



Bachelorarbeit

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Konzeptstudie über die Kompatibilität von Regionalflugzeugen für die Bodenabfertigung

Verfasser: Hartwig Ottermann

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

Abgabedatum: 31.08.2012

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik + Flugzeugbau
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

Airbus Operations GmbH
Future Projects Office (EIXUC)
Kreetslag 10
21129 Hamburg

Verfasser: Hartwig Ottermann
Abgabedatum: 31.08.2012

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Axel Dengler

Industrielle Betreuung: Dipl.-Ing. Axel Dengler

Verschwiegenheitserklärung

gegenüber der Airbus Operations GmbH

1. Der gekennzeichnete Teil der Abschlussarbeit von:

Hartwig Ottermann

enthält vertrauliche Informationen der Airbus Operations GmbH, die ausschließlich für die Erstellung der Abschlussarbeit und das damit verbundene Prüfungsverfahren verwendet werden dürfen.

2. Sofern kein spezieller Teil der Abschlussarbeit als vertraulich gekennzeichnet ist, unterliegt die gesamte Abschlussarbeit der Geheimhaltung, sofern und soweit die in ihr enthaltenen Informationen nicht bereits durch andere Veröffentlichungen bekannt oder sonst wie allgemein zugänglich sind oder nach Einreichung der Abschluss ohne Verschulden der empfangenden Partei offenkundig werden oder nach ihrer Übermittlung der empfangenden Partei von dritter Seite auf gesetzliche Weise und ohne Einschränkung in Bezug auf Geheimhaltung oder Verwendung bekannt gemacht wurden.
3. Die vertraulichen Inhalte der Arbeit sind nur den im Rahmen des Prüfungsverfahrens zuständigen Personen, insbesondere Prüfern, Prüfungsausschussmitgliedern und Mitgliedern von Widerspruchsausschüssen, zugänglich zu machen, die entweder einer gesetzlichen oder vertraglichen Vertraulichkeitsverpflichtung unterliegen. Die vertraulichen Inhalte der Arbeit bleiben Eigentum der Airbus Operations GmbH und sind vor dem Zugriff unbefugter Personen sicher aufzubewahren.
4. Die vertraulichen Informationen dürfen weder im Ganzen noch in Teilen veröffentlicht, vervielfältigt oder an Dritte weitergegeben werden, sofern keine ausdrückliche schriftliche Genehmigung seitens der Airbus Operations GmbH vorliegt. Eine Nutzung der vertraulichen Inhalte der Arbeit im Rahmen von Lehrveranstaltungen oder Forschungsprojekten ist ohne schriftliche Genehmigung der Airbus Operations GmbH nicht zulässig.
5. Über alle Geschäfts- und Betriebsangelegenheiten der Airbus Operations GmbH und mit dieser verbundenen Konzernunternehmen, die nicht öffentlich bekannt sind und die durch die Betreuung der/des Studentin/en – schriftlich oder mündlich – durch die/den Studentin/en oder durch die Airbus Operations GmbH selbst zur Kenntnis gelangen, ist Stillschweigen zu wahren.
6. Die Verschwiegenheitserklärung gilt ab Unterzeichnung für die Dauer von 10 Jahren.

HAW Hamburg

Ort, Datum

Hamburg, 12.07.12

Unterschrift:

M. Stawik
(Präsident)

Kurzreferat

In dieser Arbeit werden Anforderungen für eine schnelle und kostengünstige Flugzeugabfertigung von Regionalflugzeugen mit Turbopropantrieb definiert. Die Flugzeuge sollen beispielsweise über zwei Passagiertüren verfügen, um ein schnelles Ein- und Aussteigen der Fluggäste zu ermöglichen. Die Flugzeugabfertigung soll möglichst autark von Abfertigungsequipment durchführbar sein, weshalb auch die Schwellenhöhe der Ladeluke eine Be- und Entladung unabhängig von Förderbändern garantieren soll. Ein Teil der Arbeit befasst sich mit dem Vergleich abfertigungsrelevanter Aspekte von Regionalflugzeugen, die sich derzeit im Einsatz oder der Entwicklung befinden. Dabei wird u.a. auf die Maße der Türen und Ladeluken sowie die Außenmaße der Flugzeuge eingegangen. Der Hauptteil der Arbeit beinhaltet eine Konzeptstudie für eine Regionalflugzeugfamilie. Es werden zwei mögliche Familien mit vier bzw. fünf Sitzen pro Reihe ausgearbeitet. Anhand von möglichen Flugmissionen wird das Frachtraumvolumen bestimmt. Für das Handgepäckvolumen sind Direktflüge, für das Frachtraumvolumen Zubringerflüge dimensionierend. Ein wesentlicher Abschnitt dieser Arbeit befasst sich mit den Vor- und Nachteilen verschiedener Frachtraumvarianten. Für die hier konzipierten Regionalflugzeugfamilien werden begehbare und getrennte Frachträume im Unterdeck gewählt. Abschließend wird die Zugänglichkeit der Ladeluken untersucht. Hierbei wird deutlich, dass der Rumpf bei fünf Sitzen pro Reihe zu kurz für eine optimale Positionierung der Ladeluken ist.



DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE AND AERONAUTICAL ENGINEERING

Konzeptstudie über die Kompatibilität von Regionalflugzeugen für die Bodenabfertigung

Aufgabenstellung für eine *Bachelorarbeit*

Hintergrund

Seitens der Luftverkehrsunternehmen besteht der Bedarf an Regionalflugzeugen mit einer Sitzplatzkapazität von ca. 70-110 Sitzplätzen. Diese sollen neben den üblichen Direktverbindungen auch für Zubringerflüge zu Luftfahrtdrehkreuzen eingesetzt werden können. Derzeit gibt es in diesem Segment lediglich einige strahlgetriebene Modelle, wie z.B. die Embraer E-Jet-Familie (70-124 Sitzplätze) oder die Fokker F70/F100 (70-107 Sitzplätze). Turbofantriebwerke haben jedoch einen verhältnismäßig hohen spezifischen Kraftstoffverbrauch (Specific Fuel Consumption, SFC). Eine mögliche Alternative dazu bieten Turboproptriebwerke. Diese haben einen geringeren SFC als Turbofantriebwerke, was allerdings mit Einschränkungen bei der maximal zu erreichenden Fluggeschwindigkeit einhergeht.

Die Flugzeugabfertigung von Regionalflugzeugen mit Turbopropantrieb unterscheidet sich in einigen Bereichen von der Abfertigung größerer Flugzeugmuster. Viele dieser Flugzeuge haben beispielsweise eine Schulterdeckerkonfiguration mit unterhalb der Tragflächen installierten Triebwerken, was positive wie auch negative Auswirkungen auf die operationellen Aspekte der Flugzeugabfertigung hat. Oft werden mit Regionalflugzeugen kleine Flughäfen bedient, was hinsichtlich einer Unabhängigkeit von Abfertigungsequipment von Bedeutung ist.

In den direkten Betriebskosten der Luftverkehrsunternehmen sind auch die Kosten für die Flugzeugabfertigung enthalten. Es wird daher angestrebt, die durch die Abfertigung entstehenden Kosten so gering wie möglich zu halten, ohne jedoch den Gesamtentwurf negativ zu beeinflussen.

Aufgabe

Es sollen verschiedene Aspekte von Regionalflugzeugen untersucht werden, die Einfluss auf die Flugzeugabfertigung haben. Dadurch soll ein mögliches Konzept für ein Regionalflugzeug erstellt werden. Dieses soll sich günstig, ergonomisch und schnell abfertigen lassen.

Die Randbedingungen dieser Arbeit lauten:

- 70-110 Passagiere
(2 bis 3 Versionen, abhängig vom Rumpfquerschnitt)
- Schulterdecker-Konfiguration
- T-Leitwerk
- Zwei Turboprop-Triebwerke
(unter den Tragflächen installiert)

Untersucht werden sollen:

- Einfluss der Sitzanordnung auf Frachtraum, Türenanordnung und Zugänglichkeit
- Erforderliches Frachtraumvolumen
(Fracht, Gepäck, Handgepäck)
- Art, Lage und Maße des Frachtraums
- Zugänglichkeit der Ladeluke/n
(Lage und Größe)
- Innovationen im/am Frachtraum
- Lage und Art des Fahrwerks

Diese Abschlussarbeit wird in Zusammenarbeit mit
Dipl.-Ing. Axel Dengler, Airbus Operations GmbH, Fuselage and Payload EIXUC,
Kreetslag 10, 21129 Hamburg durchgeführt.

Die Arbeit unterliegt der Geheimhaltung.

Inhalt

Verzeichnis der Bilder	11
Verzeichnis der Tabellen	13
Liste der Abkürzungen	15
Verzeichnis der Begriffe und Definitionen	16
1 Einleitung	17
1.1 Motivation	17
1.2 Begriffsdefinition	18
1.3 Ziel der Arbeit	18
1.4 Aufbau der Arbeit	19
2 Abfertigungsspezifische Anforderungen an Regionalflugzeuge	20
2.1 Anforderungen für die Aufgaben der Flugzeugabfertigung	20
2.1.1 Anforderung für das Ein- und Aussteigen der Passagiere	20
2.1.2 Anforderungen für die Be- und Entladung des Gepäcks und der Fracht	22
2.1.2.1 Containerbeladung	23
2.1.2.2 Handbeladung	24
2.1.3 Versorgung der Kabine	25
2.1.4 Reinigung der Kabine	25
2.1.5 Betankung des Flugzeugs	26
2.1.6 Versorgung mit Frischwasser	26
2.1.7 Entsorgung des Abwassers	26
2.1.8 Versorgung mit elektrischer Energie	27
2.1.9 Versorgung mit klimatisierter Luft	27
2.1.10 Unterstützung des Triebwerksstarts	28
2.1.11 Bewegen des Flugzeugs	28
2.2 Zusammenfassung der Anforderungen	29
3 Vergleich von Regionalflugzeugen	30
3.1 Regionalflugzeuge mit Turbofan	30
3.1.1 Fokker F70/F100	30
3.1.2 Avro RJ85/RJ100	33
3.1.3 Bombardier CRJ100/CRJ200	35
3.1.4 Bombardier CRJ700/CRJ900/CRJ1000	35
3.1.5 Embraer ERJ145	37
3.1.6 Embraer E170/E175/190/195	38
3.1.7 Antonow An-148	41
3.1.8 Suchoi Superjet SSJ 100	42
3.1.9 COMAC ARJ21	42
3.1.10 Mitsubishi MRJ70/MRJ90	42
3.2 Regionalflugzeuge mit Turboprop	43
3.2.1 Fokker F50	43

3.2.2	British Aerospace ATP	44
3.2.3	Saab S2000	45
3.2.4	ATR42/72	46
3.2.5	Bombardier Dash 8 Q300/Q400	47
3.2.6	Iljuschin Il-114	48
3.2.7	Antonow An-140	49
3.2.8	Xian MA60	49
3.3	Übersicht über die Parameter der Regionalflugzeuge	49
4	Konzeptstudie	52
4.1	Einfluss der Sitzanordnung	52
4.1.1	Einfluss der Sitzanordnung auf die Gestaltung der Kabine	53
4.1.2	Einfluss der Sitzanordnung auf die Flugzeugabfertigung	54
4.1.3	Auswahlmöglichkeiten der Varianten	56
4.1.4	Zusammenfassung der Auswahlmöglichkeiten	61
4.2	Erforderliches Frachtraumvolumen	62
4.2.1	Beschreibung typischer Flugmissionen	62
4.2.2	Dimensionierung der Handgepäckfächer	65
4.2.3	Dimensionierung des Frachtraums	67
4.3	Art, Lage und Maße des Frachtraums	71
4.3.1	Unbegehbare Frachträume	71
4.3.2	Begehbare Frachträume auf dem Hauptdeck	72
4.3.3	Begehbare Frachträume im Unterdeck	76
4.3.4	Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der Frachtraum-varianten	84
4.4	Möglichkeiten eines durchgängiger Frachtraums	86
4.4.1	Vor- und Nachteile von durchgängigen Frachträumen	86
4.4.2	Auswahl der Frachtraumvariante 1	87
4.5	Lage und Art des Fahrwerks	88
4.5.1	Arten von Fahrwerken	88
4.5.2	Lage des Hauptfahrwerks	90
4.5.3	Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der Fahrwerksvarianten	92
4.5.4	Auswahl der Fahrwerksvariante und Auswahl der Frachtraumvariante 2	93
4.6	Zugänglichkeit der Ladeluken	96
4.6.1	Allgemeine Anforderungen an Ladeluken	96
4.6.2	Anforderungen bezüglich der Sicherheit	96
4.6.3	Anforderungen für schnelle Be- und Entladung	99
4.6.4	Anforderungen an vertikale Parameter der Ladeluken	101
4.7	Kompatibilität mit Abfertigungsequipment	103
5	Zusammenfassung	107
6	Schlussbemerkung	108
	Literaturverzeichnis	109
	Anhang A Berechnungen	114
	Anhang B Ramp Layouts	118

Verzeichnis der Bilder

Bild 2.1	Faltbarer Passagiersitz	22
Bild 2.2	LD3-45W Container	23
Bild 3.1	Seitenansicht der F70	31
Bild 3.2	Seitenansicht der F100 (alt)	32
Bild 3.3	Seitenansicht der F100	32
Bild 3.4	Seitenansicht der RJ85	33
Bild 3.5	Seitenansicht der RJ100	34
Bild 3.6	Seitenansicht der CRJ100/CRJ200	35
Bild 3.7	Seitenansicht der CRJ700	36
Bild 3.8	Seitenansicht der CRJ900	37
Bild 3.9	Seitenansicht der ERJ145	38
Bild 3.10	Seitenansicht der E170	39
Bild 3.11	Seitenansicht der E175	39
Bild 3.12	Seitenansicht der E190	40
Bild 3.13	Seitenansicht der E195	41
Bild 3.14	Seitenansicht der F50	43
Bild 3.15	Seitenansicht der ATP	44
Bild 3.16	Seitenansicht der S2000	45
Bild 3.17	Seitenansicht der ATR42	46
Bild 3.18	Seitenansicht der ATR72	47
Bild 3.19	Seitenansicht der Q400	48
Bild 4.1	Art der Bestuhlung und Anzahl der Sitzplätze von Regionalflugzeugen	53
Bild 4.2	Abdeckung der geforderten Sitzplatzanzahl über zwei oder drei Varianten	56
Bild 4.3	Kabinelayouts der Variante 1a und 1b mit vier Sitzen pro Reihe	57
Bild 4.4	Kabinelayouts der Variante 2a, 2b und 2c mit vier Sitzen pro Reihe	58
Bild 4.5	Kabinelayouts der Variante 1a und 1b mit fünf Sitzen pro Reihe	59
Bild 4.6	Kabinelayouts der Variante 2a, 2b und 2c mit fünf Sitzen pro Reihe	60
Bild 4.7	Übersicht über ausgewählte regionale Direktverbindungen der Lufthansa	63
Bild 4.8	Übersicht über ausgewählte Strecken zum Lufthansa HUB Frankfurt	64
Bild 4.9	Travelpro 22 ^{cc}	66
Bild 4.10	3D-Modell von Handgepäckfächern	67
Bild 4.11	Unbegehbarer Frachtraum der Bombardier CRJ900	71
Bild 4.12	Mit PreSTo-Cabin erzeugte Cross Sections	74
Bild 4.13	Kreisabschnitt	75
Bild 4.14	Cross Section der Embraer E-Jets	76
Bild 4.15	Frachtraum mit schrägen Seitenwänden	77
Bild 4.16	Frachtraum mit senkrechten Seitenwänden	77
Bild 4.17	Vereinfachte Darstellung des Frachtraums mit schrägen Wänden	78
Bild 4.18	Aufteilung in zwei Trapeze	78

Bild 4.19	Vereinfachte Darstellung des Frachtraums mit senkrechten Wänden.....	79
Bild 4.20	Aufteilung in ein Rechteck und ein Trapez.....	79
Bild 4.21	Seitenschnitt eines Frachtraums im Unterdeck	80
Bild 4.22	Mit PreSTo-Cabin erzeugte Cross Sections für Frachträume im Unterdeck ...	81
Bild 4.23	Mit PreSTo-Cabin erzeugter Frachtraumquerschnitt der ARxxx-4-Familie....	82
Bild 4.24	Mit PreSTo-Cabin erzeugter Frachtraumquerschnitt der ARxxx-5-Familie....	82
Bild 4.25	Kabinenlayout der AR112-4 mit und ohne Frachtraum auf dem Hauptdeck...84	
Bild 4.26	Seitenansicht der E195 mit eingezeichneten Tail Strike Angles.....	85
Bild 4.27	Draufsicht auf einen durchgängigen Frachtraum	86
Bild 4.28	Sliding Carpet System	87
Bild 4.29	Pilatus PC-6 Porter mit Spornradfahrwerk.....	88
Bild 4.30	McDonnell Douglas AV-8B Harrier II mit Tandemfahrwerk.....	89
Bild 4.31	Avro RJ85 mit Bugradfahrwerk	89
Bild 4.32	ATR72 mit konventionellem Rumpffahrwerk	90
Bild 4.33	Airbus CN235 mit ausgelagertem Rumpffahrwerk.....	91
Bild 4.34	Q400 mit in Triebwerksverkleidung integrierten Hauptfahrwerk.....	91
Bild 4.35	Lage und Maße des Propellers bei der ARxxx-4-Familie	94
Bild 4.36	Lage und Maße des Propellers bei der ARxxx-5-Familie	94
Bild 4.37	Für Frachtluken ungeeignete Bereiche (rot markiert) der ARxxx-4-Familie...98	
Bild 4.38	Für Frachtluken ungeeignete Bereiche (rot markiert) der ARxxx-5-Familie...98	
Bild 4.39	Optimale Positionierung der Ladeluken bei der ARxxx-4-Familie	100
Bild 4.40	Optimale Positionierung der Ladeluken bei der ARxxx-5-Familie	101
Bild 4.41	Samsonite Aeris Comfort	101
Bild 4.42	Mindestabstand zwischen Boden und Oberkante der Ladeluke.....	102
Bild 4.43	Ramp Layout des AR084-4.....	104
Bild 4.44	Ramp Layout des AR090-5	105
Bild 4.45	Positionierung der Fluggastbrücke an am AR090-5	106
Bild B. 1	Ramp Layout des AR096-4.....	118
Bild B. 2	Ramp Layout des AR0112-4.....	119
Bild B. 3	Ramp Layout des AR110-5.....	120

