80 m kann auf den Knien abgestützt schon bei einer Frachtraumhöhe von ca. 1,15 m mit aufrechtem Rücken arbeiten. Dies schont wesentlich den Rücken und erlaubt so eine schnellere Be- und Entladung. Als Minimum für die optimale Höhe eines Frachtraums, der sich im Unterdeck befindet, wird daher 1,15 m gewählt.

$$h_{\min, \text{Unterdeck}} = 1,15 \text{ m} \quad (5.3)$$

Für das Maximum wird eine Höhe von 1,30 m gewählt. Dadurch lassen sich die Ladungsstücke problemlos aus der hingeknieten Körperhaltung be- und entladen. Über diesem Maß hinaus wird insbesondere der Beladevorgang zusehends schwerer.

$$h_{\max, \text{Unterdeck}} = 1,30 \text{ m} \quad (5.4)$$

Die gewählten Werte spiegeln die Erfahrung von Ladern wieder, die auf Grund der Höhe bevorzugt in den Frachträumen der Boeing B737-Familie, der Boeing B757 oder der Airbus A320-Familie arbeiten. Ist die Frachtraumhöhe geringer, wie z.B. bei der Fokker F70/F100 (0,77 m), muss die Be- und Entladung teilweise umständlich auf dem Rücken liegend durchgeführt werden. Dies führt sehr schnell zu Erschöpfung seitens der eingesetzten Lader und hat negative Auswirkungen auf die Dauer der Be- und Entladung.

5.3.5 Beispiel Boeing B737

Als Beispiel für einen unter der Passagierkabine gelegenen Frachtraum soll nun der Frachtraum der Boeing B737-Familie beschrieben werden. Die Flugzeuge der Boeing B737-Familie sind neben denen der Airbus A320-Familie die global am weitesten verbreiteten Flugzeugmuster und sind praktisch auf jedem größeren Flughafen der Welt anzutreffen. Oft werden sie von Luftverkehrsgesellschaften aus dem Segment der Low-Cost Carrier betrieben. Sie bieten verhältnismäßig gute Voraussetzungen für eine zügige und günstige Flugzeugabfertigung. So wird unter anderem für die vordere Ladeluke kein Förderband benötigt, weil die Schwellenhöhe der Ladeluke (siehe Tabelle 4.1) dies erlaubt. Die Boeing B737 verfügt über zwei Frachträume (Bild 5.15, Bild 5.16 und Bild 5.17). Der Frachtraumraum 1 liegt vor dem Flügelmittelkasten und ist in zwei Sektionen aufgeteilt. Sektion 1 geht von der Ladeluke bis an die vordere Frachtraumwand, Sektion 2 reicht von der Ladeluke bis zu der hinteren Wand des Frachtraums. Außerdem ist noch eine weitere kleine Sektion gegenüber der Ladeluke eingerichtet. Diese wird häufig für das Gepäck der Besatzung benutzt. Je nach Flugzeugversion und der damit verbundenen Länge des vorderen Frachtraums werden für die Be- und Entladung bis zu vier Lader benötigt. Dabei arbeiten ein bis drei Lader im Frachtraum und ein weiterer außerhalb des Flugzeugs. Die Aufteilung des hinteren ist dem vorderen Frachtraum ähnlich. Die Sektion 3 reicht von der Ladeluke bis zur vorderen Frachtraumwand und die Sektion 4 in dem verjüngten Bereich von der Ladeluke bis zur hinteren Wand. Ebenso ist gegenüber der Laderaumluke eine kleine Sektion für das Gepäck der Besatzung eingerichtet.

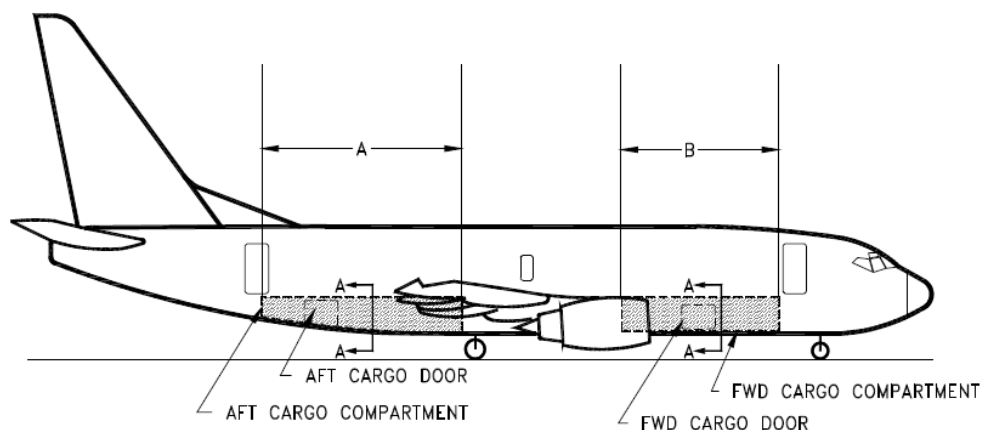


Bild 5.15 Seitenansicht Boeing B737 (Boeing 2007)

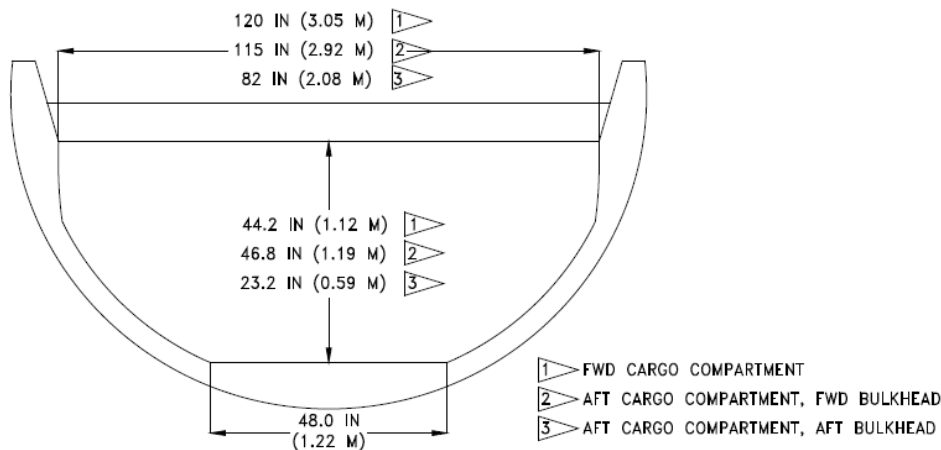


Bild 5.16 Schnitt durch Frachtraum mit Bemaßung (Boeing 2007)

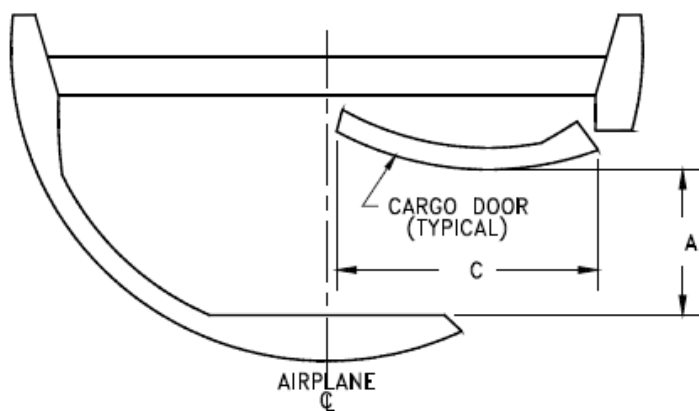


Bild 5.17 Bereich der Ladeluke der Boeing B737 (Boeing 2007)

5.3.6 Be- und Entladung von Frachträumen im Unterdeck

Für die Be- und Entladung eines unter der Passagierkabine gelegenen Frachtraums sind minimal zwei Personen erforderlich. Davon ist mindestens eine Person im Frachtraum tätig. Außerhalb des Frachtraums arbeitet eine weitere Person, unabhängig davon, ob ein Förderband eingesetzt wird oder nicht.

Bei der Beladung eines Frachtraums, der unter der Passagierkabine gelegen ist, erreichen die Ladungsstücke ggf. unter Zuhilfenahme eines Förderbandes die Luke des Frachtraums. Von hier aus werden sie, falls die Länge des Frachtraums dies erfordert, von mindestens einem Lader durch den Frachtraum bewegt, bis sie den letzten Lader erreichen. Dieser stapelt die Ladungsstücke platzsparend übereinander. Dies geschieht, wie bereits erwähnt, in der Regel in der hingeknieten Körperhaltung. Der gesamte Ladungsstapel liegt auf diese Weise im Radius der Arme des Laders, wodurch er ohne große zusätzliche Bewegungen jeden Punkt des Ladungsstapels erreichen kann. Bei zunehmendem Füllstand des Frachtraums verringern sich die zu überwindenden Entfernungen zwischen dem Ladungsstapel und der Luke.

Dadurch sind dann weniger Lader erforderlich, um die Ladungsstücke dem stapelnden Lader zuzuführen.

Die Entladung eines solchen Frachtraums funktioniert auf die umgekehrte Weise.

5.3.7 Optimale Höhe des Frachtraums

An dieser Stelle soll auf Basis der Arbeiten des VDI (**Brink 1973**, Abschnitt 3.2.5), welche schon im Kapitel 4.4 genutzt wurden, eine Möglichkeit zur Bewertung der Frachtrumhöhen geschaffen werden. Diese dient dazu, die Eigenschaften von Flugzeugentwürfen hinsichtlich der Be- und Entladbarkeit zu beurteilen.