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1	Abfertigungsspezifische Anforderungen an die Regionalflugzeugfamilie ..	29
Tabelle 3.1	Bemaßung der Türen und Luken der F70	31
Tabelle 3.2	Bemaßung der Türen und Luken der F100 (alt)	32
Tabelle 3.3	Bemaßung der Türen und Luken der F100	32
Tabelle 3.4	Bemaßung der Türen und Luken der RJ85	34
Tabelle 3.5	Bemaßung der Türen und Luken der RJ100	34
Tabelle 3.6	Bemaßung der Türen und Luken der CRJ100/CRJ200	35
Tabelle 3.7	Bemaßung der Türen und Luken der CRJ700	36
Tabelle 3.8	Bemaßung der Türen und Luken der CRJ900	37
Tabelle 3.9	Bemaßung der Türen und Luken der ERJ145	38
Tabelle 3.10	Bemaßung der Türen und Luken der E170	39
Tabelle 3.11	Bemaßung der Türen und Luken der E175	40
Tabelle 3.12	Bemaßung der Türen und Luken der E190	40
Tabelle 3.13	Bemaßung der Türen und Luken der E195	41
Tabelle 3.14	Bemaßung der Türen und Luken der F50	44
Tabelle 3.15	Bemaßung der Türen und Luken der ATP	45
Tabelle 3.16	Bemaßung der Türen und Luken der S2000	45
Tabelle 3.17	Bemaßung der Türen und Luken der ATR42	46
Tabelle 3.18	Bemaßung der Türen und Luken der ATR72	47
Tabelle 3.19	Bemaßung der Türen und Luken der Q400	48
Tabelle 3.20	Äußere Parameter der Vergleichsflugzeuge	50
Tabelle 3.21	Parameter der Nutzlast der Vergleichsflugzeuge	51
Tabelle 4.1	Optimale Anzahl der Sitze pro Reihe	52
Tabelle 4.2	Vor- und Nachteile der Sitzplatzanordnung	55
Tabelle 4.3	Parameter der Varianten mit vier Sitzen pro Reihe	58
Tabelle 4.4	Parameter der Varianten mit fünf Sitzen pro Reihe	60
Tabelle 4.5	Parameter der ausgewählten Flugzeugfamilien	61
Tabelle 4.6	Maße des Travelpro 22“	66
Tabelle 4.7	Handgepäckvolumen der ARxxx-Familien	67
Tabelle 4.8	Gepäckgewichte	68
Tabelle 4.9	Gepäckdichte	68
Tabelle 4.10	Frachtraumvolumen der ARxxx-Familien	70
Tabelle 4.11	Nutzbare Querschnittsfläche der ARxxx-Familien	75
Tabelle 4.12	Frachtraumlängen und Rumpflängen bei Frachträumen auf Hauptdeck	76
Tabelle 4.13	Frachtraumquerschnittsflächen der ARxxx-Familien	82
Tabelle 4.14	Längen von Frachträumen im Unterdeck der ARxxx-Familien	83
Tabelle 4.15	Parameter für ICAO Aerodrome Reference Code	92
Tabelle 4.16	Vor- und Nachteile der verschiedenen Hauptfahrwerksvarianten	93
Tabelle 4.17	Gegenüberstellung der Vorteile beider Rumpffahrwerksvarianten	94
Tabelle 4.18	Abkürzungen und Bezeichnungen für Ramp Layouts	103

Tabelle A. 1	Berechnung des Faktor b	114
Tabelle A. 2	Berechnung des Faktor x	115
Tabelle A. 3	Berechnung des Faktor y	116
Tabelle A. 4	Vergleich von berechnetem und originalem Frachtraumvolumen.....	117

Liste der Abkürzungen

A	Airbus
ACU	Air Conditioning Unit
AHM	Airport Handling Manual
An	Antonow
APU	Auxiliary Power Unit
AR	Airbus Regional
ARJ	Advanced Regional Jet
ASU	Air Starter Unit
ATP	Advanced Turboprop
ATR	Avions de Transport Régional / Aerei da Trasporto Regionale
B	Boeing
BAe	British Aerospace
COG	Center of Gravity
CRJ	Bombardier Canadair Regional Jet
E	Embraer
EASA	European Aviation Safety Agency
ERJ	Embraer Regional Jet
F	Fokker
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
FPO	Future Projects Office
GPU	Ground Power Unit
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
Il	Iljuschin
LD	Load Device
MA	Modern Ark (Xi'an)
MRJ	Mitsubishi Regional Jet
Q	Quiet (Bombardier)
RJ	Regional Jet (Avro)
S	Saab
SSJ	Suchoi Superjet
ULD	Unit Load Device
URL	Universal Recource Locator
WWW	World Wide Web

Verzeichnis der Begriffe und Definitionen

PreSTo-Cabin

PreSTo-Cabin ist ein Modul des Programms PreSTo (Aircraft Preliminary Sizing Tool). Mit PreSTo-Cabin lassen sich Rumpfquerschnitte (Cross Sections) und Kabinengrundrisse (Layouts) erzeugen. Das Programm basiert auf Microsoft Excel. (Montarnal 2012)

Lader

Als Lader werden im Allgemeinen Mitarbeiter der Bodenverkehrsdienste bezeichnet, die für die Flugzeugabfertigung zuständig sind. (Ottermann 2012)

1 Einleitung

1.1 Motivation

Viele Luftverkehrsunternehmen haben Bedarf an Regionalflugzeugen mit einer Kapazität von 70 bis 110 Sitzplätzen für Direkt- und Zubringerflüge (Knorr 2005). Der Markt der Regionalflugzeuge wird derzeit nur von wenigen Flugzeugherstellern bedient. Dazu zählen neben Embraer aus Brasilien der kanadische Hersteller Bombardier und das europäische Unternehmen ATR. Im asiatischen Raum und den Ländern der ehemaligen Sowjetunion gibt es von einigen Herstellern das Bestreben, selbst neue Regionalflugzeuge zu produzieren.

Turboproptriebwerke haben einen geringeren spezifischen Kraftstoffverbrauch als Turbojettriebwerke (Bräunling 2009). Allerdings fliegen Flugzeuge mit Turbopropantrieb langsamer als Flugzeuge mit Turbojetantrieb. Dieser Unterschied ist jedoch auf kurzen Strecken, wie sie von Regionalflugzeugen geflogen werden, vernachlässigbar. Die Bombardier Dash 8 Q400 (max. 78 Passagiere) ist derzeit eines der größten Regionalflugzeuge mit Turbopropantrieb. Dieses Flugzeug hat Tragflächen in Schulterdeckerkonfiguration und ein T-Leitwerk. Die Triebwerke sind an den Tragflächen installiert. Die ATR72 (max. 74 Passagiere) hat eine identische Konfiguration. Diese beiden Flugzeuge zählen zu den erfolgreichsten Turbopropflugzeugen auf dem Markt. Es erscheint sinnvoll, die Konfiguration der Q400 bzw. der ATR72 für eine neue Regionalflugzeugfamilie für 70 bis 110 Passagiere zu verwenden.

Die Aspekte der Konfiguration der Tragflächen sowie die Anbringung der Triebwerke an diesen haben einen signifikanten Einfluss auf die Flugzeugabfertigung. Dies kann sich positiv auswirken. So wird beispielsweise die Konstruktion eines kurzen Fahrwerks ermöglicht. Dies führt dazu, dass der Rumpf tiefer über dem Boden liegt, wodurch sich die Erreichbarkeit der Türen, Ladeluken und Serviceöffnungen verbessert. Die Konfiguration kann allerdings auch negative Auswirkungen auf die Flugzeugabfertigung haben. Bei ähnlichen Flugzeugen wie den Avro RJ85/RJ100 oder der Antonow An-148 ist beispielsweise die Zugänglichkeit der Ladeluken durch die Lage der Triebwerke eingeschränkt.

Eine schnelle und kostengünstige Flugzeugabfertigung gewinnt in wirtschaftlich schwierigen Zeiten und steigenden Kerosinpreisen immer mehr an Bedeutung. Die Flugzeugabfertigung bietet in ihrer derzeitigen Durchführung noch Optimierungspotential. Airbus hat dies erkannt und möchte neue Flugzeugprojekte dahingehend verbessern.

1.2 Begriffsdefinition

Ein Regionalflugzeug wird im Lexikon der Luftfahrt (Klußmann 2007) wie folgt definiert:

„Bezeichnung für einen bestimmten Typus des → Verkehrsflugzeugs, der vornehmlich auf sehr kurzen bis kurzen Strecken mit niedrigen Passagierzahlen zum Einsatz kommt. Oft wird er im Zubringerdienst (→ Hub) zu großen → Flughäfen eingesetzt. Er zeichnet sich durch eine Kapazität von bis zu 100 Sitzplätzen und einen schlanken Rumpf mit nur einem Mittelgang aus. Das bevorzugte Antriebsaggregat ist das Turboprop-Triebwerk (→ Propeller-Turbinenluftstrahltriebwerk), es gibt aber auch zahlreiche jetgetriebene Typen (dann Regionaljet oder Regio Jet genannt).“

Im Lexikon der Luftfahrt (Klußmann 2007) wird die Flugzeugabfertigung folgendermaßen erklärt:

„Engl.: Ramp Services. Zusammenfassender Begriff für die luftseitigen → Bodenabfertigungsdienste, die an einem Flugzeug am Boden auf der → Ramp durchgeführt werden.“

Zu den Aufgaben der Flugzeugabfertigung gehören nach (AHM 2012) unter anderem:

- das Ein- und Aussteigen der Passagiere (Boarding/Deplaning)
- Be- und Entladung des Gepäcks/der Fracht
- die Versorgung der Kabine (Catering)
- Reinigung der Kabine
- Servicedienste am Flugzeug
- Betankungsdienste für das Flugzeug
- Bewegung des Flugzeugs aus der Parkposition (push back)

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept für eine Regionalflugzeugfamilie auszuarbeiten, das optimale Bedingungen für die Flugzeugabfertigung bietet.

Die Flugzeuge der auszuarbeitenden Regionalflugzeugfamilie sollen kostengünstig abzufertigen sein, was durch den Verzicht auf Abfertigungsequipment und eine Reduzierung des Personalbedarfs realisiert werden soll.

Außerdem sollen die Flugzeuge schnell abzufertigen sein. Durch eine Verbesserung bestehender Systeme und Strukturen sollen Vorgänge wie die Be- und Entladung der Frachträume beschleunigt werden. Hierdurch kann die Abfertigungszeit effektiv minimiert werden, sodass die Flugzeuge mehr Zeit in der Luft verbringen und den operierenden Luftverkehrsunternehmen mehr Gewinne einfliegen können (Klußmann 2007).

Die Optimierung auf die Ansprüche der Flugzeugabfertigung soll dabei allerdings keine negativen Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtentwurfs der Flugzeuge haben. Dies beinhaltet, dass weder das Gewicht, noch die Aerodynamik signifikant verschlechtert werden sollen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in folgende Abschnitte gegliedert:

- Abschnitt 2** beschäftigt sich mit den spezifischen Anforderungen, die für eine Flugzeugabfertigung eines Regionalflugzeuges erfüllt werden müssen.
- Abschnitt 3** vergleicht verschiedene Regionalflugzeuge miteinander, die der hier zu untersuchenden Regionalflugzeugfamilie aufgrund ihrer Passagierkapazität entsprechen würden.
- Abschnitt 4** beinhaltet die Konzeptstudie, die sich u.a. mit dem Einfluss der Sitzanordnung auf den Frachtraum, dem erforderlichen Frachtraumvolumen und der Zugänglichkeit der Ladeluken beschäftigt.
- Abschnitt 5** stellt eine Zusammenfassung der in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse dar. Darüber hinaus wird eine kritische Beurteilung vorgenommen.
- Abschnitt 6** beinhaltet die Schlussbemerkung.
- Anhang A** enthält Berechnungen zur Frachtraumberechnung
- Anhang B** beinhaltet ergänzende Abbildungen zu der Arbeit

2 Abfertigungsspezifische Anforderungen an Regionalflugzeuge

Hinsichtlich der Flugzeugabfertigung gibt es einige allgemeine Anforderungen, die beim Entwurf von neuen Flugzeugen zu berücksichtigen sind. Hierzu zählt z.B. die Möglichkeit der Anordnung der Abfertigungsfahrzeuge und Geräte, die auf dem Abfertigungslageplan (Ramp Layout) zusammengefasst werden. Daneben existieren Anforderungen, die insbesondere für die Abfertigung von Regionalflugzeugen von Bedeutung sind. Die neue Regionalflugzeugfamilie soll einen möglichst großen Markt bedienen können. Daher ist es unabdingbar, dass diese Flugzeuge auch für eine möglichst große Anzahl von Flughäfen geeignet sind. Der Anspruch beim Entwurf eines neuen Regionalflugzeugs liegt darin, die Abhängigkeit von Abfertigungsequipment zu minimieren, um es so auch auf kleineren, schlecht ausgerüsteten Flughäfen abfertigen zu können.

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Anforderungen, die aus Sicht der Flugzeugabfertigung an eine moderne Regionalflugzeugfamilie gestellt werden. Die hier ermittelten Anforderungen dienen im weiteren Verlauf der Arbeit als Anhaltspunkt für die Konzeptstudie.

2.1 Anforderungen für die Aufgaben der Flugzeugabfertigung

Die Reihenfolge, der in diesem Kapitel beschriebenen Abfertigungsaufgaben, ist grob an den Prozess einer Flugzeugabfertigung angelehnt. Beschrieben wird dieser Prozess umfangreich in den Airport Handling Manual (AHM) der International Air Transport Association (IATA) (AHM 2012).

2.1.1 Anforderung für das Ein- und Aussteigen der Passagiere

Im Regelfall betreten bzw. verlassen die Fluggäste die Passagierkabinen der Flugzeuge durch die dafür vorgesehenen Passagiertüren. Diese befinden sich traditionell auf der linken Rumpfseite. Bei einigen Flugzeugen können mehrere Passagiertüren gleichzeitig verwendet werden. Dadurch kann das Ein- und Aussteigen der Passagiere beschleunigt werden (Dengler 2012). Aus diesem Grund wird bei Großraumflugzeugen, teilweise aber auch bei Standardrumpfflugzeugen oder Regionalflugzeugen, häufig mehr als eine Passagiertür gleichzeitig benutzt. Viele Regionalflugzeuge verfügen lediglich über eine Passagiertür, welche sich im vorderen Rumpfbereich befindet. Die Ausnahme bilden hier die Flugzeuge des

Herstellers ATR, bei denen sich die Passagiertür im hinteren Rumpfbereich befindet. Regionalflugzeuge mit mehr Passagierkapazität, wie z.B. die Flugzeuge der Embraer E-Jet-Familie, verfügen über zwei Passagiertüren.

Die Flugzeuge der in dieser Arbeit behandelten Regionalflugzeugfamilie haben eine mit den Embraer E-Jets vergleichbare Passagierkapazität. Sie sollen daher ebenfalls über zwei Passagiertüren verfügen. Die Türen sollen sich, wie bei den E-Jets im vorderen wie auch im hinteren Bereich der Passagierkabine befinden. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, die Fluggäste parallel über zwei Passagiertüren ein- und aussteigen zu lassen. Um den Regularien der European Aviation Safety Agency (EASA) und Federal Aviation Administration (FAA) bezüglich einer Notfall-Evakuierung gerecht zu werden, werden den beiden Passagiertüren gegenüber zwei weitere Türen installiert. Diese Türen werden im weiteren Verlauf als Servicetüren bezeichnet. Für alle Türen wird der FAR Typ C Standard gewählt. Diese Türen haben nach (FAA 2012a) eine Mindesthöhe von 1,22 m (48 in) und eine Mindestbreite von 0,76 m (30 in). Der Eckenradius soll 0,25 m (10 in) nicht überschreiten. Ein Türenpaar ist für 55 Passagiere zugelassen. Dadurch können die für die Regionalflugzeugfamilie geforderten 110 Passagiere in der Kabine untergebracht werden. Die Höhe der Passagiertüren soll aus Gründen des Passagierkomforts mit einer Höhe von 1,80 m höher ausfallen als gefordert.

Bei vielen Flugzeugtypen werden Fluggasttreppen oder Fluggastbrücken benötigt, um das Ein- und Aussteigen der Passagiere sicher zu stellen. Dies trifft bis auf wenige Ausnahmen insbesondere auf Flugzeuge aus den Segmenten der Großraum- und Standardrumpfflugzeuge sowie auf einige Regionalflugzeuge zu. Alternativ dazu sind einige Flugzeugtypen mit eigenen Fluggasttreppen (Airstairs) ausgerüstet. Es existieren grundsätzlich zwei verschiedene Bauarten von Airstairs. Zum einen gibt es Airstairs, die auf den Innenseiten der Passagiertüren installiert sind. Diese Passagiertüren werden nach unten geöffnet und können so zum Ein- und Aussteigen verwendet werden. Zum anderen gibt es faltbare Airstairs. Bei dieser Bauart werden die Türen konventionell, also zur Seite hin geöffnet. Die Airstairs sind dann entweder in der Kabine oder unterhalb der Passagiertür installiert und lassen sich manuell oder über einen elektrischen bzw. mechanischen Antrieb aus- und einfahren.

Da Regionalflugzeuge grundsätzlich möglichst unabhängig von Abfertigungsequipment abgefertigt werden sollten, ist die Ausrüstung der hier untersuchten Regionalflugzeugfamilie mit Airstairs sinnvoll. Es ist dabei die Variante der faltbaren Airstairs zu bevorzugen, da sie einige Vorteile bietet. Die Airstairs können den Luftverkehrsunternehmen beispielsweise optional angeboten werden, wobei diese dann selbst entscheiden können, ob sie die Flugzeugabfertigung unabhängig von Fluggasttreppen bzw. Fluggastbrücken durchführen wollen oder ob sie stattdessen das Mehrgewicht, was durch die Airstairs verursacht wird, einsparen wollen. Ein weiterer Vorteil ist die bessere Kompatibilität zu Fluggastbrücken. Da die Passagiertüren bei dieser Variante seitlich geöffnet werden, können die Fluggastbrücken wie bei anderen Flugzeugen ohne Airstairs eingesetzt werden. Die in den sich nach unten öffnenden Passagiertüren integrierten Airstairs sind hingegen zu einigen Fluggastbrücken inkompatibel oder benötigen besondere Vorrichtungen, um eine Konnektivität herzustellen.

Für eine Kompatibilität mit Fluggastbrücken wie auch Fluggasttreppen ist ein weiterer Punkt von essentieller Bedeutung. So muss zwischen den Passagiertüren und weiteren Teilen des Flugzeugs, beispielsweise den Propellern, Tragflächen und Leitwerken ein genügend großer Abstand vorhanden sein, um Schäden an diesen zu vermeiden. Es muss daher sichergestellt werden, dass der Abstand zwischen Abfertigungsequipment und der Struktur des Flugzeugs 1,00 m nicht unterschreitet (Airbus 2004).

Flugzeuge mit einer Kapazität von 70 bis 110 Passagieren haben in der Passagierkabine im Allgemeinen vier bis fünf, jedoch nicht mehr als sechs Sitze pro Reihe. Dies führt dazu, dass lediglich ein Gang in der Passagierkabine erforderlich ist. Erst ab sieben Sitzen pro Reihe sind zwei Gänge erforderlich (FAA 2012b). Grundsätzlich ist der Vorgang des Ein- und Aussteigens bei Flugzeugen, die über zwei Gänge in der Passagierkabine verfügen, schneller durchzuführen (Dengler 2012). Allerdings würde ein zweiter Gang in der Kabine einer Regionalflugzeugfamilie mit einer Größenordnung, wie sie in dieser Arbeit behandelt wird, wenig Sinn machen, da der Kabinendurchmesser durch den zusätzlichen Platzbedarf überproportional ansteigen würde. Alternativ dazu kann über innovative Ideen aus dem Bereich des Kabinendesigns nachgedacht werden. Beispielfhaft soll an dieser Stelle der in Bild 2.1 dargestellte faltbare Passagiersitz der AIDA Development GmbH genannt werden (AIDA 2012). Dieser bietet Potential, den Vorgang des Ein- und Aussteigens der Passagiere zu beschleunigen (Scholz 2011). Insbesondere die Dauer des Verstauens oder des Herausnehmens von Handgepäck aus den Handgepäckfächern könnte durch den zusätzlichen Platz in der Passagierkabine entzerrt werden.