Aus Kapitel 5.3.3 geht hervor, dass das Optimum der Höhe eines Frachtraums, der Stehhöhe aufweist, zwischen 1,85 m und 2,00 m liegt. Auf Grundlage der Formeln (4.4) und (4.5) ergeben sich somit durch Einsetzen der beiden Höhen die für die weitere Berechnung der Exponentialfunktionen erforderlichen Vorfaktoren von

$$F_{O,Stehhöhe} = e^{\ln 2 - 6,7972} = 0,0022338 \quad , \quad (5.5)$$

sowie

$$F_{U,Stehhöhe} = e^{\ln 1,85 + 12,7} = 606333,62 \quad . \quad (5.6)$$

Mit den errechneten Vorfaktoren lassen sich nun die Funktionen zur Beschreibung der Erreichbarkeitsfaktoren der Frachtraumhöhen aufstellen. Für den Bereich oberhalb der Höhe 2,00 m lautet die Funktion

$$y_{O,Stehhöhe} \text{ €} = 0,0022338 \cdot e^{6,7972 \cdot x} \quad , \quad (5.7)$$

der Bereich unterhalb der Höhe 1,85 m wird mit der folgender Funktion beschrieben.

$$y_{U,Stehhöhe} \text{ €} = 606333,62 \cdot e^{-12,7 \cdot x} \quad (5.8)$$

Für den praktischen Einsatz ist das Umstellen der Formeln erforderlich. Hierdurch kann der Erreichbarkeitsfaktor in Abhängigkeit von der Frachtraumhöhe bestimmt werden. Für den Bereich oberhalb der Höhe 2,00 m lautet die Formel

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y_{O,Stehhöhe}}{0,0022338}\right)}{6,7972} , \quad (5.9)$$

für den Bereich unterhalb der Höhe 1,85 m lautet die Formel

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y_{U,Stehhöhe}}{606333,62}\right)}{-12,7} . \quad (5.10)$$

Analog zu den bisherigen Berechnungen dieses Kapitels soll nun auch eine Bewertung von Frachträumen ermöglicht werden, die sich unter der Passagierkabine befinden. Aus Kapitel 5.3.4 geht hervor, dass die optimale Höhe dieser Frachträume zwischen 1,15 m und 1,30 m liegt. Die für die weitere Berechnung erforderlichen Vorfaktoren ergeben sich somit zu

$$F_{O,Unterdeck} = e^{\ln 1,3 - 6,7972} = 0,0014519 , \quad (5.11)$$

sowie

$$F_{U,Unterdeck} = e^{\ln 1,15 + 12,7} = 376910,09 . \quad (5.12)$$

Die Funktion zur Beschreibung des Erreichbarkeitsfaktors der Frachtraumhöhe lautet für den Bereich oberhalb der Höhe 1,30 m

$$y_{O,Unterdeck} \left[\frac{m}{m} \right] = 0,0014519 \cdot e^{6,7972 \cdot x} , \quad (5.13)$$

der Bereich unterhalb der Höhe 1,15 m wird beschrieben durch

$$y_{U,Unterdeck} \left[\frac{m}{m} \right] = 376910,09 \cdot e^{-12,7 \cdot x} . \quad (5.14)$$

An dieser Stelle werden wieder Formeln für den praktischen Einsatz zur Verfügung gestellt. Der Erreichbarkeitsfaktor lässt sich oberhalb der Höhe 1,30 m berechnen mit

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y_{O,Stehhöhe}}{0,0014519}\right)}{6,7972} , \quad (5.15)$$

unterhalb der Höhe 1,15 m lautet die Formel

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y_{U,Stehhöhe}}{376910,09}\right)}{-12,7} \quad (5.16)$$

Diese Formel und die nachfolgend dargestellte Wertetabelle (Tabelle 5.4) bzw. das Diagramm in Bild 5.18 erlauben es nun, eine umfangreiche Bewertung hinsichtlich der Erreichbarkeitsfaktoren innerhalb von Frachträumen durchzuführen.

Tabelle 5.4 Wertetabelle zur Ermittlung der Erreichbarkeitsfaktoren

Frachtraumhöhe [m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Erreichbarkeitsfaktor	1,192	1,138	1,106	1,083	1,066	1,051	1,039	1,029	1,019
Frachtraumhöhe [m]	1	1,1	1,15	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
Erreichbarkeitsfaktor	1,011	1,003	1,000	1,000	1,000	1,011	1,016	1,011	1,007
Frachtraumhöhe [m]	1,8	1,85	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Erreichbarkeitsfaktor	1,002	1,000	1,000	1,000	1,007	1,014	1,021	1,027	1,033

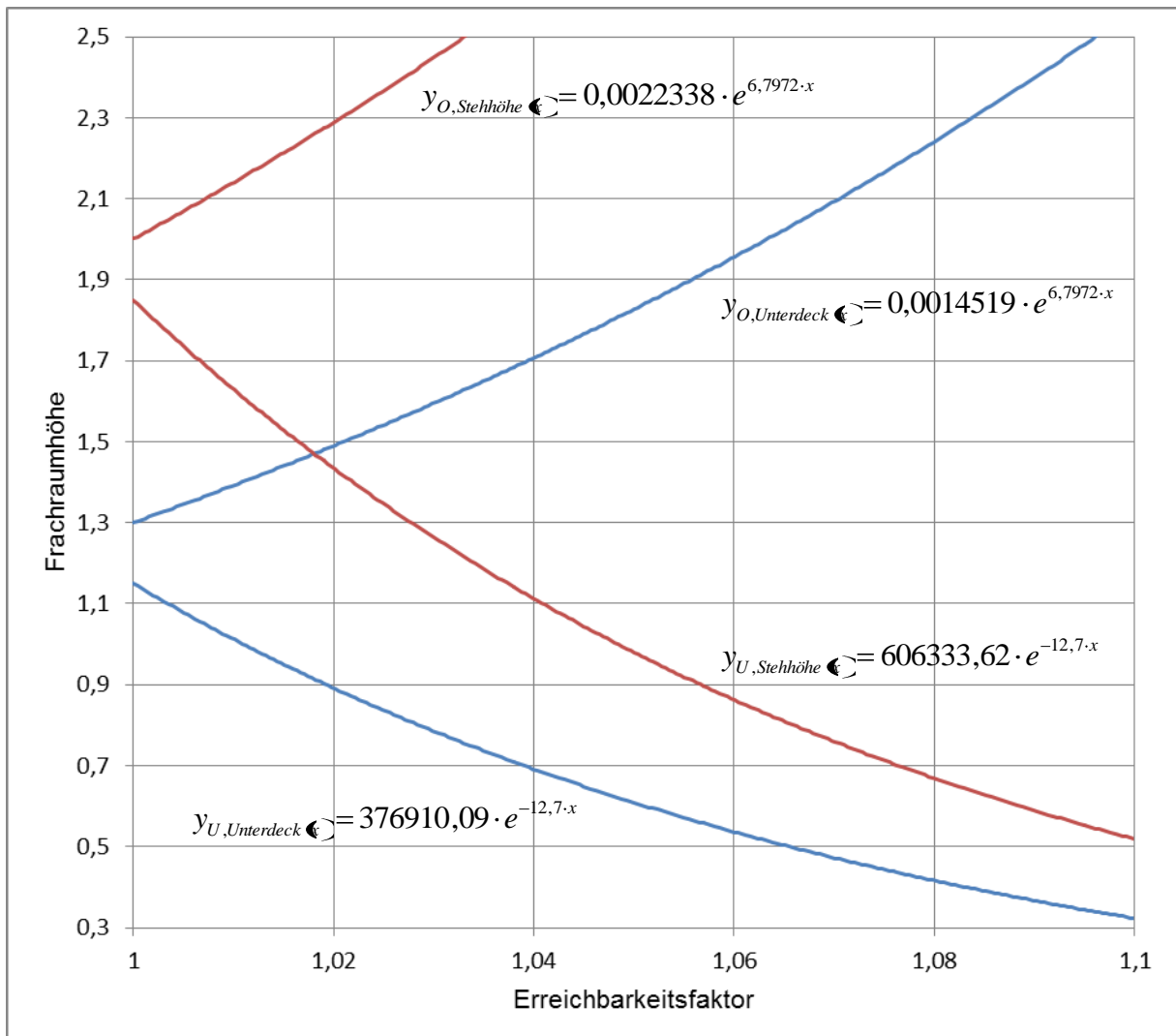


Bild 5.18 Diagramm zur Ermittlung des Erreichbarkeitsfaktors

5.4 Länge des Frachtraums

Die vorangegangene Schilderung der Arbeitsabläufe bei unter der Passagierkabine liegenden Frachträumen macht deutlich, dass neben der Höhe auch die Länge des Frachtraums unmittelbar die Dauer und den Personaleinsatz bei der Be- und Entladung von Verkehrsflugzeugen beeinflusst. Die Ladungsstücke werden normalerweise durch Rollen (z.B. bei Koffern), Rutschen oder leichtes Werfen über den Boden des Frachtraums bewegt. Dabei ist es nicht immer möglich, lange Distanzen zu überwinden.

Frachträume, die sich vor oder hinter der Passagierkabine befinden, sind in der Regel kurz und von der Ladeluke gut erreichbar. Dadurch ist ein Lader im Frachtraum ausreichend. Für Frachträume im Unterdeck ist eine solche Aussage nicht ohne Einschränkung möglich. Die Distanz zu der Ladeluke kann hier bis zu 10 m (Boeing B757-300, vorderer Frachtraum) betragen.

In Tabelle 5.5 sind einige Werte für die maximale Distanz zwischen Ladeluke und dem dazu entferntesten Punkt des Frachtraums angegeben. Diese Werte sind mit hoher Genauigkeit nach den in den APM gegebenen Frachtraummaßen errechnet, da diese Art der Bemaßung bei vielen Herstellern dort nicht angegeben ist. Teilweise wurden die Werte auch auf dem Vorfeld des Hamburg Airports durch eigene Messungen ermittelt. Der Tabelle ist weiterhin auch zu entnehmen, wie viel Ladepersonal durchschnittlich zum Be- und Entladen im Frachtraum erforderlich ist. Für diese Betrachtung wird allerdings eine Annahme getroffen, um die Ergebnisse vergleichbar zu gestalten. Es wird angenommen, dass unabhängig von der Schwellenhöhe der Ladeluke, die in Tabelle 4.1 angegeben ist, ein Förderband benutzt wird. Der Grund hierfür ist, dass der außerhalb des Frachtraums arbeitende Lader bei Flugzeugen mit geringer Schwellenhöhe direkt vor der Ladeluke steht. Er kann die Ladungsstücke von dieser Position aus bis zu einer gewissen Weite in den Frachtraum bewegen, wodurch innerhalb des Frachtraums ein Lader eingespart werden kann (vgl. Kapitel 4.1). Bei der getroffenen Annahme kommen die Ladungsstücke demnach bei allen Flugzeugtypen identisch in den Rumpf des Flugzeugs und müssen von den innerhalb des Frachtraums arbeitenden Ladern in die gewünschte Richtung weiter bewegt werden. Die Anzahl der erforderlichen Lader lässt sich mit der folgenden Formel errechnen.

$$n_{Lader} = \frac{l_{\max, Frachtraum luke}}{2 m} \quad (5.17)$$

Bei einer Distanz zwischen Frachtluke und Frachtraumwand von mehr als 2,50 m gilt folgender Zusammenhang.

$$n_{Lader} \left(l_{\max, Frachtraum luke} > 2,5 m \right) = 2 \quad (5.18)$$

Tabelle 5.5 Maximale Distanz zur Ladeluke

Hersteller	Flugzeugtyp	Max. Distanz zur Ladeluke Vorne	Lader im Frachtraum	Max. Distanz zur Ladeluke Hinten	Lader im Frachtraum
		m		m	
Airbus	A318 ^a	1,35	1	2,4	1
Airbus	A319 ^b	1,53	1	2,95	2
Airbus	A320 ^c	3,14	2	3,14	2
Airbus	A321 ^d	6,34	3	4,8	2
Boeing	B717-200 ^e	5,5	3	3,54	2
Boeing	B737-300 ^f	2,17	1	4,09	2
Boeing	B737-400 ^f	4	2	4,31	2
Boeing	B737-500 ^f	1,81	1	3,07	2
Boeing	B737-600 ^f	1,4	1	3,05	2
Boeing	B737-700 ^f	1,77	1	4,07	2
Boeing	B737-800 ^f	4,76	2	6,91	3
Boeing	B737-900 ^f	6,36	3	7,98	4
Boeing	B757-200 ^g	5,76	3	4,5	2
Boeing	B757-300 ^g	10	5	7,5	4
Embraer	E170 ^h	2,41	1	1,85	1
Embraer	E175 ⁱ	4,58	2	1,85	1
Embraer	E190 ^j	4,82	2	4,17	2
Embraer	E195 ^k	5,72	3	5,95	3
Fokker	F100	2,41	1	2,7	2
Avro	RJ85	2,59	2	2,9	2
Avro	RJ100	3,77	2	3,85	2
a	(Airbus 2011b)	e	(Boeing 2001)	i	(Embraer 2011b)
b	(Airbus 2011c)	f	(Boeing 2007)	j	(Embraer 2011c)
c	(Airbus 2011a)	g	(Boeing 1999)	k	(Embraer 2011d)
d	(Airbus 2011d)	h	(Embraer 2011a)		

Tabelle 5.5 zeigt, dass es im Bereich der Standardrumpfflugzeuge mit Handbeladung einige Modelle gibt, die für die Be- und Entladung einen großen Personalbedarf aufweisen. Ein möglicher Ansatz zur Problemlösung wäre, die Ladeluke weiter mittig des Frachtraums zu installieren. Dadurch würde sich die maximale Distanz zur Ladeluke verringern. Mit dieser Distanzminimierung könnte auch die Anzahl der für die Be- und Entladung erforderlichen Lader reduziert werden.

Es existieren Systeme, die gerade beim Be- und Entladen von längeren Frachträumen unterstützen können. Zu nennen sind an dieser Stelle die bodenseitigen Systeme RampSnake von CPH Design A/S (**CPH 2012**) und Power Stow des Herstellers Power Stow A/S (**Power Stow 2012**), welche beide auf ähnliche Weise, nämlich durch Verlängerung des Förderbands in den Frachtraum hinein arbeiten. Dadurch lässt sich gleichzeitig Personal und Zeit einsparen. Ein weiteres System ist das Sliding Carpet Loading System des Herstellers Telair International (**Telair 2012**). Dieses wird in Frachträumen von Flugzeugen verbaut. Das Wirkprinzip bei diesem System ist ein beweglicher Frachtraumboden. Auch dadurch kann die Dauer der Abfertigung wie auch die Anzahl der benötigten Lader reduziert werden. Die

Systeme werden an dieser Stelle jedoch nicht näher betrachtet, da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf den grundlegenden flugzeugseitigen Parametern liegt.

Neben den bisher erläuterten Themen wie Höhe und der Länge des Frachtraums spielen auch die Beschaffenheit des Bodens und der Bodenbelag eine nicht zu vernachlässigende Rolle bei der Dauer von Ladevorgängen.

5.5 Bodenbeschaffenheit des Frachtraums

Die meisten Flugzeuge, die für Handbeladung, d.h. für den Transport von losen Ladungsstücken, vorgesehen sind, haben mindestens im mittleren Bereich des Frachtraumbodens eine ebene Fläche. Ausnahmen bilden hier die Avro RJ85/RJ100, die einen konkaven Boden haben. Generell ist insbesondere für das Stapeln der Ladungsstücke ein ebener Boden zu bevorzugen. Des Weiteren vereinfacht dies auch den Transport von Frachtstücken, die nicht selten auf Paletten befestigt sind. Bei der Be- und Entladung lassen sich die Ladungsstücke bei einem ebenen Frachtraumboden gezielter und damit auch schneller bewegen. Die folgenden Abbildungen zeigen einige Schnitte durch Frachträume.

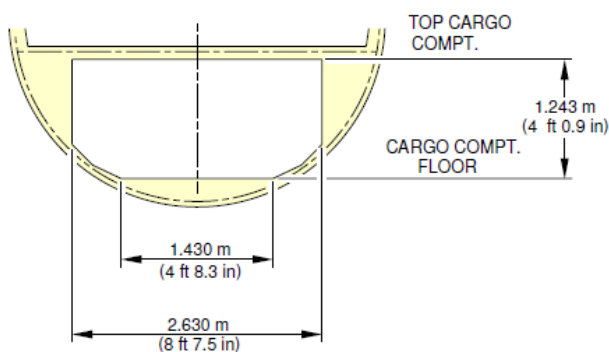


Bild 5.19 Frachtraum Airbus A320
(nach Airbus 2011a)

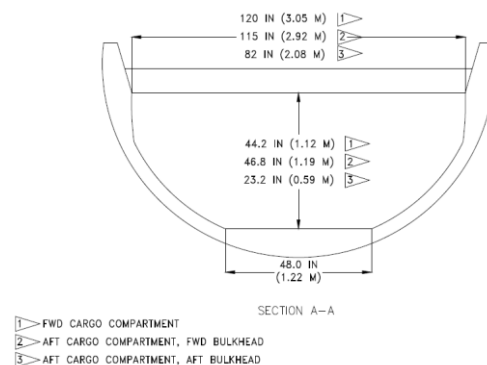


Bild 5.20 Frachtraum Boeing B737
(Boeing 2007)

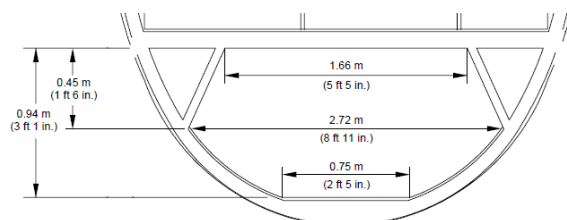


Bild 5.21 Frachtraum Embraer E-Jet
(nach Embraer 2011a)

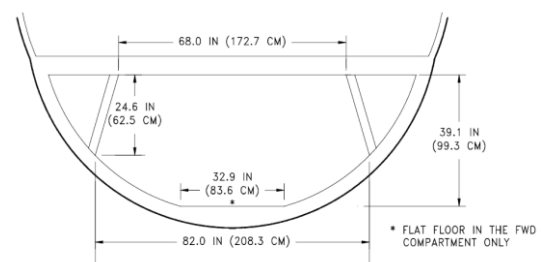


Bild 5.22 Frachtraum Boeing B717
(Boeing 2001)

Es ist in den Darstellungen (Bild 5.19, Bild 5.20, Bild 5.21 und Bild 5.22) zu erkennen, dass es leichte Unterschiede in der Formgebung der Frachträume gibt. So sind die Seitenwände aufgrund des strukturellen Aufbaus des gesamten Rumpfquerschnitts auf verschiedene Weise gestaltet. Der Einfluss auf die Dauer der Ladevorgänge ist allerdings als eher gering einzuschätzen, da insbesondere beim Beladen mit Koffern und Taschen durch deren unterschiedliche Formen und Größen eine hohe Flexibilität gegeben ist.

Neben der eingangs erläuterten Form des Bodens hat auch seine Oberfläche einen Einfluss auf die Dauer der Be- und Entladung. Derzeit werden in den Frachträumen der Verkehrsflugzeuge drei verschiedene Materialien verwendet.

An erster Stelle soll hier die klassische Aluminiumoberfläche vorgestellt werden. Diese ist äußerst robust und eignet sich aufgrund ihrer glatten Oberfläche sehr gut zum Bewegen der Ladungsstücke. Voraussetzung hierfür ist, dass der Unterbau der Oberfläche ein Beulen verhindert, was jedoch bei den meisten Flugzeugtypen gegeben ist. Außerdem sollten so wenig Überlappungen wie möglich vorhanden sein und die Schrauben für die Verbindung zum Unterbau im Material versenkt werden, da die Ladungsstücke an solch markanten Stellen hängen bleiben können, was neben einer Zeitverzögerung auch zu Beschädigungen an den Ladungsstücken wie auch am Luftfahrzeug führt. Eingesetzt wird Aluminium zum Beispiel in den Flugzeugen von Boeing und Avro.