Bild 2.1 Faltbarer Passagiersitz (AIDA 2012)

2.1.2 Anforderungen für die Be- und Entladung des Gepäcks und der Fracht

Für die Be- und Entladung des Gepäcks bzw. der Fracht gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Ansätze. Entweder wird die Be- und Entladung schnell und kostenintensiv oder langsamer, dafür jedoch kostengünstiger, durchgeführt.

2.1.2.1 Containerbeladung

Beispielhaft für die erstgenannte Variante ist die Verwendung von Containern und Paletten (Unit Load Device, ULD). Diese werden bei Passierflugzeugen in den Frachträumen unter der Passagierkabine geladen. Für Flugzeuge der in Größenordnung der in dieser Arbeit zu untersuchenden Regionalflugzeuge kommen maximal die kleinsten derzeit verwendeten ULD in Frage, die LD3-45W (Bild 2.2). Diese sind jedoch von ihren äußeren Abmaßen schon relativ groß, wodurch ein entsprechender Frachtraum erforderlich wäre. Alternativ könnten kleinere Container entwickelt werden, die jedoch dann vorerst ausschließlich für diese Flugzeugfamilie geeignet wären. Eine weitere mögliche Alternative könnte es sein, die Container und Paletten vor oder hinter die Passagierkabine zu laden. Um in diesem Bereich jedoch eine optimale Raumausnutzung zu erreichen, müssten ebenfalls neue Container entwickelt werden.

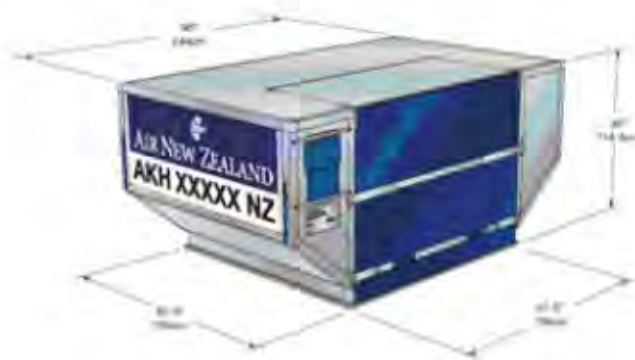


Bild 2.2 LD3-45W Container (First Global 2012)

Wie eingangs erwähnt, bietet die Verwendung von ULD Vor- und Nachteile. Die Be- und Entladung von Flugzeugen kann mit keiner anderen Variante so schnell durchgeführt werden. Des Weiteren kann die Be- und Entladung mit ULD grundsätzlich durch eine Person bewerkstelligt werden. Allerdings wird spezielles Equipment in und außerhalb des Flugzeugs für die Flugzeugabfertigung benötigt.

Der Frachtraum eines ULD-fähigen Flugzeugs benötigt ein Transportsystem. Dieses besteht aus angetriebenen und nicht angetriebenen Rollen und Transportsicherungen (Locks). Dadurch wird ein Bewegen der ULD für die Be- und Entladung sowie eine Sicherung der Ladung für den Flug sichergestellt. Das Gewicht dieses Systems erhöht das Gesamtgewicht des Flugzeugs.

Außerhalb des Frachtraums und somit auf Seiten der Flughäfen bzw. der Flugzeugabfertigungsunternehmen werden für die Be- und Entladung von ULD spezielle Hubtransporter (Transporter/Loader) und sogenannte Dolleys benötigt. Hubtransporter sind Fahrzeuge, die von einem Lader gesteuert bzw. bedient werden. Mit diesen Fahrzeugen werden die Flugzeuge mit den ULD be- und entladen. Des Weiteren wird durch die Hubtransporter der Transport zwischen dem Flugzeug und den am Rand der

Abfertigungsposition abgestellten Dolleys sichergestellt. Dolleys sind Anhänger, die speziell für die Aufnahme von ULD konstruiert sind. Sie werden für den Transport der ULD zwischen Flughafengebäuden und Abfertigungsposition benutzt. Teilweise werden Dolleys auch für die Lagerung von ULD verwendet. Neben dem erwähnten Equipment sind noch Lagerstätten für leere ULD vorzuhalten.

Viele kleinere Flughäfen haben nicht das nötige Equipment bzw. die Infrastruktur um die Be- und Entladung von Flugzeugen mit ULD durchzuführen. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, ein Regionalflugzeug mit einem solchen System auszurüsten, da dies auch mit einem Mehrgewicht des Flugzeugs verbunden wäre. Die Zusatzkosten, die für das operierende Luftfahrtunternehmen durch das Management der ULD hinzukommen, sind ein weiterer Nachteil dieses Systems.

2.1.2.2 Handbeladung

Alternativ zu der Verwendung von ULD kann die Be- und Entladung manuell durchgeführt werden. Bei dieser Variante werden Ladungsstücke, wie z.B. Gepäck- und Frachtstücke, von Hand vom Ladepersonal be- und entladen. Diese Art der Be- und Entladung wird daher als Handbeladung bezeichnet. Bei Flugzeugen, bei denen der mit Schwellenhöhe bezeichnete Abstand zwischen dem Boden und der Unterkante der Ladeluke mehr als 1,65 m misst, ist ein Förderband erforderlich (Ottermann 2012).

Der Vorteil der Handbeladung ist, dass man sie nahezu ohne spezielles Equipment durchführen kann. Die Gepäck- bzw. Frachtstücke werden auf Trolleys, welche von Zugmaschinen gezogen werden, zwischen den Flughafengebäuden und den Flugzeugen transportiert. Lediglich bei Flugzeugen mit der erwähnten zu hohen Schwellenhöhe werden zusätzlich Förderbänder gebraucht. Das hier aufgeführte und für die Handbeladung erforderliche Equipment gehört normalerweise zur Grundausstattung eines jeden Flughafens. Zusätzliche Infrastruktur, wie sie beispielsweise für die Lagerung und Handhabung der ULD gebraucht wird, ist nicht nötig.

In den Flugzeugen sind kaum besondere bauliche Maßnahmen erforderlich. Die Ladungssicherung erfolgt durch Netze, welche den Frachtraum ab einer gewissen Größe in einzelne Sektionen teilen.

Der Nachteil der Handbeladung gegenüber der Verwendung von ULD ist, dass sie nicht so schnell durchgeführt werden kann. Des Weiteren ist auch mehr Ladepersonal für diese Art der Be- und Entladung erforderlich.

Es wird angestrebt, die Schwellenhöhe der Ladeluken der Frachträume unterhalb einer Höhe von 1,65 m zu legen, um eine Unabhängigkeit von den Förderbändern zu erlangen. Die

optimale Schwellenhöhe für eine zügige Be- und Entladung von Hand liegt bei 1,20 m (Ottermann 2012).

2.1.3 Versorgung der Kabine

Die Versorgung der Kabine mit Speisen, Getränken und Verkaufswaren wird allgemein als Catering bezeichnet. Der Umfang und die Dauer dieses Vorgangs hängen von der Anzahl und der Größe der Bordküchen (Galleys) ab. Regionalflugzeuge der in dieser Arbeit behandelten Größenordnung haben ein bis zwei Galleys. Die Galleys befinden sich normalerweise im Bereich der Passagier- bzw. Servicetüren. Die Versorgung der Galleys wird durch Cateringfahrzeuge durchgeführt, die oft mit einem höhenverstellbaren Aufbau ausgestattet sind. Die Fahrzeuge können an die Servicetüren der Flugzeuge andockt werden. Dadurch können die Cateringtrolleys mit den Speisen, Getränken und Verkaufswaren zwischen Cateringfahrzeug und Flugzeug transferiert werden.

Die zu untersuchende Regionalflugzeugfamilie soll über lediglich eine Galley verfügen. Diese wird in den vorderen Türbereich integriert. Damit das Cateringfahrzeug am Flugzeug positioniert werden kann, während die Passagiere dieses verlassen, soll das Catering, wie bei nahezu allen Flugzeugen üblich, von der rechten Seite durchgeführt werden. Dazu wird die vordere Servicetür benutzt. Es ist erforderlich, dass diese Tür neben ihrer Funktion als Notausgang auch den Anforderungen für die Versorgung der Galleys entspricht. Sie müssen aus diesem Grund ebenerdig sein und mindestens den Maßen eines großen Cateringtrolleys (Fullsize Trolley) entsprechen. Diese Trolleys haben eine Höhe von 1,03 m und eine Breite von 0,30 m (Direct 2012). Die in Kapitel 2.1.1 gewählten FAR Typ C Türen entsprechen diesen Anforderungen. Die Galley sollte genügend Fassungsvermögen haben, um gegebenenfalls Speisen, Getränke und Verkaufsware für mehrere Flüge vorzuhalten. Dies hat den Vorteil, dass die Galley nicht nach jedem Flug neu versorgt werden muss, wodurch die Abfertigungsdauer verkürzt werden kann.

2.1.4 Reinigung der Kabine

Die Reinigung der Kabine wird gleichzeitig mit der Versorgung der Kabine durchgeführt. Es wird entweder von Reinigungspersonal des Flughafens oder von der Kabinencrew durchgeführt. Bei Regionalflugzeugen betritt bzw. verlässt das Reinigungspersonal die Kabine über die Passagiertüren. Der Umfang der Kabinenreinigung variiert zwischen den Luftverkehrsunternehmen.

Für den Flugzeugentwurf und das Kabinenlayout gibt es keine besonderen Anforderungen um das Reinigen der Kabine zu ermöglichen. Allerdings kann der oben erwähnte faltbare Passagiersitz beispielsweise das Staubsaugen des Kabinenbodens und die Reinigung der Fensterplätze erleichtern und daher beschleunigen. Auch können neue Technologien, wie z.B. leicht zu säubernde Sitze, hilfreich für die Kabinenreinigung sein.

2.1.5 Betankung des Flugzeugs

Die Betankung mit Kerosin wird bei den meisten Regionalflugzeugen an den Tanköffnungen der rechten Tragflächen durchgeführt. Dadurch kann der Tankwagen schon in Position fahren, während die Passagiere noch aussteigen. Dies soll auch bei den in der vorliegenden Arbeit zu untersuchenden Regionalflugzeugen entsprechend gehandhabt werden. Eine Positionierung der Tankfahrzeuge unterhalb der Tragflächen ist aufgrund der Konfiguration der Tragflächen, die als Schulterdecker gestaltet sind, möglich. So kann eine zusätzliche Treppe eingespart werden.

2.1.6 Versorgung mit Frischwasser

Das Frischwasser wird für die Versorgung der Galleys und der Bordtoiletten (Lavatories) benötigt. Es wird an Bord in Frischwassertanks gelagert. Um zu vermeiden, dass das Servicefahrzeug zum Füllen der Tanks mehrfach an das Flugzeug manövriert werden muss, wird festgelegt, dass die hier zu untersuchende Regionalflugzeugfamilie lediglich einen Frischwassertank erhält. Dieser sollte im Heckbereich des Rumpfes positioniert werden. Bei vielen anderen Flugzeugen ist der Frischwassertank an dieser Stelle installiert, was für die Wahl der Position spricht. Für die Durchführung des Frischwasserservices, d.h. das Füllen des Tanks, muss das Frischwasserservicefahrzeug unter das Heck des Flugzeugs manövriert werden. Es ist sinnvoll, den Serviceanschluss maximal in einer Höhe von 2,00 m zu installieren. So kann dieser ohne Hilfsmittel wie Leitern oder Servicebühnen erreicht werden. Dadurch wird eine möglichst große Unabhängigkeit von Spezialequipment realisiert.

2.1.7 Entsorgung des Abwassers

Die hier untersuchte Regionalflugzeugfamilie soll unabhängig von ihrer Version bzw. der Anzahl der Sitzplätze über zwei Lavatorys im Heckbereich der Kabine verfügen. Der Abwassertank, der zum Sammeln des Abwassers der Lavatorys benötigt wird, sollte sich zweckmäßigerweise ebenfalls im Heckbereich des Rumpfes befinden. Dadurch kann auch das

Servicefahrzeug für die Abwasserentsorgung unter das Flugzeugheck manövriert werden, um seine Arbeiten durchzuführen. Es besteht an dieser Stelle kein Konflikt zwischen dem Frischwasserservice- und dem Abwasserservicefahrzeug, da beide Servicearten nur wenig Zeit in Anspruch nehmen und nacheinander ausgeführt werden können.

2.1.8 Versorgung mit elektrischer Energie

Die flugzeugeigenen Systeme, wie z.B. Beleuchtung, Avionik und Kühlung der Galleys, benötigen eine elektrische Versorgung. Im Flug wird dies durch die an den Triebwerken angeschlossenen Generatoren übernommen. Alternativ dazu kann auch ein Hilfstriebwerk (Auxiliary Power Unit, APU) diese Versorgung übernehmen, sofern es vorhanden ist. Wenn das Flugzeug auf dem Vorfeld steht und die Triebwerke abgeschaltet sind, wird die Versorgung mit elektrischer Energie entweder von der APU oder einem bodenseitigen Stromaggregat (Ground Power Unit, GPU) übernommen. Auf vielen Flughäfen wie z.B. dem Hamburg Airport ist es aus Umweltschutz- und Lärmschutzgründen untersagt, die APU während der Flugzeugabfertigung zu diesem Zweck einzuschalten (Hamburg 2012). Die behandelte Regionalflugzeugfamilie verfügt über eine APU. Dennoch wird aus den genannten Gründen ein Anschluss für die externe Stromversorgung vorgesehen. Dieser soll sich, wie bei Flugzeugen üblich, im vorderen Rumpfbereich in einem genügend großen Sicherheitsabstand zu den Triebwerken befinden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Versorgung mit elektrischer Energie auch bei eingeschalteten Triebwerken vorgenommen werden kann. Die GPU sollte auf der rechten Rumpfseite abgestellt werden, um die Passagiere nicht unnötig mit Abgasen und Lärm zu belästigen. Es ist daher trotz der Flexibilität, die durch ein langes Stromkabel gegeben wird, empfehlenswert, den Anschluss ebenfalls auf der rechten Rumpfseite vorzusehen. Des Weiteren sollte die Höhe, in der dieser Anschluss liegt, nicht höher als 2,00 m sein, um eine Unabhängigkeit von zusätzlichem Equipment zu gewährleisten.

2.1.9 Versorgung mit klimatisierter Luft

Um die Kabinenluft an kalten Tagen zu heizen bzw. an heißen Tagen zu kühlen, kann zur Unterstützung der flugzeugeigenen Klimaanlage ein bodenseitiges Gerät an das Flugzeug angeschlossen werden. Dies ist zudem erforderlich, wenn die flugzeugeigenen Klimaanlage aus Gründen der Energiesparsamkeit abgeschaltet sind. Die Verbindung des bodenseitigen Klimageräts (Air Conditioning Unit, ACU) mit dem Flugzeug wird über einen Klimaschlauch realisiert. Der Anschluss für die ACU, der standardisiert ist, liegt meist in unmittelbarer Nähe der flugzeugeigenen Klimageräte. Diese befinden sich bei den meisten Flugzeugen aus Gewichtsgründen im Rumpf in der Nähe des Flügels. Bei der in dieser Arbeit zu

behandelnden Regionalflugzeugfamilie werden die Klimaanlage daher auch in diesem Bereich installiert. Für die Flugzeugabfertigung ist zu beachten, dass der Anschluss für die externe ACU in einer Höhe bis maximal 1,80 m liegt, da sonst zusätzliches Equipment erforderlich ist, um den Klimaschlauch am Flugzeug anzuschließen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Anschluss für die ACU auf der linken Rumpfseite installiert wird. Der Grund hierfür ist, dass sich auf einigen Flughäfen direkt an der Fluggastbrücke ein Klimaschlauch zur Konditionierung der Kabinenluft befindet. Die Fluggastbrücke wird, wie in Kapitel 2.1.1 erwähnt an die linke Rumpfseite angedockt.

2.1.10 Unterstützung des Triebwerksstarts

Die Flugzeuge der hier zu untersuchenden Regionalflugzeugfamilie werden mit Turboproptriebwerken ausgerüstet. Turboproptriebwerke werden normalerweise über einen Elektrostarter gestartet und nicht wie die meisten Turbofantriebwerke über einen Druckluftanlasser (Air Starter). Ein Beispiel hierfür ist das Triebwerk der Bombardier Dash 8 Q 400 (PWC 2012). Aus diesem Grund wird bei diesen Flugzeugen auch kein bodenseitiges Startgerät (Air Starter Unit, ASU) benötigt. Die elektrische Energie, die für den Triebwerksstart erforderlich ist, wird entweder von der APU oder alternativ von der GPU bereitgestellt. Der Triebwerksstart über die GPU ist weit verbreitet und macht es erforderlich, dass das Gerät solange am Flugzeug angeschlossen bleibt, bis der Triebwerksstartvorgang abgeschlossen ist. Daher sei an dieser Stelle noch einmal auf einen ausreichenden Abstand zwischen dem Anschluss für die GPU und dem Triebwerk hingewiesen.

2.1.11 Bewegen des Flugzeugs

Wenn sich Flugzeuge am Boden bewegen, werden sie von ihren Triebwerken angetrieben. Dies bedeutet, dass die Räder des Fahrwerks nicht über einen eigenen Antrieb verfügen. Flugzeuge können theoretisch, sofern sie über Schubumkehr oder verstellbare Propeller verfügen, selbstständig rückwärtsfahren. Dieses Verfahren wird jedoch in der Praxis nicht häufig angewendet und ist auf vielen Flughäfen nur mit Einschränkungen erlaubt (SFO 2009). Gründe hierfür sind u.a. die zusätzliche Umwelt- und Lärmbelastung sowie die erhöhte Unfallgefahr. Die Flugzeuge sollten daher von Fahrzeugen gezogen bzw. geschoben werden können. Normalerweise werden die Schleppfahrzeuge am Bugfahrwerk angeschlossen. Es muss also sichergestellt werden, dass Flugzeugschlepper am Bugfahrwerk andocken können.

2.2 Zusammenfassung der Anforderungen

Die in diesem Kapitel ermittelten Anforderungen werden an dieser Stelle noch einmal in einer Tabelle zusammengefasst (Tabelle 2.1). Diese soll als Anhaltspunkt für den weiteren Verlauf der Untersuchung dienen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Konzeptstudie allen bis hier aufgestellten Anforderungen für eine effiziente Flugzeugabfertigung gerecht wird.