Bei den Flugzeugen des Herstellers Airbus ist der gesamte Frachtraum und somit auch der Boden mit Platten ausgekleidet, die durch Sandwichbauweise hergestellt werden. Diese Platten haben eine glatte Oberfläche, welche ähnliche Attribute wie die Aluminiumoberfläche aufweist. Sie sind sehr robust und auch die gute Eigenschaft bezüglich der Bewegung von Ladungsstücken ist gegeben. Überlappungen sind hier aufgrund der Dicken der einzelnen Platten unmöglich. Sie werden daher Stoß an Stoß verbaut, was jedoch keine negativen Auswirkungen auf die Be- und Entladung hat. Auch sind die Schrauben für die Verbindung zum Unterbau gut im dicken Material versenkbar.

Eine dritte Art der Bodenoberfläche wird von Embraer zur Verfügung gestellt. Die Flugzeuge dieses Herstellers sind ebenfalls mit einer Art Sandwichplatte ausgekleidet. Diese ist aber im Bereich des Bodens und den unteren schrägen Seitenwänden mit einer Kunststoffoberfläche bezogen. Diese Oberfläche ist mit einem kleinen Noppenmuster versehen, was die Bewegung von Ladungsstücken über den Ladeboden sehr bremst. Außerdem ist diese nicht sehr robust. Bei Beschädigungen löst sie sich von ihrer Basis und schränkt so eine zügige Be- und Entladung weiter ein. Die Oberfläche wird zudem noch an einigen Stellen durch eine Art Teppichleiste unterbrochen, die mit Schrauben auf das Material aufgebracht ist, vermutlich um die darunterliegenden Stöße zu schützen und die Platten mit dem Unterbau zu verbinden. Auch diese Leisten biegen sich bei Beschädigungen hoch und können so die Ladevorgänge behindern bzw. Ladungsstücke beschädigen.

5.6 Besondere Anforderungen an den Frachtraum

Neben den bereits erwähnten Eigenschaften der Frachträume von Flugzeugen gibt es noch eine Reihe von weiteren Attributen, die die Ladevorgänge innerhalb der Flugzeugabfertigung beeinflussen. Sie sollen an dieser Stelle erläutert werden

5.6.1 Öffnen und Schließen der Ladeluke

Damit beim ankommenden Flugzeug mit der Entladung begonnen werden kann, müssen nach der ersten Sicherung und Versorgung des Flugzeugs die Ladeluken geöffnet werden. Dieser Vorgang unterscheidet sich nach Flugzeugherstellern und Flugzeugtypen und hängt auch mit der Größe und dem Eigengewicht der Ladeluke zusammen. Es gibt jedoch bei allen Ladeluken eine Verriegelung, die grundsätzlich manuell geöffnet werden muss. Dies lässt sich meistens mit einem einzelnen Handgriff bewerkstelligen. Die meisten Ladeluken lassen sich nach der Entriegelung manuell öffnen. Beispielhaft für einen solchen Mechanismus sind die Ladeluken der Boeing B737, der Bombardier DHC-8 oder Embraer E-Jet-Familie. Bei den Flugzeugen der Airbus A320-Familie werden die Luken nach der Entriegelung durch eine an der Rumpfunterseite angebrachte Steuereinheit hydraulisch geöffnet. Dieser Mechanismus findet auch bei den anderen Flugzeugtypen dieses Herstellers Anwendung. Die dritte Methode zum Öffnen der Ladeluken ist der Antrieb über einen oder mehrere Elektromotoren. Die vorderen Ladeluken der ATR-42 und ATR-72 des französisch-italienischen Flugzeugherstellers Avions de Transport Régional (ATR) lassen sich auf diese Weise öffnen. Andere Beispiele sind die Boeing B747, B757, B767 und B777.

Die Dauer des Öffnungsvorgangs ist je nach Größe und Antriebsart der Ladeluke leicht unterschiedlich. Allgemein lässt sich feststellen: Je größer die Ladeluke, desto länger dauert der Öffnungsvorgang.

Ein besonders wichtiger Aspekt, der den Öffnungsvorgang von Ladeluken betrifft, ist die für das Ladepersonal mögliche Erreichbarkeit der Verriegelung und, wenn vorhanden, der Steuereinheit. Bei einigen Flugzeugtypen wie etwa der Boeing B757 muss man erst sehr umständlich mit einem Förderband oder einer Leiter an die Steuereinheit und Verriegelung heranfahren, um die Ladeluken zu öffnen. Dies gilt ebenso für die meisten Großraumflugzeuge. Auch bei der Luke des vorderen Frachtraums der Bombardier DHC-8-400 ist der Öffnungshebel mit einer Höhe von ca. 2,20 m schon zu hoch installiert, da man diesen mit erhöhten Kraftaufwand betätigen muss. Solche Faktoren haben stets einen negativen Einfluss auf die Abfertigungsdauer.

Neben dem Öffnungsvorgang ist auch das Schließen der Ladeluke zu erwähnen. Dies betrifft jedoch lediglich die manuell bewegbaren Luken, die nach dem Öffnungsvorgang außerhalb

der Griffweite des Ladepersonals liegen. Diese müssen wie beim Öffnen auch von Hand geschlossen werden. Einige Flugzeughersteller versehen ihre Ladeluken daher mit Bändern oder Stangen. Dadurch lassen sich die Luken wieder aus dem nicht erreichbaren Bereich zurückholen und schließen. Eine andere Möglichkeit ist das Bereitstellen einer zusätzlichen Hakenstange, mit der die Ladeluke beispielsweise in einer Öse gegriffen und in Reichweite des Ladepersonals geholt werden kann. Bei Ladeluken, welche nicht über ein System zum Zurückholen verfügen, muss durch das Ladepersonal improvisiert werden und die Luke mit Hilfe eines Gepäcktrolleys, eines Förderbands oder einer Leiter geschlossen werden, was zusätzliche Zeit in Anspruch nehmen kann. Grundsätzlich gilt: Je einfacher der gesamte Vorgang des Schließens der Luke gestaltet ist, desto schneller lässt sich diese schließen.

Ein weiteres Problem, dass sich im Zusammenhang mit den Ladeluken ergibt, soll nachfolgend erläutert werden.

Ladeluken, welche nach außen geöffnet werden, schwingen nach oben. Eine Ausnahme bilden hier lediglich ältere Versionen der Fokker F70 und F100, bei denen die Luke nach unten schwingt und einige andere Flugzeugmuster, welche teilweise individuelle Lösungen vorweisen. Zur Verriegelung der nach außen öffnenden Ladeluke sind Bolzen unterhalb der Öffnung der Luke angebracht. Diese sind massiv gebaut und sind sehr groß, da es ihre Aufgabe ist, die Ladeluke im Flug gegen den im Rumpf vorherrschenden Überdruck geschlossen zu halten. Bei vielen Flugzeugtypen werden diese Bolzen durch den überstehenden Frachtraumboden abgedeckt, so auch bei der Airbus A320-Familie. Diese Bauweise hat keinen Einfluss auf die Ladevorgänge. Bei den Flugzeugen der E-Jet-Familie des brasilianischen Herstellers Embraer sind diese Bolzen jedoch nicht abgedeckt und liegen unmittelbar an der Schwelle des Frachtraums. Dies behindert die Ladevorgänge, da häufig Ladungsstücke an den Bolzen hängen bleiben.

5.6.2 Dimensionen der Ladeluke

Es ist für die Be- und Entladung großer Ladungsstücke unabdingbar, dass die Ladeluke selbst groß genug ist. Nicht selten werden beispielsweise Frachtstücke verladen, die auf Paletten befestigt sind. In Tabelle 5.6 sind die Maße von einigen Ladeluken von Standarddrumpf- flugzeugen angegeben. Die Höhe der Ladeluke entspricht weitestgehend der Höhe des Frachtraums. Bei einigen Flugzeugen, wie der Boeing B737 und der Avro RJ85/100 werden die Luken nach innen und oben geöffnet. Dadurch verringert sich die nutzbare Höhe der Luke, was aber in dieser Tabelle berücksichtigt ist. Bei den Großraumflugzeugen sind die Ausmaße der Ladeluken grundsätzlich an die Container angepasst. Sperrige Ladungsstücke für die Sektion mit Handbeladung können so im Bedarfsfall über die Containerladeluken geladen werden.