Tabelle 2.1 Abfertigungsspezifische Anforderungen an die Regionalflugzeugfamilie

Anforderungen	Begründung
Zwei FAR Typ C Türenpaare vor und hinter der Passagierkabine	Schnelleres Ein- und Aussteigen der Passagiere
Passagiertüren zur Seite öffnend	Bessere Kompatibilität zu Abfertigungsequipment
Optionale Airstairs (Faltbar)	Unabhängigkeit von Abfertigungsequipment (Fluggasttreppen, Fluggastbrücken)
Ein Kabinenmittelgang	Maximal sechs Sitze pro Reihe
Faltbare Passagiersitze, ein bis zwei pro Reihe	Schnelleres Ein- und Aussteigen der Passagiere
Handbeladung	Günstige Be- und Entladung unabhängig von Abfertigungsequipment (Hubtransporter, etc.)
Schwellenhöhe < 1,65 m, Optimum 1,20 m	Unabhängigkeit von Abfertigungsequipment (Förderband), schnelleres Be- und Entladen
Eine Galley im vorderen Kabinenbereich	Schnelle Versorgung der Galley mit nur einem Servicefahrzeug
Fassungsvermögen der Galley für mehrere Flüge	Zeitersparnis bei der Flugzeugabfertigung
Tanköffnung in Rechter Tragfläche	Tankwagen kann in Position fahren, während die Passagiere noch aussteigen
Ein Frischwassertank im Heckbereich des Rumpfes	Servicefahrzeug muss nur einmal an Flugzeug manövriert werden
Höhe der Serviceöffnung vom Boden < 2,00 m	Unabhängigkeit von Spezialequipment (Leitern, etc.)
Ein Abwassertank im Heckbereich des Rumpfes	Servicefahrzeug muss nur einmal an Flugzeug manövriert werden
Höhe der Serviceöffnung vom Boden < 2,00 m	Unabhängigkeit von Spezialequipment
Anschluss für externe Energieversorgung im vorderen Rumpfbereich	Einstecken bzw. Herausziehen des Versorgungssteckers auch bei laufenden Triebwerken
Anschluss auf rechter Rumpfseite	Keine Belästigung der Passagiere durch Lärm und Abgase
Höhe des Anschluss < 2,00 m	Unabhängigkeit von Spezialequipment
Anschluss für externes Klimagerät auf linker Rumpfseite	Bessere Kompatibilität zu in Fluggastbrücken integrierten Klimageräten
Höhe des Anschluss < 1,80 m	Unabhängigkeit von Spezialequipment
Bugfahrwerk kompatibel zu Flugzeugschleppern	Rückwärtsschieben ermöglichen

3 Vergleich von Regionalflugzeugen

In diesem Kapitel werden einige Regionalflugzeuge vorgestellt, die sich derzeit im Einsatz bzw. in der Entwicklung befinden. Dabei wird neben der Konfiguration und den Abmessungen auch auf Besonderheiten hinsichtlich der Flugzeugabfertigung eingegangen, sofern Informationen dafür zur Verfügung stehen. Die Aufteilung der Flugzeuge erfolgt nach der Antriebsart. Um den Umfang dieses Kapitels zu begrenzen, werden ausgewählte Flugzeuge mit 50 bis 120 Sitzplätzen behandelt. Darüber hinaus befinden sich diese Flugzeuge in einer ähnlichen Größenordnung wie die zu konstruierende Flugzeugfamilie, was eine gute Vergleichbarkeit gewährleistet. Die Analyse der Flugzeuge lieferte gute Daten über die unterschiedlichen Konfigurationen und Besonderheiten hinsichtlich der Flugzeugabfertigung. In den diesem Kapitel folgenden Ausführungen wird daher auf die erarbeiteten Werte zurückgegriffen.

3.1 Regionalflugzeuge mit Turbofan

Im Bereich der Regionalflugzeuge mit Turbofanantrieb gibt es einige Flugzeuge, wie die Embraer E-Jets oder die Bombardier CRJ, die sich derzeit sowohl in der Produktion als auch im Einsatz befinden. Des Weiteren werden momentan auch Flugzeuge eingesetzt, die nicht mehr produziert werden. Beispiele dafür sind die Fokker F70/F100 oder Avro RJ85/RJ100. Außerdem gibt es von einer Vielzahl von Unternehmen, insbesondere aus dem asiatischen Raum und den Ländern der ehemaligen Sowjetunion, die durchaus ernst zu nehmende Bestrebungen haben, neue Flugzeuge in diesem Bereich zu entwickeln. Beispiele für derartige Neuentwicklungen sind die Mitsubishi MRJ70/MRJ90 oder COMAC ARJ21.

3.1.1 Fokker F70/F100

Die Fokker F70 (Bild 3.1) ist für 79-80 Passagiere mit fünf Sitzen pro Reihe ausgelegt und wird durch zwei Turbofantriebwerke angetrieben. Sie ist als Tiefdecker, mit freitragenden nach hinten gefeilten Tragflächen, ausgelegt. Sie hat eine Gesamtlänge von 30,90 m bei einer Spannweite von 28,08 m. Die zwei Turbofantriebwerke dieses Flugzeugtyps sind seitlich am Heck des Rumpfes installiert. Des Weiteren verfügt die F70 über ein T-Leitwerk. (Jane's 2012)

Durch die Konfiguration des Flugzeugs ist das an den Tragflächen angebrachte Fahrwerk sehr kurz, was das Erreichen der Ladeluken und der Serviceöffnungen ohne Hilfsmittel ermöglicht. Die linke vordere Kabinentür ist optional als Airstair ausgeführt. Sie lässt sich nach unten öffnen und somit zum Besteigen bzw. Verlassen des Flugzeugs verwenden. Dadurch wird

keine Fluggastbrücke oder Fluggasttreppe benötigt. Die beiden Frachträume der F70 liegen unterhalb der Passagierkabine und verfügen auf der rechten Rumpfseite über jeweils eine nach außen und oben öffnende Ladeluke. Die Frachträume werden durch den Flügelmittelkasten und den Fahrwerksschacht unterbrochen. Die Lage bzw. Maße der Türen und Ladeluken der in Bild 3.1 dargestellten F70 sind Tabelle 3.1 zu entnehmen.

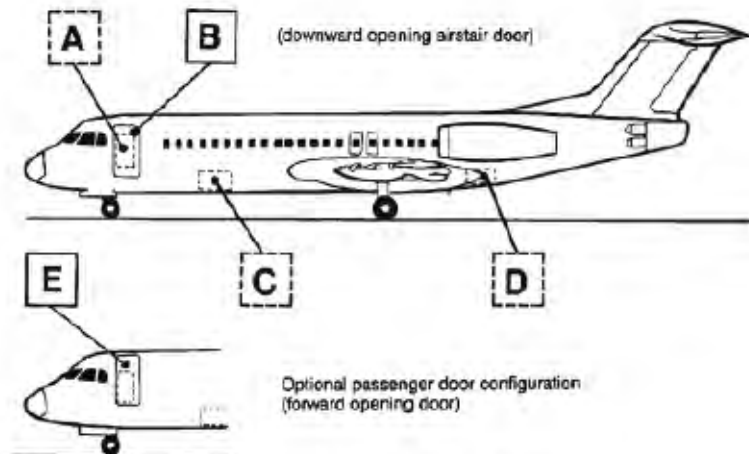


Bild 3.1 Seitenansicht der F70 (AHM 2012)

Tabelle 3.1 Bemaßung der Türen und Luken der F70 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,24	0,61 x 1,29	2,04	2,44
B	4,36	0,86 x 2,21	1,56*	1,96*
C	8,08	1,40 x 1,45	1,19	1,51
D	19,48	0,97 x 1,22	1,51	1,80
E	4,36	0,86 x 2,21	2,04	2,44

Die Fokker F100 (Bild 3.2 und Bild 3.3) ist für 97 bis 122 Passagiere mit fünf Sitzen pro Reihe ausgelegt. Die Konfiguration der Fokker F100 ist identisch mit der Konfiguration der F70. Lediglich der Rumpf ist 4,63 m länger als der des kleineren Modells. Die F100 hat somit eine Gesamtlänge von 35,53 m bei einer Spannweite von 28,08 m. (Jane's 2012)

Auch die Eigenschaften hinsichtlich der Flugzeugabfertigung gleichen, aufgrund des kurzen Fahrwerks, denen der Fokker F70. Der vordere Frachtraum der F100 ist aufgrund seiner Länge mit zwei Ladeluken ausgestattet. Dies erleichtert die Be- und Entladevorgänge des Frachtraums. Ältere Versionen dieses Flugzeugs haben kleinere Ladeluken, die nach unten zu öffnen sind, während sich die größeren Ladeluken bei neueren Versionen wie der F70 nach außen und oben öffnen lassen. In Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3 sind die Lage bzw. Maße der Türen und Ladeluken zu den in Bild 3.2 und Bild 3.3 dargestellt Versionen zu finden.

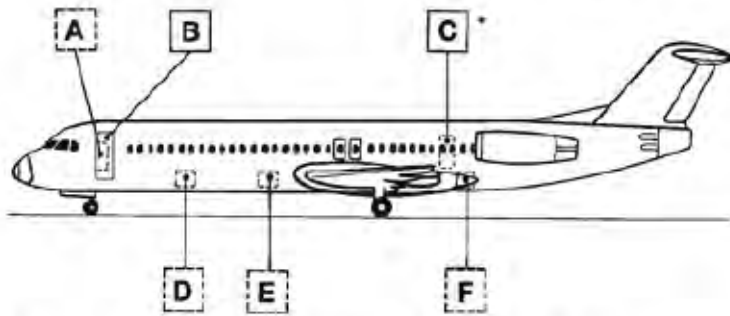


Bild 3.2 Seitenansicht der F100 (alt) (AHM 2012)

Tabelle 3.2 Bemaßung der Türen und Luken der F100 (alt) (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,24	0,61 x 1,29	2,09	2,40
B	4,36	0,86 x 2,21	1,61**	1,91**
C	20,87	0,61 x 1,44	2,31	2,49
D	8,31	0,95 x 0,90	1,31	1,56
E	12,29	0,95 x 0,90	1,37	1,57
F	21,74	0,95 x 0,90	1,46	1,65

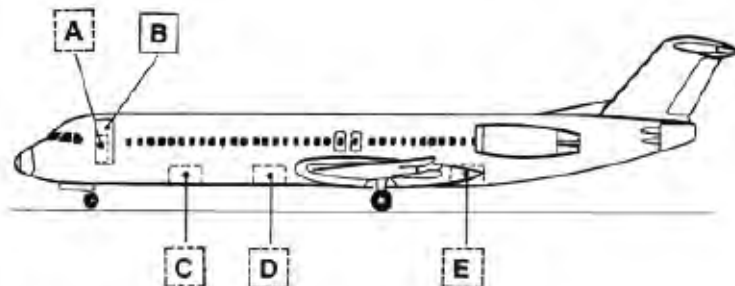


Bild 3.3 Seitenansicht der F100 (AHM 2012)

Tabelle 3.3 Bemaßung der Türen und Luken der F100 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,24	0,61 x 1,29	2,09	2,40
B	4,36	0,86 x 2,21	2,09	2,40
C	8,08	1,40 x 1,45	1,20	1,46
D	12,06	1,40 x 1,45	1,27	1,48
E	21,51	1,40 x 1,45	1,36	1,55

3.1.2 Avro RJ85/RJ100

Die Avro RJ85 (Bild 3.4) ist, je nach Sitzabstand, für 85 bis 112 Passagiere mit fünf oder sechs Sitzen pro Reihe ausgelegt. Die Avro RJ85 ist ein Hochdeckerflugzeug. Die Tragflächen sind freitragend und nach hinten gefeilt. Die Länge des Flugzeugs misst 28,60 m, die Spannweite 26,21 m. Die vier Turbofantriebwerke sind unter den Tragflächen installiert. Des Weiteren verfügt das Flugzeug über ein T-Leitwerk. (Jane's 2012)

Die Konfiguration der Avro RJ85 erlaubt ein sehr kurzes Rumpffahrwerk (Body Landing Gear). Dadurch ist die Erreichbarkeit der Ladeluken und Serviceöffnungen unabhängig von Hilfsmitteln sichergestellt. Das Flugzeug hat optional ausklappbare Fluggasttreppen, wodurch das Ein- und Aussteigen unabhängig von Abfertigungsequipment durchgeführt werden kann. Die RJ85 verfügt über zwei Frachträume, die sich unterhalb der Passagierkabine befinden und durch den Fahrwerksschacht voneinander getrennt sind. Diese Frachträume können jeweils über eine nach innen und oben öffnende Ladeluke auf der rechten Rumpfsseite be- und entladen werden. Der vordere Frachtraum der RJ85 verfügt darüber hinaus bei einigen Versionen über einen separaten Bereich, der für den Transport von besonderer Fracht, wie z.B. lebender Tiere, vorgesehen ist. Dieser Bereich ist vom restlichen Frachtraum durch eine Wand mit integrierter Tür abgetrennt. Die Bemaßungen wie auch die Lagen der Türen und Ladeluken der in Bild 3.4 dargestellten RJ85 sind Tabelle 3.4 zu entnehmen.

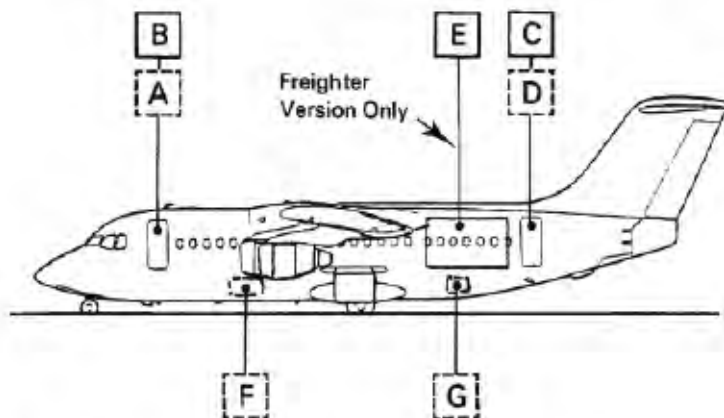


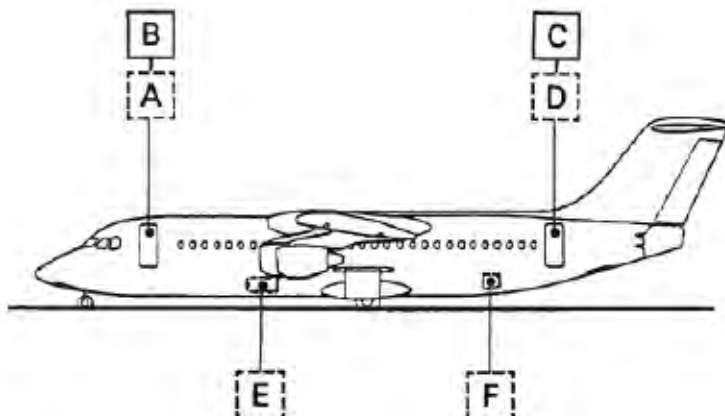
Bild 3.4 Seitenansicht der RJ85 (AHM 2012)

Tabelle 3.4 Bemaßung der Türen und Luken der RJ85 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	5,08	0,85 x 1,55	1,88	2,11
B	5,08	0,85 x 1,91	1,88	2,11
C	20,42	0,85 x 1,92	1,80	2,08
D	20,42	0,85 x 1,55	1,80	2,08
E	17,78	3,33 x 1,93	1,80	2,08
F	8,76	1,35 x 1,09	0,81	1,02
G	17,53	0,91 x 1,04	0,79	0,99

Die Avro RJ100 (Bild 3.5) ist die verlängerte Version der RJ85 und ist, je nach Art der Bestuhlung, für 100 bis 128 Passagiere ausgelegt. Die Länge der Avro RJ100 beträgt 30,99 m. Sie ist somit 2,39 m länger als die kleinere RJ85. Abgesehen von der Länge sind die beiden Flugzeuge weitestgehend identisch. (Jane's 2012)

Auch die Eigenschaften hinsichtlich der Flugzeugabfertigung sind bei beiden Flugzeugen gleich. Die Bemaßung bzw. Lage der Ladeluken und Türen sind in Tabelle 3.5 dargestellt.

**Bild 3.5** Seitenansicht der RJ100 (AHM 2012)**Tabelle 3.5** Bemaßung der Türen und Luken der RJ100 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	5,08	0,85 x 1,55	1,88	2,13
B	5,08	0,85 x 1,91	1,88	2,13
C	22,83	0,85 x 1,92	1,80	2,08
D	22,83	0,85 x 1,55	1,80	2,08
E	10,11	1,35 x 1,09	0,81	1,02
F	19,94	0,91 x 1,04	0,79	0,99

3.1.3 Bombardier CRJ100/CRJ200

Die Bombardier CRJ200 ist eine leicht modifizierte und effektivere CRJ100 (Bild 3.6). Die beiden Flugzeuge sind davon abgesehen nahezu identisch. Beide Flugzeuge haben 50 bis 52 Sitzplätze bei vier Sitzen pro Reihe. Die Bombardier CRJ100/CRJ200 haben eine Länge von 26,77 m und eine Spannweite von 21,21 m. Die freitragenden, nach hinten gefeilteten Tragflächen sind in Tiefdeckerkonfiguration am Rumpf angebracht. Die beiden Turbofantriebwerke sind seitlich am Rumpfheck installiert und das Seiten- bzw. Höhenleitwerk ist als T-Leitwerk ausgeführt. (Jane's 2012)

Aufgrund der Triebwerksanordnung haben die Bombardier CRJ100 bzw. CRJ200 ein kurzes Fahrwerk. Dies erlaubt das Erreichen der Ladeluken und Serviceöffnungen unabhängig von Hilfsmitteln. Die Passagiertür, die sich am vorderen Rumpf auf der linken Seite befindet, öffnet nach unten. Die Rückseite der Tür ist mit Stufen versehen und kann daher als Fluggasttreppe benutzt werden. Die CRJ100 und CRJ200 verfügen über einen Frachtraum, der hinter der Passagierkabine am Heck des Rumpfes liegt. Die Ladeluke, die sich auf der linken Rumpfseite befindet, wird zum Öffnen nach oben in den Frachtraum geschoben. In Tabelle 3.6 sind die Lage und Bemaßung der Türen und Ladeluken dargestellt.



Bild 3.6 Seitenansicht der CRJ100/CRJ200 (AHM 2012)

Tabelle 3.6 Bemaßung der Türen und Luken der CRJ100/CRJ200 (AHM 2012)

Tür	Entfernung von Bug	Türgröße	Schwellenhöhe	
			Minimum	Maximum
Nummer	m	m	m	m
A	4,71	0,91 x 1,78	1,52	1,73
B	4,85	0,61 x 1,22	1,52	1,73
C	17,61	1,09 x 0,84	1,57	1,73

3.1.4 Bombardier CRJ700/CRJ900/CRJ1000

Die Bombardier CRJ700 (Bild 3.7) ist für eine Anzahl von 70 Passagieren ausgelegt. Der Rumpf entspricht weitestgehend dem der kleineren CRJ100/CRJ 200, somit sind auch bei diesem Flugzeugtyp vier Sitze pro Reihe installiert. Die Bombardier CRJ700 ist 32,51 m lang

und hat eine Spannweite von 23,24 m. Tragflächen, Triebwerke und das Leitwerk gleichen der Anordnung bei der CRJ100/CRJ200. (Jane's 2012)

Die Eigenschaften hinsichtlich der Flugzeugabfertigung unterscheiden sich jedoch von den Bombardier CRJ100/CRJ200. Aufgrund der Länge des Rumpfes war es bei der Konstruktion der CRJ700 erforderlich, das Fahrwerk zu verlängern, um einen genügend großen Heckfreiwinkel zu erreichen. So hat sich auch der Abstand zwischen der Schwelle der Ladeluke und dem Boden auf 2,27 m vergrößert (Tabelle 3.7). Dadurch wird für die Be- und Entladung dieses Flugzeugtyps ein Förderband benötigt (Ottermann 2012). Zusätzlich zu dem Frachtraum hinter der Passagierkabine ist die CRJ700 mit einem weiteren Frachtraum unterhalb der Passagierkabine ausgestattet. Dieser Frachtraum wird hauptsächlich für Handgepäck benutzt, das nicht in den Staufächern innerhalb der Passagierkabine untergebracht werden kann. Dieser zusätzliche Frachtraum ist nicht begehbar. Er wird von der Ladeluke aus be- und entladen. Zur Erleichterung und Gewährleistung einer besseren Erreichbarkeit von Bereichen, die weiter von der Ladeluke entfernt sind, ist im Frachtraum ein Schlitten installiert, der von Hand bewegt werden kann.



Bild 3.7 Seitenansicht der CRJ700 (AHM 2012)

Tabelle 3.7 Bemaßung der Türen und Luken der CRJ700 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,22	0,91 x 1,78	1,60	n/a
B	4,52	0,61 x 1,22	1,60	n/a
C	n/a	1,07 x 0,51	n/a	n/a
D	n/a	1,09 x 0,84	2,27	n/a

Die Bombardier CRJ900 (Bild 3.8) ist eine weitere verlängerte Version auf Basis der CRJ100/200. Sie ist für bis zu 86 Passagiere konzipiert. Die Bombardier CRJ900 hat bei einer Länge von 36,37 m eine Spannweite von 24,84 m. Die Konfiguration dieses Flugzeugs ist identisch mit den kleineren Modellen CRJ100/200 und CRJ700. (Jane's 2012)

Aus Sicht der Flugzeugabfertigung entspricht die Bombardier CRJ900 weitestgehend der kleineren CRJ700. Durch den längeren Rumpf ist die Schwellenhöhe der Ladeluke noch einmal höher und beträgt somit 2,35 m. Dadurch ist auch bei diesem Flugzeug ein Förderband für die Ladevorgänge erforderlich. Die CRJ900 verfügt auch über den zusätzlichen

Frachtraum unterhalb der Passagierkabine. Dieser ist jedoch länger als bei der CRJ700 und hat zwei Ladeluken. Außerdem sind in diesem Frachtraum zwei manuell bewegbare Schlitten installiert. Tabelle 3.8 enthält Informationen über Lage und Bemaßung der Türen und Ladeluken.



Bild 3.8 Seitenansicht der CRJ900 (AHM 2012)

Tabelle 3.8 Bemaßung der Türen und Luken der CRJ900 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,22	0,91 x 1,78	1,91	n/a
B	4,52	0,61 x 1,22	1,91	n/a
C	9,55	1,07 x 0,51	1,42	n/a
D	12,40	1,07 x 0,51	1,48	n/a
E	n/a	0,61 x 1,22	0,81	n/a
F	25,64	1,09 x 0,84	2,35	n/a

Als neuestes Mitglied der Bombardier CRJ-Familie ist die CRJ1000 gleichzeitig auch das größte Flugzeug der Serie. Die CRJ1000 ist für 100 bis 104 Passagiere ausgelegt. Die Bombardier CRJ1000 ist 39,15 m lang und hat eine Spannweite von 26,17 m. Die Konfiguration entspricht davon abgesehen den kleineren Modellen der CRJ-Familie. (Jane's 2012)

3.1.5 Embraer ERJ145

Die Embraer ERJ145 (Bild 3.9) ist für eine Anzahl von 50 Passagieren ausgelegt. Sie hat eine Spannweite von 20,04 m und eine Länge von 29,87 m. Die Konfiguration dieses Flugzeugs ähnelt der Konfiguration der Bombardier CRJ. So ist auch die ERJ145 ein Tiefdecker mit freitragenden nach hinten gefeilteten Tragflächen. Die beiden Triebwerke sind ebenfalls seitlich am Rumpfheck installiert und auch das Höhenleitwerk ist als T-Leitwerk ausgeführt. (Jane's 2012)

Der Frachtraum der Embraer ERJ145 befindet sich wie bei der Bombardier CRJ hinter der Passagierkabine. Die Ladeluke liegt unterhalb des Triebwerks auf der linken Rumpfsseite. Sie

wird zum Öffnen nach oben in den Frachtraum geschoben. Die Schwellenhöhe der Ladeluke der ERJ145 erfordert grundsätzlich den Einsatz eines Förderbands. Allerdings ist der Einsatz eines solchen durch die Nähe zum Triebwerk nicht uneingeschränkt möglich. Die Passagiertür der ERJ145 wird nach unten geöffnet. Dadurch kann die Innenseite der Tür als Fluggasttreppe genutzt werden. Die Lage und Bemaßung der in Bild 3.9 dargestellten ERJ145 sind in Tabelle 3.9 enthalten.

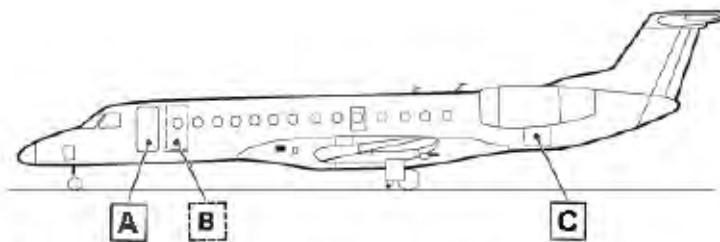


Bild 3.9 Seitenansicht der ERJ145 (AHM 2012)

Tabelle 3.9 Bemaßung der Türen und Luken der ERJ145 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,90	0,77 x 1,70	1,48	1,60
B	6,17	0,69 x 1,47	1,48	1,60
C	22,51	1,00 x 1,00	1,66	1,81

3.1.6 Embraer E170/E175/190/195

Die Embraer E-Jet-Familie umfasst vier Flugzeuge, die für 70 bis 122 Passagiere mit vier Sitzen pro Reihe ausgelegt sind. Die Embraer E-Jets haben freitragende nach hinten gefeilte Tragflächen und sind als Tiefdecker ausgelegt. Die beiden Triebwerke dieser Flugzeuge sind unter den Tragflächen installiert. Das Höhenleitwerk ist, wie auf Bild 3.10 zu erkennen, am Rumpfheck angebracht. (Jane's 2012)

Das Fahrwerk der Embraer E-Jets ist konstruktionsbedingt etwas länger als bei den zuvor vorgestellten Flugzeugen. Aufgrund des längeren Fahrwerks ist das Erreichen der Ladeluken und Serviceöffnungen nicht bei allen Flugzeugen dieser Familie ohne Hilfsmittel möglich. Die vordere Passagiertür auf der linken Rumpfseite ist optional mit einer ausklappbaren Fluggasttreppe ausgestattet. Die E-Jets verfügen über zwei Frachträume, die unter der Passagierkabine liegen. Diese werden durch den Flügelmittellkasten und den Fahrwerkschacht getrennt. Beide Frachträume sind jeweils mit einer Ladeluke ausgestattet, die manuell nach außen und oben geöffnet wird.

Die Embraer E170 (Bild 3.10) ist für 70 bis 80 Passagiere ausgelegt. Sie hat eine Länge von 29,90 m bei einer Spannweite von 26,00 m. (Jane's 2012)

Bei diesem Flugzeug können beide Ladeluken ohne Förderband be- und entladen werden. Die Größe und die Lage der Türen und Ladeluken sind in Tabelle 3.10 dargestellt.

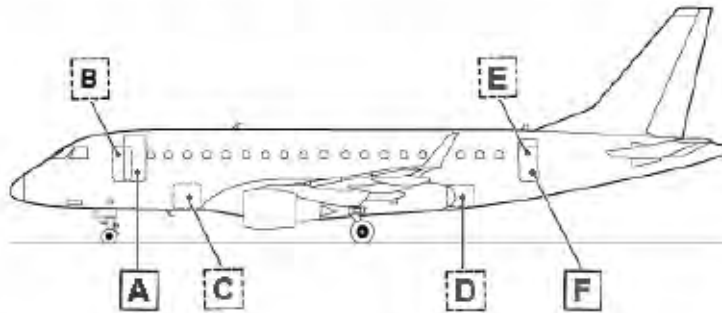


Bild 3.10 Seitenansicht der E170 (AHM 2012)

Tabelle 3.10 Bemaßung der Türen und Luken der E170 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,71	0,75 x 1,82	2,54	2,63
B	4,27	0,61 x 1,36	2,54	2,64
C	6,82	1,10 x 0,90	1,47	1,56
D	18,23	0,99 x 0,87 (0,78)	1,45	1,60
E	21,26	0,63 x 1,37	2,41	2,59
F	21,26	0,63 x 1,71	2,41	2,59

Die etwas größere Embraer E175 (Bild 3.11) kann, je nach Bestuhlung, 78 bis 88 Passagiere transportieren. Sie hat ebenfalls eine Spannweite von 26,00 m und ist 31,68 m lang. (Jane's 2012)

Auch dieses Flugzeug kann ohne Förderbänder be- und entladen werden. Die Bemaßung sowie die Lage der Türen und Ladeluken sind in Tabelle 3.11 dargestellt.

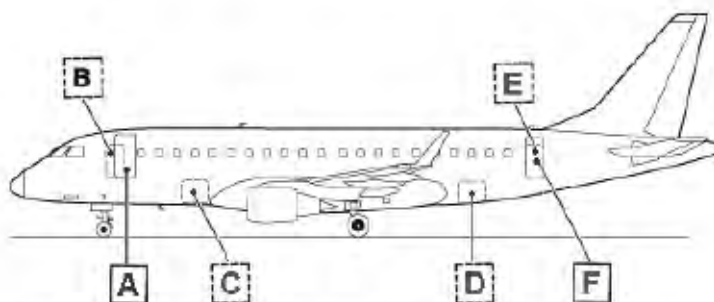


Bild 3.11 Seitenansicht der E175 (AHM 2012)

Tabelle 3.11 Bemaßung der Türen und Luken der E175 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,71	0,75 x 1,82	2,54	2,64
B	4,27	0,61 x 1,36	2,54	2,64
C	7,66	1,10 x 0,90	1,46	1,55
D	20,00	0,99 x 0,87 (0,78)	1,42	1,58
E	23,04	0,63 x 1,37	2,38	2,59
F	23,04	0,63 x 1,71	2,38	2,59

Das dritte Mitglied der Embraer E-Jet-Familie ist die E190 (Bild 3.12). Sie ist für 98 bis 114 Passagiere konzipiert. Dieses Flugzeug hat eine Spannweite von 28,72 m und eine Länge von 36,24 m. (Jane's 2012)

Zum Be- und Entladen der hinteren Ladeluke wird aufgrund der zu hohen Schwellenhöhe ein Förderband benötigt. Auch die vordere Ladeluke liegt im Grenzbereich für den Einsatz eines Förderbands. Die Bemaßung sowie die Lage der Türen und Ladeluken der in Bild 3.12 dargestellten E190 sind in Tabelle 3.11 dargestellt.

**Bild 3.12** Seitenansicht der E190 (AHM 2012)**Tabelle 3.12** Bemaßung der Türen und Luken der E190 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,71	0,75 x 1,82	2,60	2,70
B	4,27	0,61 x 1,36	2,59	2,69
C	6,82	1,10 x 0,90	1,58	1,68
D	24,57	0,99 x 0,87 (0,78)	1,93	2,11
E	27,60	0,63 x 1,37	2,95	3,16
F	27,60	0,63 x 1,71	2,95	3,16

Die Embraer E195 (Bild 3.13) ist mit einem Fassungsvermögen von 108 bis 122 Passagieren das größte Flugzeug der E-Jet-Familie. Das Flugzeug hat eine Spannweite von 28,72 m und eine Länge von 38,65 m. (Jane's 2012)

Wie bei der E190 ist auch bei diesem Flugzeug zum Be- und Entlade des hinteren Frachtraums ein Förderband erforderlich. Des Weiteren liegt die vordere Ladeluke ebenfalls im Grenzbereich für den Einsatz eines Förderbands. Tabelle 3.13 sind die Lage bzw. Bemaßung der Türen und Ladeluken zu entnehmen.



Bild 3.13 Seitenansicht der E195 (AHM 2012)

Tabelle 3.13 Bemaßung der Türen und Luken der E195 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,71	0,75 x 1,82	2,59	2,68
B	4,27	0,61 x 1,36	2,58	2,67
C	6,82	1,10 x 0,90	1,57	1,65
D	25,98	0,99 x 0,87 (0,78)	1,94	2,08
E	30,01	0,63 x 1,37	2,96	3,06
F	30,01	0,63 x 1,71	2,96	3,06

3.1.7 Antonow An-148

Die Antonow An-148 ist ein zweistrahliger Regionalflugzeug, das für 73 bis 85 Passagiere ausgelegt ist. Die Antonow An-148 sieht dem Avro RJ85/RJ100 bezüglich der Konfiguration sehr ähnlich. Das Flugzeug hat eine Spannweite von 28,91 m bei einer Länge von 29,13 m. (Jane's 2012)

Auch hinsichtlich der Flugzeugabfertigung ähneln die Antonow An-148 den Avro RJ85/RJ100. Die Frachträume der An-148 liegen unter der Passagierkabine vor und hinter dem Fahrwerksschach. Zusätzlich befindet sich noch ein Frachtraum im Heck des Flugzeugs hinter der Passagierkabine. Die Ladeluken der unter der Passagierkabine gelegenen Frachträume werden nach außen und oben geöffnet.

3.1.8 Suchoi Superjet SSJ 100

Die Suchoi Superjet 100 (SSJ100) ist in der derzeitigen einzigen Variante, der SSJ 100-95B, für 95 bis 105 Passagiere konzipiert. Angetrieben wird das Flugzeug durch zwei Turbofantriebwerke. Die Konfiguration der SSJ 100 erinnert stark an die Embraer E-Jets. Die Spannweite der SSJ 100-95B beträgt 27,80 m und die Länge 29,94 m. (Jane's 2012)

3.1.9 COMAC ARJ21

Die COMAC ARJ21 befindet sich noch in der Entwicklung und soll in zwei Versionen angeboten werden. Die ARJ21-700 ist für 78 bis 90 Passagiere und die ARJ21-900 für 98 bis 105 Passagiere ausgelegt. Beide Flugzeuge verfügen in der Kabine über fünf Sitze pro Reihe. Die ARJ21 sind Tiefdecker mit freitragenden, nach hinten gefeilten Tragflächen. Die beiden Turbofantriebwerke sind am Rumpfheck des Flugzeugs angeordnet. Das Höhenleitwerk der ARJ21 ist als T-Leitwerk ausgelegt. Beide Versionen des Flugzeugs haben eine Spannweite von 27,29 m. Die kleinere ARJ21-700 hat eine Länge von 33,47 m, die ARJ21-900 ist 36,36 m lang. (Jane's 2012)

Die Frachträume der COMAC ARJ 21 befinden sich unter der Passagierkabine vor und hinter dem Flügelmittelkasten bzw. Fahrwerksschacht.

3.1.10 Mitsubishi MRJ70/MRJ90

Die Mitsubishi MRJ befinden sich derzeit noch in der Entwicklung. MRJ70 soll ca. 78 Passagiere, die längere MRJ90 ca. 92 Passagiere transportieren. Die Kabine ist für vier Sitze pro Reihe ausgelegt. Beide Flugzeuge haben freitragende, nach hinten gefeilte Tragflächen und sind als Tiefdecker ausgelegt. Die Triebwerke sind unter den Tragflächen installiert und das Höhenleitwerk ist, wie bei den Embraer E-Jets, am Rumpfheck angebracht. Die MRJ70 hat eine Länge von 33,40 m, die MRJ90 35,80 m. Beide Flugzeuge haben eine Spannweite von 29,20 m. (Jane's 2012)

Der Frachtraum der Mitsubishi MRJ liegt zwischen der Passagierkabine und dem hinteren Druckschott (Jane's 2012).

3.2 Regionalflugzeuge mit Turboprop

Bei den Regionalflugzeugen mit Turbopropantrieb sind derzeit die Bombardier Dash 8 Q400 und die ATR42/ATR72 des europäischen Herstellers ATR die erfolgreichsten Modelle. Als Beispiele für Flugzeuge dieser Art, die nicht mehr produziert, jedoch noch eingesetzt werden, sind die Fokker F50 oder die Saab 2000 zu nennen. Flugzeuge die im mitteleuropäischen Raum nur selten bis gar nicht anzutreffen sind, sind beispielsweise die Xiang MA60 oder die An-140.

3.2.1 Fokker F50

Die Fokker F50 (Bild 3.14) ist für 46 bis 58 Passagiere mit vier Sitzen pro Reihe konzipiert. Die F50 ist als Hochdecker mit freitragenden Tragflächen ausgelegt. Die Gesamtlänge des Flugzeugs beträgt 25,25 m und die Spannweite 29,00 m. Die beiden Turboproptriebwerke sind unter den Tragflächen installiert. Das Hauptfahrwerk ist an den Triebwerksgondeln befestigt und lässt sich in diese einziehen. Das Höhenleitwerk der F50 ist am Heck des Rumpfes installiert. (Jane's 2012)

Die Fokker F50 verfügt über zwei Frachträume. Der eine befindet sich im vorderen Rumpfbereich auf der rechten Seite gegenüber der Passagiertür. Ein zweiter Frachtraum befindet sich im Heckbereich des Rumpfes zwischen Passagierkabine und hinterer Druckkalotte. Auch dieser Frachtraum wird über die linke Rumpfseite be- und entladen. Die Ladeluken der beiden Frachträume öffnen nach außen zur Seite. Die hintere Ladeluke wird auch als Servicetür für die Versorgung der Kabine, z.B. durch das Cateringfahrzeug, genutzt. Die Passagiertür der F50 wird nach unten geöffnet und dient gleichzeitig als Fluggasttreppe. Alle Türen und Serviceöffnungen sind ohne Hilfsmittel vom Boden zu erreichen (Tabelle 3.14).

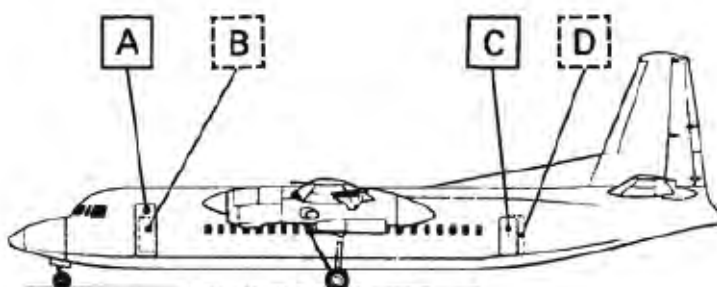


Bild 3.14 Seitenansicht der F50 (AHM 2012)

Tabelle 3.14 Bemaßung der Türen und Luken der F50 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,70	0,76 x 1,78	0,96	1,22
B	4,77	0,61 x 1,27	1,07	1,33
C	17,61	0,61 x 1,27	1,05	1,56
D	17,74	0,86 x 1,27	1,05	1,56

3.2.2 British Aerospace ATP

Der Name BAe ATP steht für (Advanced Turboprop, fortschrittlicher Turboprop). Die Kabine des ATP (Bild 3.15) ist mit 60 bis 72 Sitzplätzen bei vier Sitzen pro Reihe ausgestattet. Die ATP hat freitragende Tragflächen mit einer Spannweite von 30,63 m, die in Tiefdeckerkonfiguration am Rumpf angebracht sind. Das Höhen- und Seitenleitwerk ist, ähnlich dem der Fokker F50, konventionell ausgelegt. Die beiden Triebwerksgondeln der ATP sind an den Tragflächen angebracht, wobei sich die Nabe der Propeller oberhalb der Tragflächen befindet. Die ATP hat eine Gesamtlänge von 26,00 m. (Jane's 2012)

Die BAe ATP verfügt über zwei Frachträume, die wie bei der Fokker F50 angeordnet sind. Es befindet sich daher ein Frachtraum im vorderen Kabinenbereich auf der rechten Seite und ein weiterer im hinteren Rumpfbereich zwischen Passagierkabine und hinterem Druckschott. Aufgrund der Schwellenhöhe der Ladeluken, welche Tabelle 3.15 zu entnehmen sind, müssen die Frachträume mit Förderbändern be- und entladen werden.