Tabelle 5.6 Maße der Ladeluken von Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen

Hersteller	Flugzeugtyp	Vorne		Hinten		Ganz Hinten	
		Höhe	Breite	Höhe	Breite	Höhe	Breite
		m	m	m	m	m	m
Airbus	A318 ^a	1,23	1,33	1,23	1,33		
Airbus	A320-Fam. ^b	1,23	1,82	1,23	1,82		
Afro	RJ85/100	1,09	1,35	1,04	0,91		
Fokker	F70	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	
Fokker	F100	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	
Bombardier	CRJ100/200			0,84	1,09		
Bombardier	CRJ700	0,50	1,06	0,84	1,09		
Bombardier	CRJ900	0,50	1,06	0,50	1,06	0,84	1,09
Bombardier	DHC-8-300			1,52	1,27		
Bombardier	DHC-8-400	1,37	0,61	1,52	1,27		
Boeing	B717-200 ^c	1,27	1,35	1,27	0,91		
Boeing	B737 ^d	0,89	1,22	0,84	1,22		
Boeing	B757 ^e	1,08	1,40	1,14	1,40		
Embraer	ERJ-135 ^f			1,00	1,00		
Embraer	ERJ-140 ^g			1,00	1,00		
Embraer	ERJ-145 ^h			1,00	1,00		
Embraer	E170 ⁱ	0,90	1,10	0,78-0,87	0,99		
Embraer	E175 ^j	0,90	1,10	0,78-0,87	0,99		
Embraer	E190 ^k	0,90	1,10	0,78-0,87	0,99		
Embraer	E195 ^l	0,90	1,10	0,78-0,87	0,99		
McDonnell D.	MD-80-Fam. ^m	1,27	1,35	1,27	1,35	1,27	1,35
McDonnell D.	MD-90 ⁿ	1,27	1,35	1,27	1,35	1,27	1,35

a	(Airbus 2011b)	f	(Embraer 2008)	k	(Embraer 2011c)
b	(Airbus 2011a)	g	(Embraer 2005)	l	(Embraer 2011d)
c	(Boeing 2001)	h	(Embraer 2007)	m	(Boeing 1989)
d	(Boeing 2007)	i	(Embraer 2011a)	n	(Boeing 2002)
e	(Boeing 1999)	j	(Embraer 2011b)		

Eine Auswertung von Tabelle 5.6 zeigt, dass die Bombardier CRJ700/CRJ900 in den vorderen beiden Frachträumen die Ladeluken mit der geringsten Höhe haben. Diese Frachträume sind jedoch nicht begehbar (siehe auch Bild 5.10) und normalerweise für Handgepäck vorgesehen. Ladeluken sollten eine Höhe von ca.0,90 m nicht unterschreiten. Dies erleichtert das Be- und Entladen und erhöht die Flexibilität hinsichtlich des Transports von größeren Frachtstücken und besonderen Gepäckstücken, wie z.B. elektrischen Rollstühlen. Allerdings ist es grundsätzlich nicht nötig, dass die Ladeluke eine größere Höhe als der dahinter liegende Frachtraum aufweist. Weiterhin fällt bei Betrachtung der Tabelle 5.6 auf, dass die vordere Ladeluke der Bombardier DHC-8-400 mit 0,61 m die geringste Breite hat. Der dahinter liegende Frachtraum ist sehr klein und lässt sich von außen Be- und Entladen. Er wird in der Regel ebenfalls für Handgepäck benutzt. Die Ladeluken sollten auch in der Breite das Maß von 0,90 m nicht unterschreiten, da sie sonst den Ladevorgang behindern können. Es ist allerdings sinnvoll, Ladeluken breiter zu bauen um dadurch eine ausreichende Flexibilität bei der Größe der Ladungsstücke zu gewährleisten.

5.6.3 Befestigungsmöglichkeiten im Frachtraum

Häufig werden in den Frachträumen von Flugzeugen Ladungsstücke verladen, die aus verschiedenen Gründen befestigt werden müssen. Das Ladepersonal spricht hierbei vom sogenannten Lasching. Es wird bei Ladungsstücken durchgeführt, die ein gewisses Gewicht überschreiten oder punktuell zu große Lasten auf den Boden des Frachtraums geben würden. Des Weiteren findet das Lasching bei der Sicherung von Ladungsstücken Verwendung, die auf keinen Fall beschädigt werden dürfen. Hierzu zählen insbesondere Gefahrgüter (Dangerous Goods, DG), die gerade beim Lufttransport besonderen Sicherheitsbestimmungen unterliegen. Nachzulesen sind diese in den entsprechenden Regularien (Dangerous Goods Regulations, DGR), die von der IATA herausgegeben werden. Zudem werden besondere Ladungsstücke, wie zum Beispiel Tiere in ihren Transportbehältern aber auch Särge, mit Lasching gesichert.

Ein typisches Lasching besteht aus Holzbohlen, die unterhalb des Ladungsstücks gelegt werden, um den Frachtraumboden zu schützen und eventuell punktuelle Lasten auf eine größere Fläche zu verteilen. Zusätzlich beinhaltet es Seile, welche über eine international verbreitete Art von Knoten verbunden und befestigt werden. Diese Knoten sind sehr fest, lassen sich aber durch wenige Handgriffe lösen. Alternativ zu den Seilen werden seltener auch Spanngurte verwendet. Um die Seile nun mit der Struktur des Flugzeugs zu verbinden, gibt es Befestigungspunkte im Frachtraumboden, die sogenannten Points (Bild 5.23). Bei älteren Flugzeugtypen sind an Stelle von Points auch Halteösen verbaut.



Bild 5.23 Points, wie sie auch im Airbus A320 verbaut sind (Haklift 2012)

Diese Points finden weiterhin Anwendung zur Befestigung der, in der Einleitung zu diesem Kapitel, erwähnten Netze zur Unterteilung der einzelnen Sektionen.

In den Frachträumen von Flugzeugen sollten stets genügend Points vorhanden sein, um die unterschiedlichsten Arten von Ladungsstücken ausreichend zu sichern und dadurch eine möglichst hohe Flexibilität hinsichtlich der Ladungsart zu erreichen. Außerdem ist es sinnvoll, die Points innerhalb des Frachtraumbodens zu versenken, damit sie bei der Be- und Entladung kein Hindernis beim Bewegen der Ladungsstücke darstellen.

6 Flugzeugbe- und Entladung durch ULD

Es existieren, wie in dieser Arbeit mehrfach erwähnt, zwei unterschiedliche Arten der Be- und Entladung von Flugzeugen. Auf der einen Seite gibt es die manuelle Methode, bei der die Ladungsstücke einzeln und von Hand in das Flugzeug geladen werden. Diese Art der Be- und Entladung wird als Handbeladung bezeichnet. Auf der anderen Seite gibt es die Variante, bei der die Ladungsstücke gebündelt zu sogenannten Ladeeinheiten in das Flugzeug geladen werden. Diese Ladeeinheiten werden ULD (Unit Load Device) genannt und die dazugehörige Art der Be- und Entladung als Containerbeladung bezeichnet

6.1 Arten von ULD

ULD gibt es für verschiedene Ladungsarten und Aufgaben, unter anderem auch für spezielle Ladungen wie lebende Tiere, Fahrzeuge oder zu kühlende Lebensmittel und Medikamente. Grundsätzlich gilt es, zwischen Containern und Paletten zu unterscheiden. Die Paletten sind in der Regel aus Aluminium hergestellt und haben eine ebene Oberfläche, auf der die einzelnen Ladungsstücke gestapelt werden können. Die Ladungsstücke werden mittels Netzen zusammengehalten, welche durch Points an den Seiten der Paletten befestigt werden (vgl. Kapitel 5.6.3). Paletten gibt es in unterschiedlichen Größen. Beispielhaft wird hier die unter IATA-ID-Code mit PMC bezeichnete Palette dargestellt (Bild 6.1). Sie hat eine Grundfläche von ca. 2,33 m mal 3,17 m (96 inch mal 125 inch) und ein Leergewicht von 130kg. Beladen werden darf sie bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 6804 kg (**Wikipedia 2012f**). Paletten werden normalerweise für den Transport von Fracht benutzt. Es gibt sie für Großraumflugzeuge und Standardrumpfflugzeuge in verschiedenen Größen.

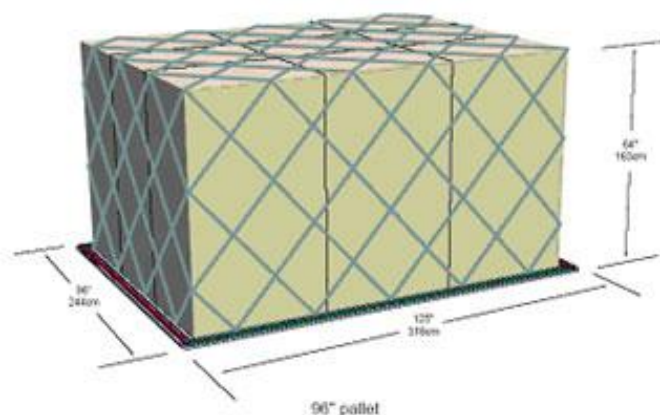


Bild 6.1 PMC-Palette für Luftfracht (**First Global 2012**)

Bei den Containern gehören die LD3-Container zu den am weitesten verbreiteten Vertretern ihrer Gattung. Sie sind grundsätzlich ebenfalls aus Aluminium hergestellt, wenngleich es auch Varianten gibt, welche eine Beplankung aus Kunststoff haben. Hier wird beispielhaft der unter IATA-ID-Code mit AKE bezeichnete Container dargestellt (Bild 6.2). Diese Container eignen sich für den Transport von Frachtstücken ebenso wie für den Transport von Gepäck. Sie lassen sich aufgrund ihrer Höhe von 1,63 m (64 Inch) nur in Großraumflugzeuge verladen. AKE haben ein Leergewicht von 80kg und dürfen bis zu einem Gesamtgewicht von 1588kg beladen werden (**Wikipedia 2012f**).

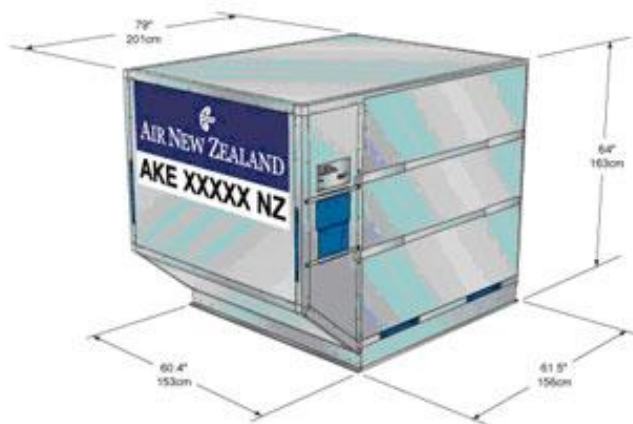


Bild 6.2 AKE-Container für Gepäck oder Fracht (**First Global 2012**)

Eine weitere weit verbreitete Variante der LD3-Container ist der LD3-45W. Diese Container lassen sich in die Frachträume der Airbus A320-Familie laden, können aber auch in größeren Flugzeugen genutzt werden, was allerdings zu Einbußen bei der Volumenausnutzung der Frachträume führt. Die LD3-45W haben dieselbe Grundfläche wie die LD3-Container. Sie sind jedoch mit einer Höhe von ca. 1,14 m (45 inch) kleiner als diese. Auch die Form der ist divergent, da diese an die kleineren Rumpfquerschnitte der Standardrumpfflugzeuge angepasst ist. Diese Container sind ebenfalls für den Transport von Frachtstücken oder Gepäckstücken geeignet. Beispielhaft abgebildet ist ein nach IATA-ID-Code mit AKH bezeichneter Container (Bild 6.3). Container dieser Art haben ein Leergewicht von 80 kg und lassen sich bis zu einem Gesamtgewicht von 1134 kg beladen (**Wikipedia 2012f**).