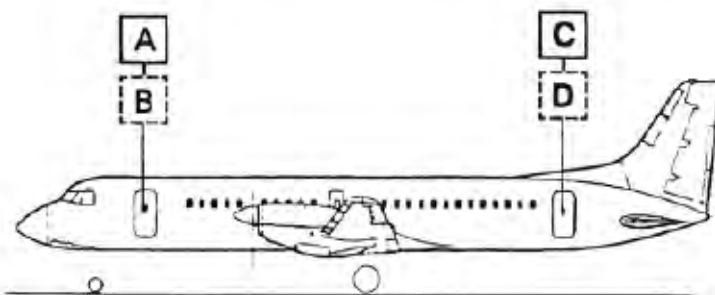
**Bild 3.15** Seitenansicht der ATP (AHM 2012)

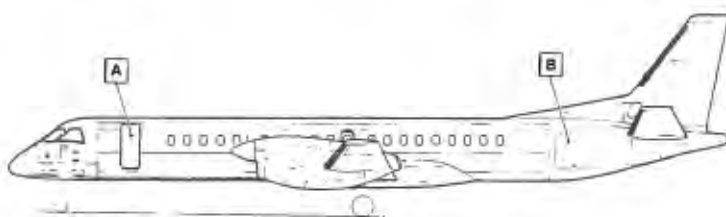
Tabelle 3.15 Bemaßung der Türen und Luken der ATP (AHM 2012)

Tür	Entfernung von Bug	Türgröße	Schwellenhöhe	
			Minimum	Maximum
Nummer	m	m	m	m
A	4,73	0,71 x 1,72	1,93	n/a
B	4,73	0,83 x 1,09	1,93	n/a
C	21,33	0,71 x 1,57	1,77	n/a
D	21,33	0,60 x 1,24	1,77	n/a

3.2.3 Saab S2000

Die Saab S2000 (Bild 3.16) ist mit einer Kabine ausgestattet, die bei drei Sitzen in der Reihe 50 bis 58 Passagiere transportieren kann. Die S2000 ähnelt in Bezug auf ihre Konfiguration sehr der BAe ATP. Sie hat eine Spannweite von 24,76 m und eine Länge von 27,28 m. (Jane's 2012)

Der Frachtraum der Saab S2000 befindet sich im hinteren Rumpfbereich zwischen Passagierkabine und hinterem Druckschott. Die Ladeluke befindet sich auf der linken Rumpfseite und wird zum Öffnen nach oben in den Frachtraum geschoben. Aufgrund der Schwellenhöhe der Ladeluke (Tabelle 3.16) ist zum Be- und Entladen ein Förderband erforderlich. Die Passagiertür, die im vorderen Rumpfbereich auf der linken Seite liegt, wird zum Öffnen nach außen zur Seite geschoben. Die S2000 ist mit einer ausklappbaren Fluggasttreppe ausgestattet, die im Türbereich verstaut werden kann.

**Bild 3.16** Seitenansicht der S2000 (AHM 2012)**Tabelle 3.16** Bemaßung der Türen und Luken der S2000 (AHM 2012)

Tür	Entfernung von Bug	Türgröße	Schwellenhöhe	
			Minimum	Maximum
Nummer	m	m	m	m
A	4,17	0,76 x 1,96	1,59	1,79
B	20,42	1,32 x 1,31	1,85	2,07

3.2.4 ATR42/72

Der Regionalflugzeughersteller ATR produziert mit der ATR42 (Bild 3.17) ein Turbopropregionalflugzeug für 42 bis 50 Passagiere und mit einer Bestuhlung von vier Sitzen pro Reihe. Die ATR42 hat freitragende Tragflächen, die in Hochdeckerkonfiguration auf dem Rumpf installiert sind. Die beiden Triebwerke sind, wie bei der Fokker F50, unter den Tragflächen angebracht. Das Hauptfahrwerk ist hingegen als Rumpffahrwerk ausgelegt. Die ATR42 hat eine Spannweite von 24,57 m und ist 22,67 m lang. Des Weiteren hat das Flugzeug ein T-Leitwerk. (Jane's 2012)

Durch die Konfiguration der ATR42 ist es möglich, alle Türen und Serviceöffnungen ohne Hilfsmittel zu erreichen (Tabelle 3.17). Die Passagiertür dieses Flugzeugs, die sich hinten auf der rechten Rumpfseite befindet, wird nach unten geöffnet und als Fluggasttreppe verwendet. Die ATR42 hat zwei Frachträume. Ein Frachtraum befindet sich im vorderen Bereich des Rumpfes zwischen Passagierkabine und Cockpit. Dieser Frachtraum verfügt über eine große, elektrisch nach außen und oben öffnende Ladeluke. Der Frachtraum ist in zwei durch Netze definierte Bereiche aufgeteilt, die in der Mitte einen Durchgang zwischen Kabine und Cockpit ermöglichen. Ein weiterer Frachtraum befindet sich im Heckbereich des Rumpfes zwischen Passagierkabine und hinterem Druckschott. Dieser Frachtraum wird, ähnlich wie bei der Fokker F50, über die Servicetür be- und entladen, welche sich gegenüber der Passagiertür befindet.

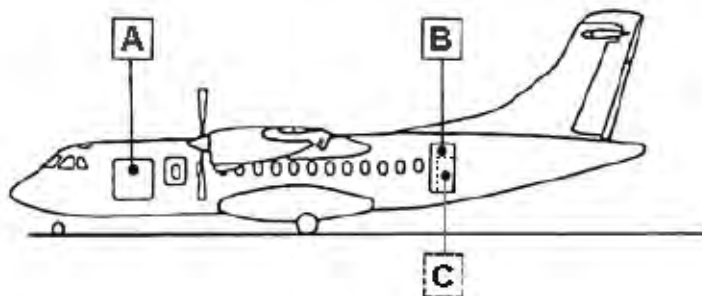


Bild 3.17 Seitenansicht der ATR42 (AHM 2012)

Tabelle 3.17 Bemaßung der Türen und Luken der ATR42 (AHM 2012)

Tür	Entfernung von Bug	Türgröße	Schwellenhöhe	
			Minimum	Maximum
Nummer	m	m	m	m
A	4,44	1,53 x 1,27	1,10	1,17
B	15,55	0,75 x 1,75	1,33	1,46
C	15,69	0,61 x 1,22	1,33	1,46

Ein weiteres Flugzeug des Herstellers ATR ist die ATR72 (Bild 3.18). Sie ist für 64 bis 74 Passagiere ausgelegt. Die ATR72 hat bei einer Spannweite von 27,05 m eine Länge von

27,17 m. Die Konfiguration des Flugzeugs ist davon abgesehen i mit der der kleineren ATR42 identisch. (Jane's 2012)

Die Anordnung und Art der Frachträume sowie die anderen Aspekte der Flugzeugabfertigung sind bei der ATR72 und der ATR42 identisch. Die Lage und die Bemaßung der Ladeluken und Türen sind Tabelle 3.18 zu entnehmen.

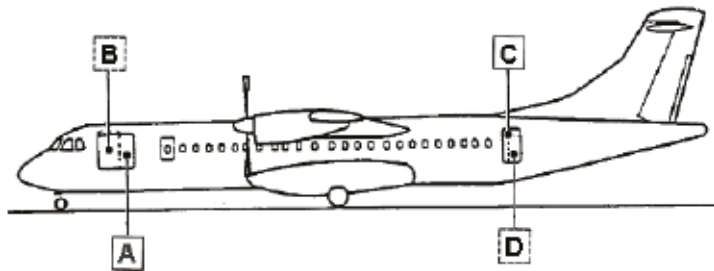


Bild 3.18 Seitenansicht der ATR72 (AHM 2012)

Tabelle 3.18 Bemaßung der Türen und Luken der ATR72 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	3,60	1,38 x 1,57	1,10	1,22
B	3,60	0,92 x 1,75	1,10	1,21
C	19,54	0,73 x 1,75	1,34	1,49
D	19,61	0,61 x 1,22	1,34	1,49

3.2.5 Bombardier Dash 8 Q300/Q400

Der Rumpf der Bombardier Dash 8 Q-Serie ist für vier Sitze pro Reihe ausgelegt. Die Q300 kann 50 bis 56 Passagiere transportieren. Die größere Q400 (Bild 3.19) ist für 70 bis 78 Passagiere ausgelegt. Die freitragenden Tragflächen der Q-Serie sind in Schulterdeckerkonfiguration an den Rumpf montiert. Unter den Tragflächen sind die zwei Turboproptriebwerke angebracht. Das Hauptfahrwerk ist, ähnlich wie bei der Fokker F50, an den Triebwerksgondeln installiert und lässt sich in diese einziehen. Des Weiteren ist das Höhen- und Seitenleitwerk dieses Flugzeugs als T-Leitwerk ausgelegt. Die Q300 hat eine Spannweite von 27,43 m und eine Länge von 25,68 m. Die Q400 hat bei einer Spannweite von 28,42 m eine Länge von 32,84 m. (Jane's 2012)

Der Rumpf der Bombardier Q-Serie liegt aufgrund seiner Konfiguration verhältnismäßig tief über dem Boden. Dadurch sind grundsätzlich alle Türen und Serviceöffnungen ohne Hilfsmittel erreichbar. Die Passagiertür, die sich im vorderen Rumpfbereich auf der linken

Seite befindet, wird bei den Flugzeugen der Bombardier Dash 8 Q-Serie nach unten geöffnet. Die Rückseite der Tür wird somit als Passagiertreppe für das Ein- und Aussteigen genutzt. Die Q300 verfügt über einen Frachtraum, der hinter der Passagierkabine liegt. Die Ladeluke dieses Frachtraums, die sich auf der linken Rumpfseite befindet, wird nach oben in den Frachtraum geschoben. Die größere Q400 verfügt über zwei Frachträume. Neben dem Hauptfrachtraum, der ebenfalls hinter der Passagierkabine liegt, ist ein weiterer Frachtraum im vorderen Rumpfbereich gegenüber der Passagiertür vorhanden. Die Ladeluke dieses verhältnismäßig kleinen Frachtraums wird nach außen zur Seite geöffnet. Die Ladeluke des Hauptfrachtraums wird, anders als bei der Q300, nach außen und oben geöffnet und über eine Haltestange arretiert. Die Bemaßung und die Lage der Türen und Ladeluken der Q400 sind in Tabelle 3.19 dargestellt.

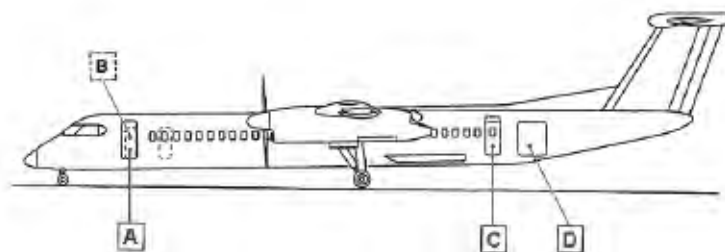


Bild 3.19 Seitenansicht der Q400 (AHM 2012)

Tabelle 3.19 Bemaßung der Türen und Luken der Q400 (AHM 2012)

Tür Nummer	Entfernung von Bug m	Türgröße m	Schwellenhöhe	
			Minimum m	Maximum m
A	4,57	0,76 x 1,65	1,22	1,39
B	4,63	0,71 x 1,45	1,26	1,42
C	21,53	0,71 x 1,72	1,47	1,64
D	n/a	1,27 x 1,43	1,45	1,63

3.2.6 Iljuschin Il-114

Die Iljuschin Il-114 kann 64 bis 75 Passagiere bei vier Sitzen pro Reihe transportieren und wird von zwei Turboproptriebwerken angetrieben. Die Konfiguration der Iljuschin Il-114 hat Ähnlichkeit mit der Konfiguration der Saab S2000. Sie hat bei einer Länge von 26,88 m eine Spannweite von 30,00 m. (Jane's 2012)

3.2.7 Antonow An-140

Die Antonow An-140 ist für 48 bis 50 Passagiere konzipiert und verfügt über vier Sitze pro Reihe. Sie hat freitragende Tragflächen in Schulterdeckerkonfiguration. Die Turboproptriebwerke sind unter den Tragflächen installiert. Das Höhenleitwerk ist, wie bei der Saab S2000, am Rumpfheck angebracht. Außerdem hat die An-140 ein Rumpffahrwerk. Die Spannweite des Flugzeugs beträgt 24,51 m und die Länge 22,61 m. (Jane's 2012)

Der Rumpf der Antonow An-140 liegt aufgrund seiner Konfiguration verhältnismäßig tief über dem Boden. Dadurch sind alle Türen und Serviceöffnungen problemlos ohne Hilfsmittel zu erreichen. Die Passagiertür befindet sich im hinteren Teil der Kabine auf der linken Seite. Sie wird nach unten geöffnet und kann somit als Fluggasttreppe benutzt werden. Die An-140 hat zwei Frachträume. Ein Frachtraum befindet sich unter der Passagierkabine vor dem Hauptfahrwerksschacht. Die Ladeluke zu diesem Frachtraum ist auf der linken Rumpfseite und wird nach innen und oben geöffnet. Der Frachtraum ist aufgrund seiner geringen Größe nur bedingt begehbar, kann aber von der Ladeluke aus be- und entladen werden. Ein weiterer Frachtraum befindet sich im hinteren Rumpfbereich vor der Druckkalotte. Dieser Frachtraum wird über die Servicetür be- und entladen, die sich gegenüber der Passagiertür befindet.

3.2.8 Xian MA60

Die Xian MA60 wird von zwei Turbopropmotoren angetrieben und kann in ihrer Kabine bei vier Sitzen nebeneinander 48 bis 60 Passagiere transportieren. Die Konfiguration der Xian MA60 hat große Ähnlichkeit mit der Konfiguration der Fokker F50. Dies trifft sowohl auf die Tragflächen, das Leitwerk, das Fahrwerk und die Anordnung der Triebwerke zu. Sie hat eine Spannweite von 29,20 m und eine Länge von 24,71 m. (Jane's 2012)

Die Xiang MA60 verfügt über zwei Frachträume, die wie bei der ATR42 bzw. ATR72 vor und hinter der Passagierkabine liegen.

3.3 Übersicht über die Parameter der Regionalflugzeuge

Um eine Übersicht über die unterschiedlichen Parameter der verglichenen Regionalflugzeuge zu bekommen, werden diese in tabellarischer Form zusammengefasst. In Tabelle 3.20 wird daher die Gesamtlänge, die Spannweite der Tragflächen sowie die Spurweite des Hauptfahrwerks der unterschiedlichen Flugzeuge angegeben.

Tabelle 3.20 Äußere Parameter der Vergleichsflugzeuge

Flugzeugtyp	Länge	Spannweite	Spurweite
	m	m	m
F70	30,90	28,08	5,04
F100	35,53	28,08	5,04
RJ85	28,55	26,34	4,72
RJ100	30,99	26,34	4,72
CRJ100/200	26,77	21,21	3,18
CRJ700	32,51	23,24	4,11
CRJ900	36,37	24,84	4,11
CRJ1000	39,15	26,17	4,11
ERJ145	29,87	20,04	4,10
E170	29,90	26,00	5,20
E175	31,68	26,00	5,20
E190	36,24	28,72	5,94
E195	38,65	28,72	5,94
An-148	29,13	28,91	4,58
SSJ 100	29,94	27,80	5,74
ARJ21-700	33,47	27,29	4,68
ARJ21-900	36,36	27,29	4,68
MRJ70	33,40	29,20	5,30
MRJ90	35,80	29,20	5,30
F50	25,25	29,00	7,20
ATP	26,00	30,63	n/a
S2000	27,28	24,76	8,23
ATR42	22,67	24,57	4,10
ATR72	27,17	27,05	4,10
Q300	25,68	27,43	7,87
Q400	32,84	28,42	8,79
Il-114	26,88	30,00	8,40
An-140	22,61	24,51	3,18
MA60	24,71	29,20	7,90

Tabelle 3.21 gibt Auskunft über die Anzahl sowie die Anordnung der Sitzplätze. Außerdem sind der Tabelle noch unterschiedliche Werte bezüglich des Frachtraumvolumens zu entnehmen.

Tabelle 3.21 Parameter der Nutzlast der Vergleichsflugzeuge

Flugzeugtyp	Passagiere	max. Sitze pro Reihe	Frachtraumvolumen			
			vorne	hinten	gesamt	min. pro Pax
			m³	m³	m³	m³
F70	79-80	5	8,20	4,60	12,80	0,160
F100	97-122	5	9,50	7,20	16,70	0,137
RJ85	85-112	6	n/a	n/a	18,20	0,163
RJ100	100-128	6	n/a	n/a	23,00	0,180
CRJ100/200	50-52	4	/	6,48	6,48	0,130
CRJ700	70	4	2,20	7,20	9,40	0,134
CRJ900	75-90	4	4,00	8,30	12,30	0,138
CRJ1000	100-104	4	n/a	n/a	n/a	n/a
ERJ145	50	3	/	9,20	9,20	0,184
E170	70-80	4	8,70	5,80	14,50	0,181
E175	78-88	4	10,10	7,20	17,30	0,197
E190	98-114	4	12,50	10,10	22,60	0,198
E195	108-122	4	13,80	12,70	26,50	0,217
An-148	73-85	5	8,55	4,35	12,90	0,152
SSJ 100	95-105	5	9,99	13,15	23,14	0,220
ARJ21-700	78-90	5	14,64	5,50	20,10	0,192
ARJ21-900	98-105	5	n/a	n/a	n/a	n/a
MRJ70	78	4	/	18,24	18,24	0,234
MRJ90	92	4	/	18,24	18,24	0,198
F50	46-58	4	0,82	7,40	8,22	0,142
ATP	60-72	4	3,62	5,10	8,72	0,121
S2000	50-58	3	/	8,40	8,40	0,145
ATR42	42-50	4	3,60-6,00	4,80	8,40-10,80	0,168
ATR72	64-74	4	4,60	4,80	9,40	0,127
Q300	50-56	4	/	7,90-9,10	7,90-9,10	0,141
Q400	70-78	4	2,58	11,60	14,18	0,182
Il-114	64-75	4	n/a	n/a	n/a	n/a
An-140	48-52	4	3,00	6,10	9,10	0,175
MA60	48-60	4	5,00	4,50	9,50	0,158

4 Konzeptstudie

In den folgenden Unterkapiteln dieses Abschnitts wird die Konzeptstudie für eine Regionalflugzeugfamilie durchgeführt. Die einzelnen Untersuchungen bauen dabei aufeinander auf.

4.1 Einfluss der Sitzanordnung

Die Anordnung der Sitze hat einen großen Einfluss auf die Abfertigung der Flugzeuge. Sie bestimmt die Länge und den Rumpfdurchmesser des Flugzeugs maßgeblich mit. Durch die Anordnung der Sitze wird daher auch die Lage und Art des Frachtraums beeinflusst.

Die in dieser Arbeit untersuchte Regionalflugzeugfamilie soll wie bereits beschrieben für 70 bis 110 Passagiere ausgelegt werden. Flugzeuge in dieser Größenordnung haben nur einen Gang in der Passagierkabine. Somit ergeben sich nach (Scholz 1999) mit der Formel

$$n_{SA} = 0,45 \cdot \sqrt{n_{Pass}} \quad (4.1)$$

für die vorgegeben Passagierzahlen verschiedene Optima bezüglich der Anzahl der Passagiere pro Sitzreihe. Für einige ausgewählte Passagieranzahlen werden in Tabelle 4.1 die optimalen Werte angegeben.