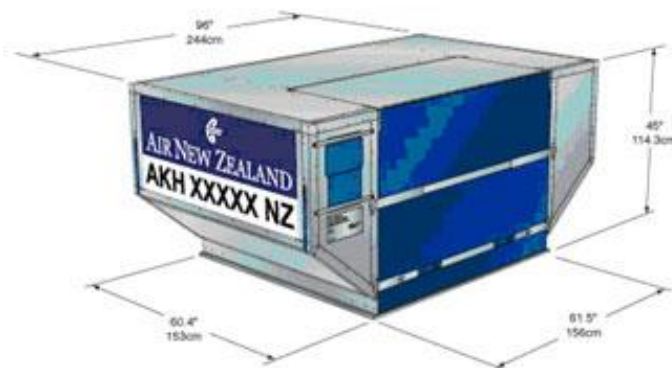


Bild 6.3 AKH-Container für Gepäck oder Fracht (**First Global 2012**)

6.2 Methoden der Containerbeladung

Es gibt verschiedene Varianten für die Be- und Entladung von Flugzeugen mit ULD. Insbesondere bei der Beladung von Großraumflugzeugen werden die Container und Paletten mit einer Hubbühne in den Rumpf des Flugzeugs befördert (Bild 6.4). Diese Hubbühnen sind mobil und lassen sich somit an die Ladeluken der Flugzeuge manövrieren. Sind sie optimal ausgerichtet, werden Stützen ausgefahren, womit die Mobilität dieser Fahrzeuge nicht mehr gegeben ist. Hubbühnen bestehen aus zwei unabhängig voneinander steuerbaren Ebenen. Die eine Ebene wird für den Ladevorgang an das Höhenniveau des Flugzeugladebodens angepasst, während die andere Ebene in ihrer Höhe flexibel bleibt und somit den Höhenunterschied zwischen Boden und Ladeluke, ähnlich einem Fahrstuhl, überwindet. Gesteuert werden alle Funktionen der Hubbühnen von einem Lader über den Leitstand, welcher sich auf der flugzeugseitigen Ebene an der rechten Seite befindet. Der Grund hierfür ist, dass sich am Flugzeug an gleicher Stelle auch die Steuerkonsole für das Frachtladesystem innerhalb des Frachtraums befindet. Hierdurch kann die Bedienung beider Systeme, d.h. Steuerkonsole und Hubbühne, durch ein und dieselbe Person durchgeführt werden.



Bild 6.4 Hubbühne an vorderer Ladeluke eines Airbus A340 (Laweco 2012)

Der Transport der Container und Paletten zwischen der Hubbühne und den Flughafengebäuden wird auf verschiedenen Flughäfen weltweit durch unterschiedliche Varianten realisiert.

Die erste Möglichkeit ist, mit Dolly-Zügen direkt an die höhenvariable Plattform der Hubbühne zu fahren und die ULD dann manuell von den einzelnen Dollies auf die Plattform der Hubbühne zu schieben und umgekehrt. Für diesen Transfer werden je nach Gewicht und Größe der ULD ca. ein bis zwei Lader benötigt. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass nicht viel Equipment benötigt wird, da die Dollies grundsätzlich auf jedem Flughafen für den Transport und die Lagerung von ULD vorhanden sind. Auch über genügend Zugmaschinen sollte jeder Flughafen verfügen. Nachteilig ist, dass beim Beladevorgang die Reihenfolge der zu ladenden ULD schon bei der Zusammenstellung des Dolly-Zugs feststehen sollte, da sonst auf umständliche Weise die einzelnen Dollies der Hubbühne zugeführt werden müssen,

worunter die Flexibilität leidet. Außerdem ist es nicht unproblematisch, den Dolly-Zug passgenau an die Hubbühne zu steuern, da der Umgebungsbereich durch Catering-Fahrzeuge, Tankwagen, Förderbänder oder auch die Triebwerke des Flugzeugs nur eingeschränkt befahrbar ist. Dies kann sich negativ auf die Dauer der Beladung auswirken (siehe dazu auch Bild 3.20).

Alternativ zu der beschriebenen Methode können die Container und Paletten mit einem LKW an die Hubbühne manövriert werden (Bild 6.5). Hierbei geht allerdings jegliche Flexibilität bei Änderungen der Reihenfolge der Beladung verloren. Als vorteilhaft erweist sich diese Methode bezüglich des Personalbedarfs. Man benötigt lediglich den Bediener des LKW und den Bediener der Hubbühne, um den Transfer der ULD zwischen Hubbühne und LKW durchzuführen.



Bild 6.5 LKW zum Transportieren von ULD (Viking 2012)

Die Frachtfluggesellschaft UPS-Airlines benutzt an ihrem Drehkreuz, dem Flughafen Louisville, eine weitere interessante Methode. Wie in Bild 6.6 zu sehen ist, sind die Terminalgebäude über eine große, mit Rollenboden ausgestattete, Fläche direkt mit den statisch installierten Hubbühnen verbunden, welche für die Be- und Entladung des Hauptdecks der Frachtflugzeuge vorgesehen sind. Die ULD können dadurch allein durch Menschenkraft zwischen den Flugzeugen und den Terminalgebäuden bewegt werden (Bild 6.7). Der Vorteil liegt darin, dass durch die große Fläche die Beladereihenfolge flexibel verändert werden kann. Der Nachteil dieses Systems ist der überproportional große Platzbedarf, der es lediglich für reine Frachtflughäfen interessant erscheinen lässt und der erhöhte Bedarf an Ladern zum manuellen Bewegen der ULD (vgl. **Mensen 2007**, Abschnitt 2.4.1.5)



Bild 6.6 Draufsicht auf die Beladung von UPS-Frachtflugzeugen (Google Earth 2012)



Bild 6.7 Beladung eines UPS-Frachtflugzeugs (Vanderlande 2012)

Auf vielen Flughäfen wird der Transfer der ULD zwischen Dolly und Hubbühne mit einem Transporter durchgeführt (Bild 6.8). Mit diesem Fahrzeug, welches von einem Lader gesteuert wird, werden die Container und Paletten von den Dollies, die in der Umgebung vom Flugzeug abgestellt sind, aufgenommen und an die höhenvariable Plattform der Hubbühne gefahren. Die Transporter verfügen über angetriebene Rollen und können teilweise sogar an größere Dollies andocken und so ohne manuelle Hilfe die ULD aufnehmen bzw. ablegen. Der Vorteil dieses Systems ist die Flexibilität hinsichtlich der Beladereihenfolge. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Dollies nicht direkt am Flugzeug abgestellt werden müssen, sondern lediglich in der Nähe davon. Dies entzerrt den relativ engen Raum um ein Flugzeug bei einer Flugzeugabfertigung, kann sich allerdings auch negativ auf die Dauer der Be- und Entladung auswirken, da längere Wege zurückgelegt werden müssen. Der Nachteil dieser Methode ist der Bedarf an Transportern. Pro Hubbühne benötigt man in der Regel einen Transporter. Soll eine schnellere Be- und Entladung durchgeführt werden, so können auch zwei Transporter eingesetzt werden, die den ULD-Transfer dann abwechselnd an der Hubbühne durchführen.



Bild 6.8 Transporter für ULD (Laweco 2012)

Neben dem Einsatz von Hubbühnen und den dazugehörigen Transportvarianten gibt es noch eine weitere Art der Be- und Entladung von Flugzeugen mit ULD.

Insbesondere bei Standardrumpfflugzeugen werden häufig Hubtransporter eingesetzt (Bild 3.9). Diese können die Ladung heben, laden und transportieren. Sie sind dadurch eine Kombination aus der bereits erwähnten Hubbühne und dem Transporter. Gerade bei der Be- und Entladung von Standardflugzeugen ist ihr Einsatz sinnvoll, da sie normalerweise zwei ULD gleichzeitig transportieren und heben können. Das Standardrumpfflugzeug mit dem größten Fassungsvermögen von ULD ist der Airbus A321 mit jeweils fünf ULD-Positionen im vorderen und im hinteren Frachtraum. Dies bedeutet, dass die Anzahl der Fahrten beschränkt ist. Für dieses System spricht, dass im Gegensatz zum Einsatz von Hubbühne und Transporter lediglich ein Fahrzeug und ein Lader benötigt werden. Nachteilig ist, dass der Hubtransporter häufiger an die Ladeluke des Flugzeugs gefahren werden muss, was zu Unfällen führen kann.

6.3 Containerbeladung vs. Handbeladung

Dieses Kapitel basiert auf den Ausführungen von Heinrich Mensen (Mensen 2007, Abschnitt 2.4.1.2) und wurde durch eigene Erfahrungen ergänzt.

Die Containerbeladung mit ULD bietet viele Vorteile gegenüber der Handbeladung. Der wohl größte Vorteil ist die Geschwindigkeit, mit der die Be- und Entladung durchgeführt werden kann, da nur noch vergleichsweise wenige Ladeeinheiten anstatt einer Vielzahl von Ladungsstücken verladen werden müssen. Dies hat insbesondere bei der Entwicklung der Großraumflugzeuge dazu geführt, dass auf diese Art der Be- und Entladung praktisch nicht mehr verzichtet werden kann und es auch derzeit kein Großraumflugzeug gibt, was für Handbeladung vorgesehen ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass die einzelnen Ladeeinheiten vor dem Beladen einfacher gewogen werden können. Dies erleichtert die Berechnung der

Gewichtsverteilung (Weight and Balance), welche die Piloten für die Berechnung des Schwerpunkts und der daraus resultierenden Trimmlage des Flugzeugs benötigen. Außerdem kann, leichter als bei der Handbeladung, eine eindeutige Trennung der Ladung nach Gepäck, Fracht und Post vorgenommen werden. Es wird von Luftverkehrsunternehmen häufig für die Aufteilung in die bereits im Kapitel 5 erläuterten Gepäckarten verwendet. Für die Nutzung von Containerbeladung spricht auch, dass die Ladungsstücke in den ULD sicher gelagert werden und durch die Sicherung der Container/Paletten im Frachtraum durch sogenannte Locks (Bild 6.9) einem Verrutschen der Ladung vorgebeugt wird. Seitens der Flugzeugabfertiger kann die Be- und Entladung durch die weitestgehend automatischen Ladesysteme an Bord der Flugzeuge mit vergleichsweise wenig Personal und ohne größere körperliche Anstrengungen durchgeführt werden. Bei der Containerbeladung muss jedes Ladestück nur einmal beim Füllen des Containers in die Hand genommen werden. Bei der Handbeladung hingegen geht jedes Ladestück zweimal durch die Hände der Lader, beim Füllen des Trolleys und beim Beladen des Flugzeugs.

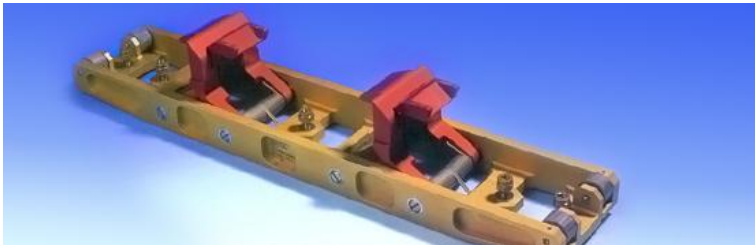


Bild 6.9 Locks zum Fixieren von ULD (HDT 2012)

Diese Einsparung an Personal ist allerdings nur durch den Einsatz von, wie es in diesem Kapitel bereits erwähnt wurde, speziellem Equipment zu realisieren, welches auf den Flughäfen in genügender Anzahl vorgehalten werden muss. Neben den Fahrzeugen für die Be- und Entladung der ULD sind dies auch die Dollies für den Transport. Ferner müssen auch Lagerstätten für Leercontainer bzw. Leerpalletten zur Verfügung stehen. Auf Seiten der Luftverkehrsunternehmen bedeutet gerade das Management der leeren ULD ein erheblicher Mehraufwand an Logistik und Kosten. Auf allen Flughäfen, die das Unternehmen mit ULD-fähigen Flugzeugen anfliegt, müssen genügend Container/Paletten verfügbar sein, um die Zuladung für den Rückflug bereitstellen zu können. Weiterhin sind auch die Anschaffungs- und Instandhaltungskosten für die in den Flugzeugen installierten Ladesystemen zu erwähnen, die bei Flugzeugen mit Handbeladung entfallen. Durch das Gewicht der Ladesysteme und der Ladeeinheiten reduziert sich die verfügbare Nutzlast des Flugzeugs. Außerdem können sperrige Ladungsstücke zu groß für den Transport in ULD sein. Ein wesentlicher Punkt ist auch, dass sich die Dauer der Be- und Entladung erheblich verzögern kann, wenn das Ladesystem an Bord des Flugzeugs defekt ist.

Die aufgeführten Punkte machen die Nutzung von ULD bei Standarddrumpfflugzeugen nicht für alle Arten von Luftverkehrsunternehmen interessant. Dies liegt insbesondere am Mehraufwand und den Zusatzkosten, die aus der Verwendung von Flugzeugen mit Containerbeladung resultieren können. Nur wenige Low-Cost Carrier verwenden

Standarddrumpfflugzeuge mit ULD, da sie nicht selten Flughäfen anfliegen, die für diese Art von Flugzeugen nicht ausgerüstet sind. Weitestgehend durchgesetzt haben sich ULD-fähige Flugzeuge jedoch bei den großen Luftverkehrsunternehmen, insbesondere den Flag Carriern. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Im Allgemeinen wird bei den Flag Carriern der Flugverkehr, wie in Kapitel 2.1 erläutert, über Luftverkehrsdrehkreuze geleitet. Die ULD ermöglichen es so, beispielsweise Transfer Gepäck schnell zu den Anschlussflügen zu transportieren. Auch werden ULD speziell für Fracht gerne von diesen Luftverkehrsunternehmen genutzt, da sich an den Luftverkehrsdrehkreuzen in der Regel auch die Frachtflugdrehkreuze dieser Unternehmen befinden. Bei Airbus haben die Kunden die Möglichkeit, bei den Standarddrumpfflugzeugen der Airbus A320-Familie zwischen Handbeladung und Containerbeladung zu wählen. Dadurch kann sich jedes Luftverkehrsunternehmen das für die Unternehmensstrategie passende Luftgerät aussuchen.

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde auf unterschiedliche Aspekte der Be- und Entladung, als Teil des Gesamtprozesses der Flugzeugabfertigung, von Verkehrsflugzeugen eingegangen. Dabei wurden in den einzelnen Abschnitten Lösungsansätze für Problemstellungen erarbeitet, die den Alltag der Flugzeugabfertigung, insbesondere der Tätigkeiten rund um die Be- und Entladung von Flugzeugen, bestimmen.

Zu Beginn dieser Arbeit sind die wesentlichen Unterschiede bezüglich der Flugzeugabfertigung von drei Arten von Luftverkehrsunternehmen beleuchtet worden. Die Unternehmen unterscheiden sich wesentlich in der Abfertigungsdauer, der Menge des Gepäcks und dem Frachttransport.

Darauf folgten eine Erläuterung der Aufgaben und der schematische Aufbau einer typischen Flugzeugabfertigung am Beispiel eines Airbus A320. Dabei wurde insbesondere auf die vielfältigen Aufgaben des bei der Flugzeugabfertigung involvierten Equipments eingegangen. Es wurde ersichtlich, dass eine geraume Anzahl von Fahrzeugen und Geräten für die erfolgreiche Durchführung eines Turnarounds erforderlich ist.

Im nächsten Abschnitt fand eine Analyse der Schwellenhöhe der Ladeluken von einer Vielzahl derzeit eingesetzter Flugzeuge statt. Die erforderlichen Daten hierfür konnten zum Teil aus den APM entnommen werden und wurden durch eigene Messungen, die auf dem Vorfeld des Hamburg Airport vorgenommen wurden, ergänzt. Auf Basis dieser Daten und eigenen Erfahrungen konnte die optimale Schwellenhöhe für Ladeluken ermittelt werden. Mit dieser lässt sich eine Be- und Entladung von Flugzeugen autark von Förderbändern realisieren.

Im Abschnitt über die Frachträume von Verkehrsflugzeugen wurde auf die verschiedenen Arten von Frachträumen eingegangen. So wurden für Frachträume, die sich im Hauptdeck vor oder hinter der Passagierkabine befinden ebenso wie für Frachträume, die sich im Unterdeck befinden, die optimalen Höhen ermittelt, die für eine reibungslose Be- und Entladung erforderlich sind. Des Weiteren wurden die Längen der Frachträume untersucht und Hinweise für deren Gestaltung gegeben. Außerdem sind in diesem Abschnitt der Arbeit Erkenntnisse aus der Praxis über die Dimensionen und die Handhabung der Ladeluken und die Befestigungsmöglichkeiten innerhalb der Frachträume aufgearbeitet worden.

Zum Schluss dieser Arbeit wurde ein Einblick in die Durchführung der Be- und Entladung von Flugzeugen durch ULD gegeben. Es wurden verschiedenen Möglichkeiten aufgezeigt, wie Flugzeuge mit Containerbeladung abgefertigt werden können. Des Weiteren wurde ein Vergleich zwischen den beiden Arten der Be- und Entladung durchgeführt.

8 Schlussbemerkung

Die vorliegende Arbeit soll als kleiner Leitfaden für den Flugzeugentwurf verstanden werden. Bei zukünftigen Flugzeugentwürfen sollten auch Details, wie sie in dieser Arbeit erläutert wurden, Beachtung finden. Gerade die Erfahrungen aus der Praxis der Flugzeugabfertiger können helfen, die Flugzeuge der Zukunft entsprechend so zu konstruieren, dass sie sich effektiver, schneller und damit kostengünstiger abzufertigen lassen.

Ich möchte meinen Kollegen der Firma GROUNDSTARS GmbH & Co. KG, Hamburg für ihre Geduld und Unterstützung danken, die sie während der Erstellung der vorliegenden Arbeit mit mir hatten. Die vielen interessanten Gespräche mit den erfahrenen Mitarbeitern über die unterschiedlichen Aspekte der Flugzeugabfertigung haben mich stets dazu inspiriert, mir weiterführende Gedanken zu der Thematik zu machen. Weiterhin möchte ich auch der Geschäftsführung der Firma GROUNDSTARS GmbH & Co. KG, Hamburg danken, dass sie mir die Möglichkeit gegeben hat, die für diese Arbeit notwendigen Messungen und Analysen durchzuführen.