Tabelle 4.1 Optimale Anzahl der Sitze pro Reihe

Passagiere	Sitze pro Reihe
70	3,765
80	4,025
90	4,269
100	4,500
110	4,720

Tabelle 4.1 zeigt, dass für 70 bis 110 Passagiere entweder vier Sitze pro Reihe (Four-Abreast Seating) oder fünf Sitze pro Reihe (Five-Abreast Seating) gewählt werden sollten. In Bild 4.1 wird die Anzahl der Sitzplätze in Abhängigkeit der Sitze pro Reihe der in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge dargestellt. Das größte Flugzeug mit vier Sitzen pro Reihe ist die Embraer E195, die maximal 122 Passagiere transportieren kann. Flugzeuge mit fünf Sitzen pro Reihe haben eine Passagierkapazität von 73 Sitzplätzen bei der Antonow An-148 bis 122 Sitzplätze bei der Fokker F100. Bei der Avro RJ85 und RJ100 besteht die Möglichkeit, die Bestuhlung der Economy-Class in Five-Abreast oder Six-Abreast Seatings vorzunehmen. Damit bilden sie aber die Ausnahme bei den untersuchten Flugzeugen.

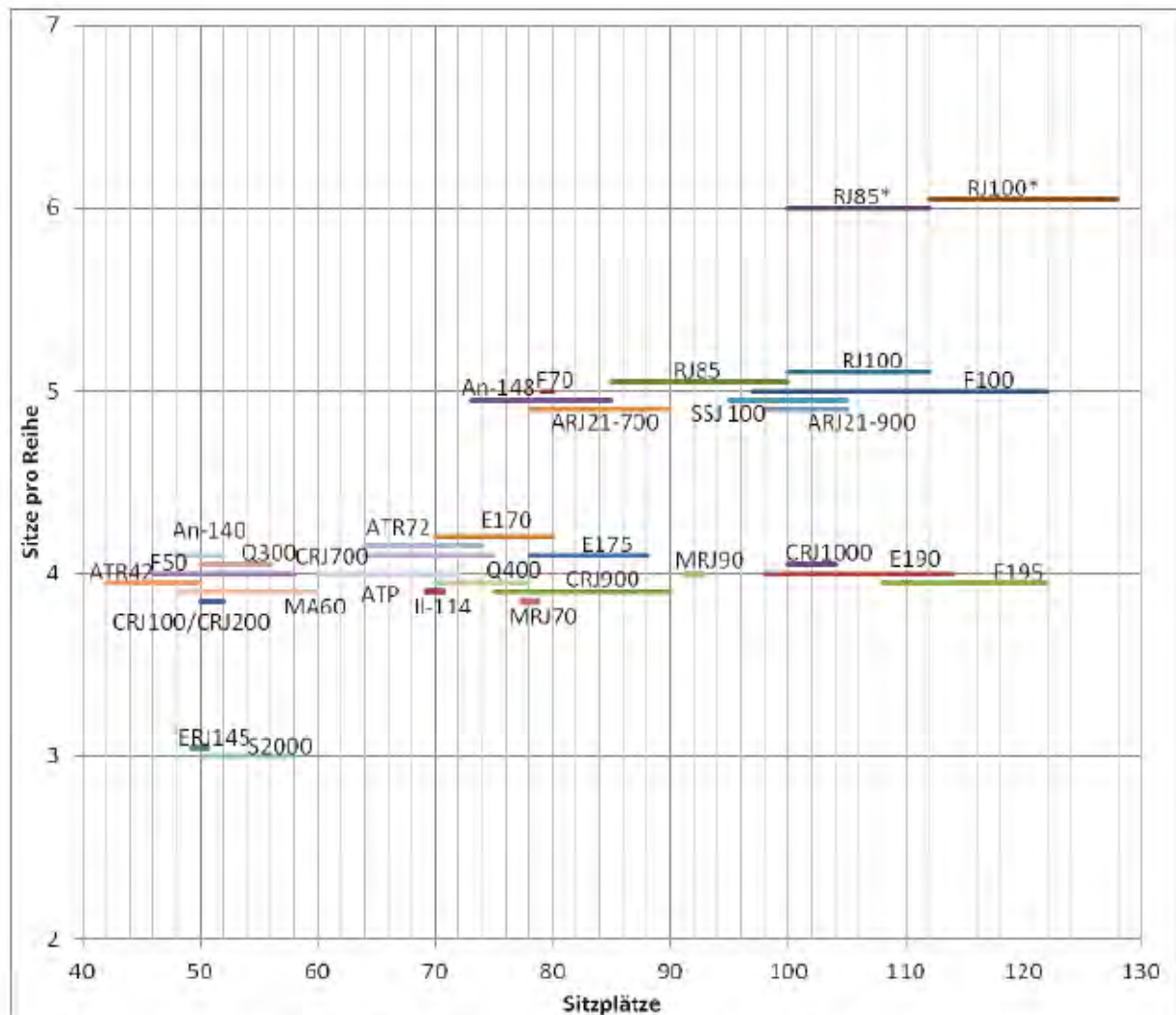


Bild 4.1 Art der Bestuhlung und Anzahl der Sitzplätze von Regionalflugzeugen

In dieser Arbeit wird eine Flugzeugfamilie mit zwei bis drei Mitgliedern untersucht. Im Flugzeugbau ist es nicht üblich, eine Flugzeugfamilie mit verschiedenen Rumpfquerschnitten zu bauen. Dies hat vor allem fertigungstechnische Gründe. Bei verschiedenen Rumpflängen ist es weitaus einfacher, den Rumpf durch Einsetzen bzw. Herausnehmen von Rumpfsegmenten zu verlängern (Stretch) bzw. zu verkürzen (Shrink). Daher sollen auch die hier untersuchten Mitglieder der Regionalflugzeugfamilie einen einheitlichen Rumpfquerschnitt haben.

4.1.1 Einfluss der Sitzanordnung auf die Gestaltung der Kabine

Die Wahl einer Bestuhlung mit vier Sitzen pro Reihe in der Passagierkabine hat eine Verlängerung des gesamten Flugzeugs zur Folge. Dies ist hauptsächlich dem Umstand geschuldet, dass mehr Sitzreihen benötigt werden. Außerdem steht aufgrund des geringeren

Kabinenquerschnitts weniger Platz für die Galleys und die Lavatorys zur Verfügung. Dieser Platz muss ebenfalls durch die Länge des Rumpfes kompensiert werden. Ein weiteres Problem ergibt sich aus den Anforderungen für die Evakuierung. Der maximale Abstand zwischen zwei Notausgängen darf nach den Regularien der FAA 18,29 m (60 ft) nicht überschreiten (FAA 2012a). Geht man von einer engen Bestuhlung mit einem Sitzabstand von 0,74 m (29 in) aus, so wird dieser Abstand allerdings bereits bei einer Anzahl von 25 Sitzreihen überschritten. Dadurch sind zusätzliche Notausgänge in der Passagierkabine erforderlich (siehe z.B. Embraer E190 bzw. E195). An den zusätzlichen Notausgängen muss der Sitzabstand je nach Art des Notausgangs erhöht werden, was eine zusätzliche Verlängerung des Flugzeugrumpfes bedingt.

Das Flugzeug wird kürzer, wenn man alternativ eine Bestuhlung mit fünf Sitzen pro Reihe wählt. Es werden weniger Sitzreihen benötigt, wodurch im Querschnitt mehr Platz für Galleys und Lavatorys zur Verfügung steht. Außerdem ist aufgrund des geringeren Abstandes der Passagiertüren ein Verzicht auf den Einbau weiterer Notausgänge möglich.

Allerdings ist bei fünf Sitzen pro Reihe eine unsymmetrische Kabine nötig. Bei dieser Kabinenform sind auf der einen Seite des Ganges drei und auf der anderen Seite lediglich zwei Sitzplätze. Der Gang selbst kann aufgrund dessen nicht mehr in der Kabinenmitte platziert werden. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Gestaltung der Handgepäckfächer (Overhead Stowage Compartment). Möchte man in der Kabine zudem noch Business Class Sitze anbieten, können sich weitere Probleme ergeben, da diese Plätze bei Flugzeugen der dieser Arbeit zugrunde liegenden Größenordnung häufig mit vier Sitzen pro Reihe ausgestattet werden. Dies führt zwangsläufig zu einer Verschiebung des Ganges zur Mitte hin, wodurch wiederum eine Anpassung der Overhead Stowage Compartments vorgenommen werden muss.

4.1.2 Einfluss der Sitzanordnung auf die Flugzeugabfertigung

Aus Sicht der Flugzeugabfertigung besteht ein Konflikt, der die Rumpflänge bzw. den Rumpfdurchmesser des Flugzeugs betrifft. Dieser wird im Folgenden näher erläutert.

In Bezug auf die Positionierung des Abfertigungsequipments sind längere Flugzeuge ggü. Kürzeren zu bevorzugen, da sie mehr Platz bieten und die Abstände zwischen den Servicetüren, Ladeluken und den Tragflächen bzw. Triebwerken größer gewählt werden können. So kann einem Konflikt zwischen den einzelnen Prozessen der Flugzeugabfertigung aufgrund von Platzproblemen vorgebeugt werden.

Kürzere Flugzeuge sind jedoch von Vorteil, wenn der Frachtraum unter der Passagierkabine liegt. Durch die geringere Länge des Frachtraums wird eine Verringerung des maximalen Abstands zwischen der Ladeluke und dem davon entferntesten Bereich des Frachtraums

erreicht. Dadurch wird nicht nur effektiv Ladepersonal eingespart, sondern auch der Vorgang der Be- und Entladung beschleunigt (Ottermann 2012). Dies gilt ebenso, wenn sich der Frachtraum vor bzw. hinter der Passagierkabine befindet.

Des Weiteren hat auch ein größerer Rumpfquerschnitt einen positiven Einfluss auf die Be- und Entladung. So lässt sich bei einem größeren Rumpfquerschnitt, wie er bei fünf Sitzen pro Reihe erforderlich ist, ein Frachtraum unter der Passagierkabine einfacher realisieren. Dieser kann bei einem strukturoptimierten, kreisähnlichen Rumpfquerschnitt eine größere Höhe haben als bei einem kleineren Rumpf. Dies ist für eine ergonomischere und schnellere Be- und Entladung von Flugzeugen erforderlich.

Viele Flugzeuge mit vier Sitzen pro Reihe verfügen über einen Frachtraum vor bzw. hinter der Passagierkabine (siehe Kapitel 3). Der Rumpfquerschnitt eignet sich demnach gut für diese Variante der Frachträume. Im Gegensatz dazu hat bei den im Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeugen mit fünf Sitzen pro Reihe lediglich die Antonow An-148 einen kleinen zusätzlichen Frachtraum hinter der Passagierkabine. Der Rumpfquerschnitt ist bei vielen Flugzeugen zu groß für diese Art der Frachträume und eignet sich daher nur bedingt für diese Variante.

Für das Ein- und Aussteigen der Passagiere (Boarding/Deplaning) gilt, dass die Kabinenlänge im Vergleich zu der Anzahl der Sitze pro Reihe einen größeren Einfluss auf die Dauer der beiden Vorgänge hat (Dengler 2012). Somit ist auch für das Boarding/Deplaning eine kürzere Passagierkabine und somit ein Flugzeug mit fünf Sitzen pro Reihe zu bevorzugen.

Ein weiterer Einfluss der Rumpflänge und des Rumpfdurchmessers auf andere Bereiche der Flugzeugabfertigung, wie z.B. Catering, Tankvorgang, Frischwasser und Abwasserservice, ist bis auf die erwähnten Platzprobleme bei zu kurzen Flugzeugen nicht gegeben.

In Tabelle 4.2 werden die Vor- und Nachteile für die Flugzeugabfertigung der beiden aufgezeigten Möglichkeiten dargestellt.

Tabelle 4.2 Vor- und Nachteile der Sitzplatzanordnung

	4-abreast	5-abreast
Vorteile	Mehr Platz für Abfertigungsequipment Besser geeignet für Frachträume im Hauptdeck	Besser geeignet für Frachträume im Unterdeck Kürzere Frachträume im Unterdeck schnelleres boarding/deplaning
Nachteile	Lange Frachträume im Unterdeck Längere boarding/deplaning Dauer	Weniger Platz für Abfertigungsequipment ungeeignet für Frachträume im

4.1.3 Auswahlmöglichkeiten der Varianten

Bei der hier untersuchten Regionalflugzeugfamilie soll die geforderte Anzahl von 70 bis 110 Sitzplätzen entweder über zwei oder über drei Flugzeuge abgedeckt werden. In Bild 4.2 werden die dafür sinnvollen Varianten dargestellt.

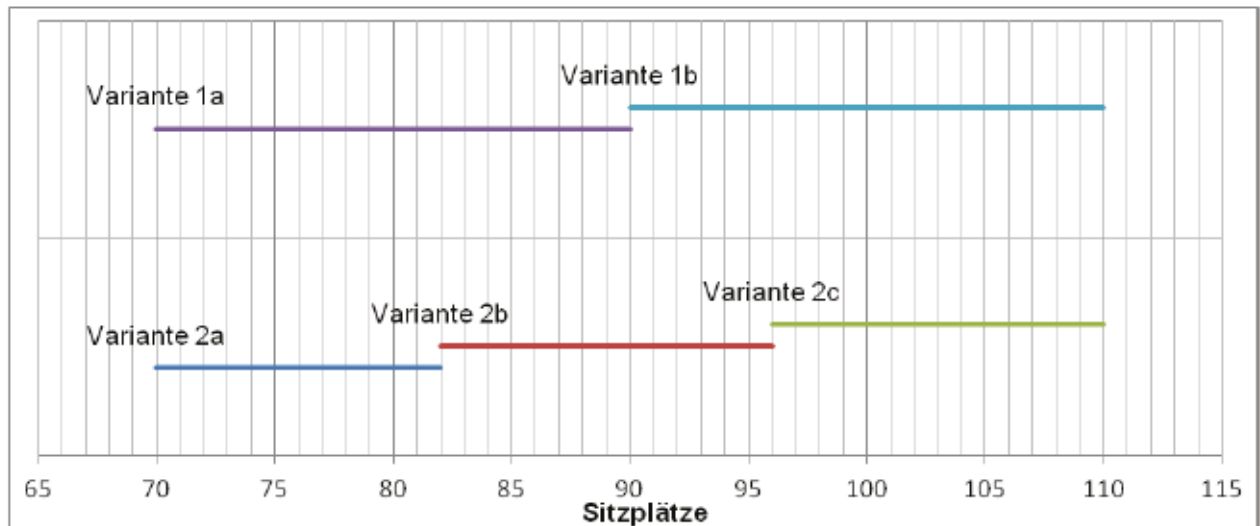


Bild 4.2 Abdeckung der geforderten Sitzplatzanzahl über zwei oder drei Varianten

Die Entscheidung für eine Flugzeugfamilie mit zwei Mitgliedern (Variante 1) hat den Vorteil geringerer Kosten in der Konstruktion und der Fertigung, da neben der Basisversion lediglich ein Stretch oder Shrink konstruiert bzw. gefertigt werden muss. Des Weiteren bietet diese Variante den Luftfahrtunternehmen mehr Flexibilität bei der Gestaltung ihrer Kabinen.

Bei einer Flugzeugfamilie mit drei Mitgliedern (Variante 2) fallen die Kosten für Konstruktion und Produktion aus den oben genannten Gründen etwas höher aus. Dafür werden den Luftverkehrsunternehmen allerdings Flugzeuge angeboten, die für ihre jeweiligen Passagieranzahlen besser optimiert bzw. nicht überdimensioniert sind.

Mit Hilfe des Programms PreSTo-Cabin können Grundrisse der Kabine (Layouts) erzeugt werden. Folgende Abbildungen (Bild 4.3, Bild 4.4, Bild 4.5 und Bild 4.6) zeigen mögliche Kabinenlayouts, die in Anlehnung an die Varianten in Bild 4.2 aufgeteilt sind. Dabei wurde für die maximale Bestuhlung der einzelnen Varianten ein Sitzabstand von 0,74 m (29 in) in einer reinen Economy-Class Bestuhlung gewählt. Dies ist ein Sitzabstand, der zwar relativ eng ist, aber dennoch genügend Komfort für die Passagiere gewährleistet. Sollen in der jeweiligen Variante weniger Sitzplätze installiert werden, kann der Sitzabstand größer gewählt und eine Mehrklassen-Bestuhlung eingeführt werden. Dadurch lassen sich die verschiedenen Spannen von Sitzplätzen, die in Bild 4.2 dargestellt und für diese Flugzeugfamilie gefordert sind, realisieren. Die Lavatorys und die Galley wurden gemäß den Anforderungen aus Kapitel 2 gestaltet. Dementsprechend befindet sich eine geteilte Galley im vorderen Kabinenbereich zwischen Cockpit und Passagierkabine. Die beiden Lavatorys liegen

im Heckbereich der Kabine. Die Größe der Lavatorys und der Galley richtet sich dabei nach den in PreSTo-Cabin definierten Vorgaben. Es ist zu beachten, dass die Anzahl der Sitzplätze leicht angepasst werden muss, da in PreSTo-Cabin nur komplette Sitzreihen dargestellt werden können. So sind beispielsweise bei den Varianten 1b und 2c mit vier Sitzen pro Reihe 112 anstatt der geforderten 110 Sitzplätze installiert. Weiterhin ist zu beachten, dass die in den folgenden Abbildungen dargestellten Kabinenlayouts lediglich der Veranschaulichung möglicher Varianten dienen sollen, um im weiteren Verlauf der Arbeit eine Kompatibilität mit den Bodenprozessen zu untersuchen.

In Bild 4.3 sind die Varianten 1a und 1b mit vier Sitzen pro Reihe dargestellt. Es fällt auf, dass bei der längeren Variante 1b ein zusätzlicher Notausgang in der Passagierkabine erforderlich ist, um den Regularien der FAA bezüglich der maximalen Entfernung zweier Notausgänge zu entsprechen.

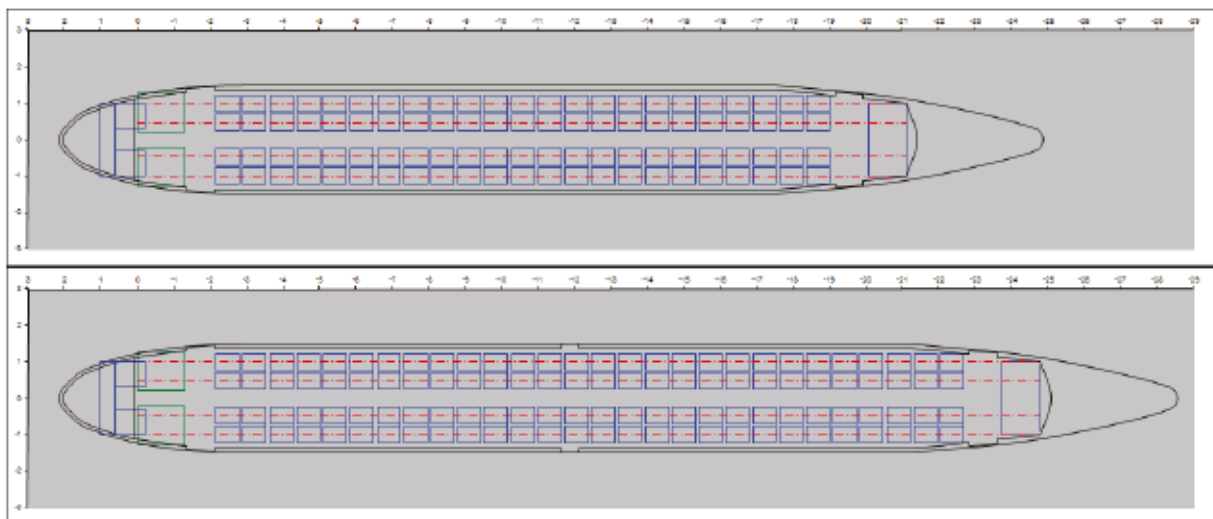


Bild 4.3 Kabinenlayouts der Variante 1a und 1b mit vier Sitzen pro Reihe

Die Darstellungen in Bild 4.4 zeigen die Kabinenlayouts der Varianten 2a, 2b und 2c mit vier Sitzen pro Reihe. Die Variante 2c ist identisch mit der Variante 1b.