Literaturverzeichnis

- Airbus 2009a** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A300-600*, 2009. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/AC_A300-600_20091201.pdf (2012-05-27)
- Airbus 2009b** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A310*, 2009. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/AC_A310_20091201.pdf (2012-05-27)
- Airbus 2011a** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A320*, 2011. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A320_20110501_Apr11.pdf (2012-05-22)
- Airbus 2011b** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A318*, 2011. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A318_20110501_Apr11.pdf (2012-05-27)
- Airbus 2011c** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A319*, 2011. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A319_20110501_Apr11.pdf (2012-05-27)
- Airbus 2011d** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A321*, 2011. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A321_20110501_Apr11.pdf (2012-05-27)
- Airbus 2011e** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A380*, 2011. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A380-20111101.pdf (2012-05-27)
- Airbus 2012a** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A340-500/-600*, 2012. - URL:
http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC_A340-500_600_Dec11.pdf (2012-05-22)

- Airbus 2012b** Airbus S.A.S.: *Roomy Overhead Stowage Compartments for A320*, 2012. - URL: <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/onboard-well-being/> (2012-05-22)
- Airbus 2012c** Airbus S.A.S.: *Deck Layout A330-200F*, 2012. - URL: <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/freighter/a330-200f/deck-layout/> (2012-05-22)
- Airbus 2012d** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics for Airport Planning - A330*, 2012. - URL: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC_A330_Dec11.pdf (2012-05-27)
- Avanti 2012** Avanti Air GmbH & Co KG: *Flotte ATR 72-200 und ATR 42-300*, 2012. - URL: <http://www.avantiair.com/de/flotte/atr-72-200.php?navid=8> (2012-05-23) und <http://www.avantiair.com/de/flotte/atr-42-300.php?navid=9> (2012-05-23)
- Boeing 1989** Boeing Commercial Airplanes: *MD-80 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 1989. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/m80.htm> (2012-05-27)
- Boeing 1999** Boeing Commercial Airplanes: *757-200/300 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 1999. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/753sec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2001** Boeing Commercial Airplanes: *717 Airplane Characteristics for Airport Planning – 2.0 Airplane Description*, 2001. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/717sec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2002** Boeing Commercial Airplanes: *MD-90 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2002. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/md90sec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2005** Boeing Commercial Airplanes: *767 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2005. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/767sec2.pdf> (2012-05-27)

- Boeing 2007** Boeing Commercial Airplanes: *737 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2007. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/737sec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2011** Boeing Commercial Airplanes: *747 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2011. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/7478sec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2011a** Boeing Commercial Airplanes: *777 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2011. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/777rsec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2011b** Boeing Commercial Airplanes: *DC/MD-10 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2011. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/dc10sec2.pdf> (2012-05-27)
- Boeing 2011c** Boeing Commercial Airplanes: *MD-11 Airplane Characteristics for Airport Planning - 2.0 Airplane Description*, 2011. - URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/md11sec2.pdf> (2012-05-27)
- Brink 1973** BRINK K.B.; RIECK, G.: *Qualitative und quantitative Wartbarkeits- und Zuverlässigkeitsanalysen*. Friedrichshafen : Verein Deutscher Ingenieure VDI - Bildungswerk, 1973.
- CPH 2012** CPH Design A/S: *RampSnake*, 2012. - URL: <http://www.cphdesign.com/cases/sas-rampsnake/> (2012-05-27)
- Doll 2012** DOLL Fahrzeugbau AG: *Catering-Hubfahrzeuge*, 2012. - URL: <http://www.doll-oppenau.com/produkte/flugfeld-fahrzeuge/catering-hubfahrzeuge/> (2012-05-22)
- Dyszluk 2007** DYSZLUK, Thomas: *Projekt - Die Nutzlast ziviler Transportflugzeuge*. Hamburg : Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, 2007. - URL: <http://bibliothek.ProfScholz.de> (2012-05-23)

- Easyjet 2012** easyJet Airline Company Ltd.: *Bestimmungen des Luftfrachtführers - 10 Gepäck*, 2012. - URL: <http://www.easyjet.com/de/Flugbuchung/regulations.html> (2012-05-29)
- Embraer 2005** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual EMJ140*, 2005. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/2.pdf> (2012-05-27)
- Embraer 2007** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual EMB145*, 2007. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/3.pdf> (2012-05-27)
- Embraer 2008** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual EMB135*, 2008. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/1.pdf> (2012-05-27)
- Embraer 2011a** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual Embraer 170*, 2011. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/8.pdf> (2012-05-27)
- Embraer 2011b** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual Embraer 175*, 2011. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/9.pdf> (2012-05-27)
- Embraer 2011c** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual Embraer 190*, 2011. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/10.pdf> (2012-05-27)
- Embraer 2011d** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual Embraer 195*, 2011. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/11.pdf> (2012-05-27)
- Europlast 2012** Europlast International GmbH: *Ground Support Equipment*, 2012. - URL: <http://www.europlastgroup.com/ground-support-equipment.htm> (2012-05-22)
- First Global 2012** First Global Logistics: *Cargo Containers*, 2012. - URL: <http://www.firstgloballogistics.co.nz/cargo.html> (2012-05-22)
- Franke 2012** FRANKE-AeroTec GmbH: *Ground Support Equipment (GSE)*, 2012. - URL: <http://www.franke-group.de/de/gse/produkte/produkte.php> (2012-05-22)
- Google Earth 2012** Google Inc. Google Earth: *Koordinaten 38°10'11.00"N, 85°44'13.00"W*, 2012. (2012-05-22)

- Groundstars 2011** GROUNDSTARS GmbH & Co. KG: *Information von Mitarbeiter über Handhabung von Fäkalienservicefahrzeugen*, Hamburg, 2011.
- Haklift 2012** Haklift ABT Oy: *Lashing point*, 2012. - URL: <http://www.haklift.com/details.php/lashing-point,-kip-1800> (2012-05-22)
- JBT 2012** JBT AeroTech: *Jetway Apron Drive Passenger Boarding Bridge*, 2012. - URL: <http://www.jbtaerotech.com/en/solutions/equipment/apron-drive-boarding-bridge> (2012-05-22)
- JC Aviation 2012** JC Aviation International Pty Ltd: *Pre Conditioned Air*, 2012. - URL: http://www.jc-aviation.com/pre_conditioned_air.html (2012-05-22)
- Klußmann 2007** KLUßMANN, Nils; MALIK, Arnim: *Lexikon der Luftfahrt*. Berlin : Springer, 2007
- Laweco 2012** LAWECO Maschinen- und Apparatebau GmbH: *Cargo Master Produkte*, 2012. - URL: <http://www.laweco.de/cms/14-1> (2012-05-22)
- Mensen 2007** MENSEN, Heinrich: *Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen*. Berlin : Springer, 2007
- Mulag 2012** MULAG Fahrzeugwerk Heinz Wössner GmbH u. Co. KG: *Ground Support - Innovative Flughafenfahrzeuge*, 2012. - URL: <http://www.mulag.de/flughafenfahrzeuge.html> (2012-05-22)
- Politecnico 2012** Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale: *Airport Planning Manual*, 2012. - URL: http://www.aero.polimi.it/~sordi/bacheca/download/CRJ_900_AIRPORTPLANNINGMANUAL.pdf (2012-05-22)
- Power Stow 2012** Power Stow A/S: *Power Stow*, 2012. - URL: <http://www.powerstow.com/product.aspx> (2012-05-27)
- Rheinmetall 2012** Rheinmetall Landsysteme GmbH: *Air Start Unit*, 2012. - URL: <http://www.rheinmetall-defence.com/index.php?fid=2815&lang=3> (2012-05-22)

- Rohr 2012** Rohr Nutzfahrzeuge GmbH: *Flugfeld-Tankfahrzeuge*, 2012. - URL: http://www.rohr-nfz.com/_de/produkte.php?active=produkte&pk=15 (2012-05-22)
- Telair 2012** Telair International: *Sliding Carpet® Loading System*, 2012. - URL: http://www.telair.com/narrowBody_slidingCarpet.html (2012-05-27)
- TBTUK 2012** TBTUK Ltd.: *Passenger & Crew Boarding Steps*, 2012. - URL: <http://www.tbduk.co.uk/products-services/passenger-crew-boarding-steps/#.T7vcf82yHfl> (2012-05-22)
- Vestergaard 2012** Vestergaard Company A/S: *Aircraft Service Trucks*, 2012. - URL: <http://www.g-vestergaard.com/> (2012-05-22)
- Viking 2012** Viking Trailers Ltd: *Motorised ULD Trailer*, 2012. - ULD: <http://www.vikingtrailers.co.uk/gse/motorised-ULD-transporter.html> (2012-05-27)
- Weyer 2012** Weyer GmbH: *GUINAULT Ground Power Units*, 2012. - URL: http://www.weyer.aero/0000000000001weyerintro-cms_extract.l32874.html?BUTTON_REC_ID=32874&change_LOGID=weyeren (2012-05-22)
- Wikipedia 2011** Wikipedia: *Ethnischer Verkehr*, 2011. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Ethnischer_Verkehr (2012-05-25)
- Wikipedia 2012a** Wikipedia: *Flagcarrier*, 2012. - URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Flagcarrier> (2012-05-25)
- Wikipedia 2012b** Wikipedia: *AirAsia X*, 2012. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/AirAsia_X (2012-05-25)
- Wikipedia 2012c** Wikipedia: *Charterflug*, 2012. - URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Charterflug> (2012-05-25)
- Wikipedia 2012d** Wikipedia: *Antonow An-124*, 2012. - URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Antonov_An-124 (2012-05-22)
- Wikipedia 2012e** Wikipedia: *Kraftstoffsystem (Flugzeug)*, 2012. - URL: [http://de.wikipedia.org/wiki/Kraftstoffsystem_\(Flugzeug\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Kraftstoffsystem_(Flugzeug)) (2012-05-23)
- Wikipedia 2012f** Wikipedia: *Unit Load Device*, 2012. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Unit_Load_Device (2012-05-239)

Anhang A

Inhalt der CD-ROM:

Projekt_Ottermann.doc

Projekt_Ottermann.pdf