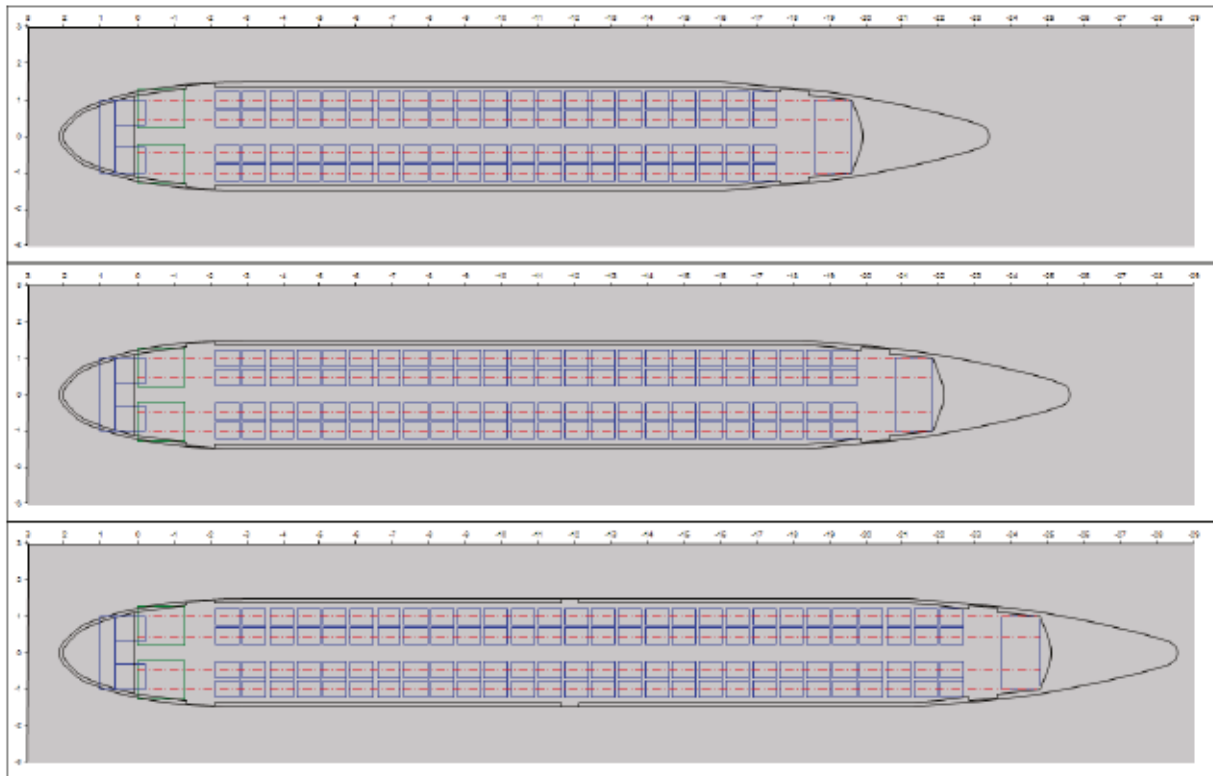


Bild 4.4 Kabinelayouts der Variante 2a, 2b und 2c mit vier Sitzen pro Reihe

Die Anzahl der Sitzreihen und die Rumpflängen sind zur besseren Übersichtlichkeit in Tabelle 4.3 aufgeführt.

Tabelle 4.3 Parameter der Varianten mit vier Sitzen pro Reihe

Variante	Sitzreihen	Sitzplätze	Rumpflänge
			m
1a	23	92	27,00
1b	28	112	30,70
2a	21	84	25,50
2b	24	96	27,80
2c	28	112	30,70

Tabelle 4.3 macht deutlich, dass mit der Variante 1a die Sitzplatzanzahl von 70 bis 92 Passagieren mit einem einzigen Modell abgedeckt werden müsste. Betrachtet man die mögliche Anzahl der Sitzplätze der in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge, die in Bild 4.1 dargestellt sind, fällt auf, dass im Bereich der Flugzeuge mit vier Sitzen pro Reihe die Embraer E190 mit einer Spanne von 98 bis 114 Sitzplätzen die flexibelste Kabine zur Verfügung stellt. Dies bedeutet, dass sie bei minimaler Sitzplatzanzahl eine schlechtere Performance pro Sitzplatz hat als ein kürzeres Flugzeug. Für ein Flugzeug mit vier Sitzen pro Reihe ist eine Sitzplatzflexibilität über eine Spanne von 22 Sitzplätzen daher ungeeignet. Aus diesem Grund soll die hier untersuchte Regionalflugzeugfamilie aus drei Mitgliedern bestehen, wenn sie eine Kabine mit vier Sitzen pro Reihe erhält. Im weiteren Verlauf der

Arbeit werden diese Flugzeuge mit Airbus AR084-4, AR096-4 und AR112-4 bezeichnet. Die Buchstaben AR sollen dabei für Airbus Regional stehen. Die Zahlen geben die maximale Sitzplatzanzahl und die Art der Bestuhlung an.

Die Varianten 1a und 1b mit fünf Sitzen pro Reihe sind in Bild 4.5 dargestellt. Bei der Variante 1b ist im Gegensatz zur Ausführung mit vier Sitzen pro Reihe kein zusätzlicher Notausgang erforderlich.

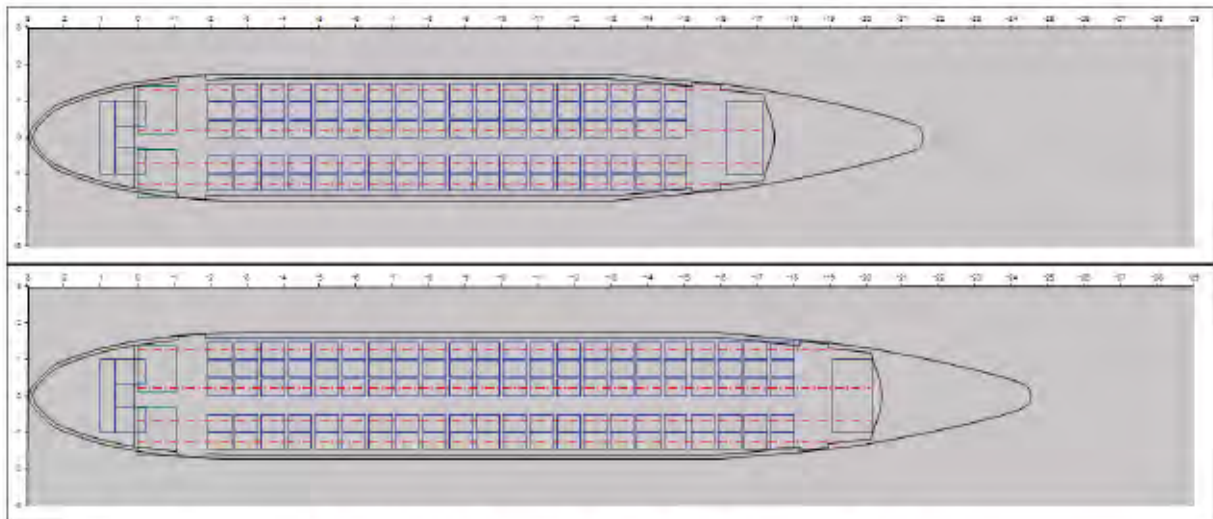


Bild 4.5 Kabinelayouts der Variante 1a und 1b mit fünf Sitzen pro Reihe

Abschließend sind in Bild 4.6 die Kabinenlayouts der Varianten 2a, 2b und 2c mit einer Bestuhlung von fünf Sitzen pro Reihe abgebildet.

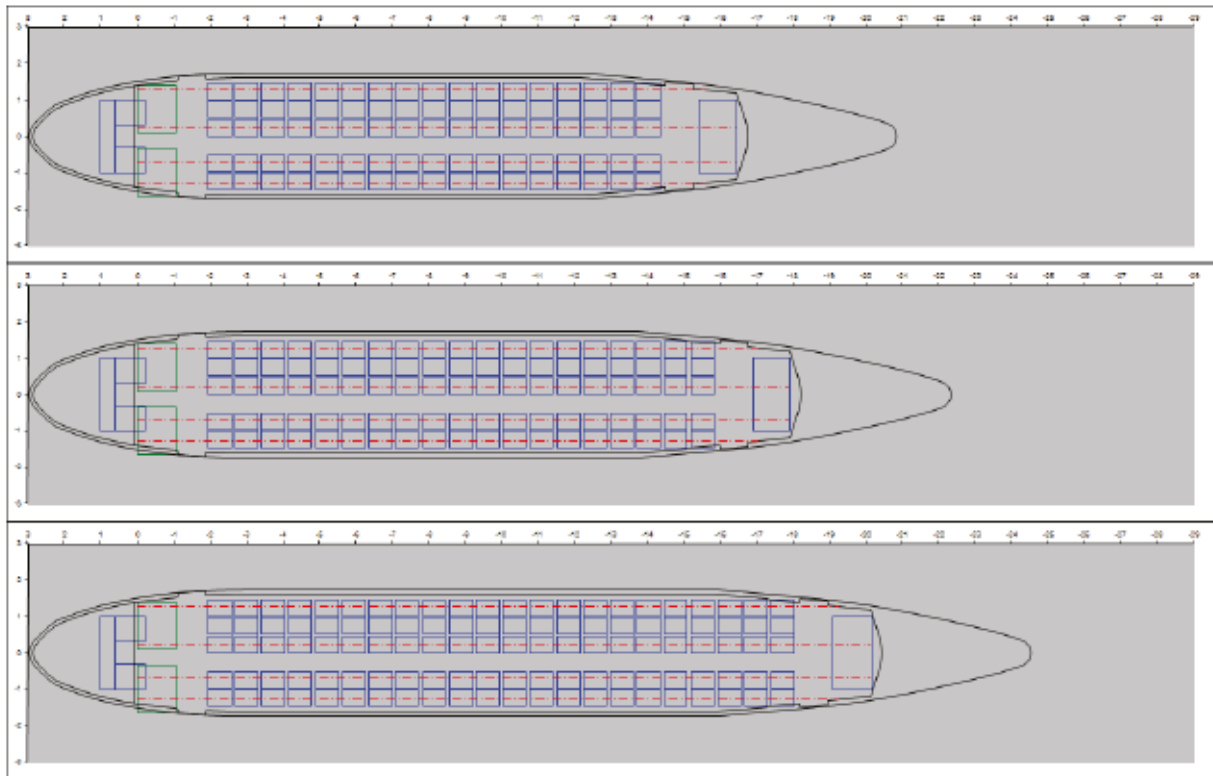


Bild 4.6 Kabinelayouts der Variante 2a, 2b und 2c mit fünf Sitzen pro Reihe

Zur besseren Übersichtlichkeit sind auch an dieser Stelle die Anzahl der Sitzreihen sowie die ungefähren Rumpflängen in einer Tabelle zusammengefasst (Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4 Parameter der Varianten mit fünf Sitzen pro Reihe

Variante	Sitzreihen	Sitzplätze	Rumpflänge
			m
1a	18	90	24,60
1b	22	110	27,60
2a	17	85	23,80
2b	19	95	25,30
2c	33	110	27,60

Tabelle 4.4 macht deutlich, dass der Längenunterschied der Variante 2b zu 2a nur 1,50 m beträgt. Da eine Verlängerung bzw. Verkürzung von Flugzeugen normalerweise vor und hinter der Tragfläche durchgeführt wird wären die Differenzen pro Rumpfhälfte nur noch ca. 0,75 m. Dies macht Fertigungstechnisch wenig Sinn. Außerdem ist die Abdeckung größerer Spannen von Sitzplätzen bei Flugzeugen mit fünf Sitzen pro Reihe leichter möglich, da zwei Sitzreihen bereits zehn Sitzplätze beinhalten. So kann z.B. die Bestuhlung der Fokker F100 zwischen 97 und 122 Sitzplätzen variieren. Deshalb wird festgelegt, dass die hier untersuchte Regionalflugzeugfamilie im Falle einer Bestuhlung mit fünf Sitzen pro Reihe aus zwei Mitgliedern besteht. Diese werden im Folgenden als Airbus AR090-5 bzw. AR110-5 bezeichnet.

4.1.4 Zusammenfassung der Auswahlmöglichkeiten

Es kann abschließend zu diesem Kapitel noch keine endgültige Entscheidung hinsichtlich der Auswahl der Art der Bestuhlung sowie der Varianten getroffen werden. Zwar überwiegen für die Flugzeugabfertigung die Vorteile bei der Wahl kürzerer Flugzeuge mit größerem Rumpfdurchmesser. Die Entscheidung hängt darüber hinaus jedoch auch von anderen Faktoren ab, die in den folgenden Kapiteln dargestellt werden. Es werden daher vorerst zwei Flugzeugfamilien zur Auswahl gestellt. Zum einen ist dies die ARxxx-4-Familie die aus drei Flugzeugen besteht und bei einer Bestuhlung von vier Sitzen pro Reihe maximal 84, 96 oder 112 Passagiere transportieren kann. Zum anderen besteht die ARxxx-5-Familie aus zwei Mitgliedern, die bei fünf Sitzen pro Reihe für maximal 90 bzw. 110 Passagiere ausgelegt sind. Die Anzahl der Sitzplätze wie auch die Rumpflänge der einzelnen Flugzeuge kann Tabelle 4.5 entnommen werden.

Tabelle 4.5 Parameter der ausgewählten Flugzeugfamilien

Flugzeug	Maximale Sitzreihen	Maximale Sitzplätze	Rumpflänge
			m
AR084-4	21	84	25,50
AR096-4	24	96	27,80
AR112-4	28	112	30,70
AR090-5	18	90	24,60
AR110-5	22	110	27,60

4.2 Erforderliches Frachtraumvolumen

Das Frachtraumvolumen beschreibt das in einem Flugzeug für den Transport von Gepäck und Fracht zur Verfügung stehende Volumen. Die meisten Passagierflugzeuge haben einen extra ausgewiesenen und von der Passagierkabine getrennten Frachtraum. Dieser befindet sich wie bei den in Kapitel 3 vorgestellten Regionalflugzeugen im Unterdeck unter der Passagierkabine oder auf dem Hauptdeck vor oder hinter der Passagierkabine. Zusätzlich zu diesen Frachträumen verfügen Flugzeuge in der Regel über ein Frachtraumvolumen innerhalb der Passagierkabine, zu dem neben den Handgepäckfächern über den Passagiersitzen auch der Platz unter den Passagiersitzen zählt. Darüber hinaus haben einige Flugzeuge Garderoben bzw. Schränke in den Passagierkabinen, in denen zusätzliches Frachtraumvolumen zur Verfügung gestellt wird.

Das erforderliche Frachtraumvolumen hängt unmittelbar von der Art der geforderten Flugmissionen ab.

4.2.1 Beschreibung typischer Flugmissionen

Regionalflugzeuge werden auf zwei verschiedenen Arten von Flugstrecken eingesetzt, Direktverbindungen und Zubringerflüge. Direktverbindungen, auch als Point-to-Point-Verbindungen bezeichnet (Knorr 2005) werden von Luftverkehrsunternehmen auf nachfragestarken Flugrouten angeboten, auf denen sich eine Umsteigeverbindung über einen dritten Flughafen aus wirtschaftlicher Sicht nicht lohnt.

Beispielhaft soll in diesem Abschnitt das deutsche Luftverkehrsunternehmen Lufthansa AG beleuchtet werden. Dieses hat in seinem Streckennetz innerhalb Deutschlands eine Vielzahl von Direktverbindungen. Einige von diesen werden in Bild 4.7 dargestellt.



Bild 4.7 Übersicht über ausgewählte regionale Direktverbindungen der Lufthansa
(nach Lufthansa 2012a)

Umsteigeverbindungen sind Flugverbindungen, auf denen die Passagiere mindestens einmal umsteigen müssen, um ihr Flugziel zu erreichen. Somit besteht jede Umsteigeverbindung aus mindestens zwei Direktverbindungen. Grundsätzlich sind Umsteigeverbindungen über jeden Flughafen möglich, an dem mehr als eine Flugverbindung angeboten wird. In dieser Arbeit sollen allerdings besonders die Umsteigeverbindungen hervorgehoben werden, bei denen einer der Flüge ein Mittel- oder Langstreckenflug ist. Der jeweils andere Flug wird häufig auch als Zubringerflug bezeichnet. Diese Art der Umsteigeverbindungen wird meist über Luftfahrt Drehkreuze (Hubs) durchgeführt.

Die Lufthansa AG verfügt in Deutschland mit Frankfurt am Main und München über zwei Hubs. In Bild 4.8 sind die meisten der Zubringer Routen dargestellt, die von der Lufthansa AG innerhalb Deutschlands zum Hub Frankfurt am Main angeboten werden. Von dort landen bzw. starten eine Vielzahl kontinentaler und interkontinentaler Flugverbindungen.



Bild 4.8 Übersicht über ausgewählte Strecken zum Lufthansa HUB Frankfurt
(nach Lufthansa 2012a)

Die Art der Flugverbindung hat einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Passagiere und somit auch auf die Art und Menge des Gepäcks, dass mittransportiert werden muss. Es wird generell zwischen aufgegebenen Gepäck und Handgepäck unterschieden.

Aufgegebenes Gepäck wird von den Passagieren im Flughafengebäude abgegeben und auf dem Vorfeld vom Ladepersonal in die Frachträume der Flugzeuge geladen. Die Passagiere erhalten ihr Gepäck im Flughafengebäude des Zielflughafens zurück. Dies bedeutet, dass das Gepäck bei einer Umsteigeverbindung auch vom Ladepersonal zwischen den Frachträumen der verschiedenen Flugzeuge transferiert wird. Somit müssen sich die Passagiere über die gesamte Flugreise nicht um ihr Gepäck kümmern, haben allerdings auch keinen Zugriff auf dieses.

Handgepäck hingegen wird von den Passagieren selbst transportiert. Die Passagiere tragen die Verantwortung für ihr Gepäck und müssen dieses selbst in die Handgepäckfächer oder unter die Sitze innerhalb der Passagierkabine verstauen. Handgepäck darf bestimmte Maße und Gewichte nicht überschreiten, die im weiteren Verlauf noch erläutert werden. Zudem muss es den strengen Regularien bezüglich der Mitnahme von gefährlichen Gegenständen

entsprechen. Entsprechende Richtlinien sind z.B. auf der Internet-Seite der Lufthansa AG zu finden (Lufthansa 2012b).

Die Art der Flugverbindung hat wie bereits erwähnt einen direkten Einfluss auf die Passagiere und das Gepäck. Regionale Direktverbindungen werden bevorzugt von Geschäftsreisenden benutzt. Diese fliegen zu Geschäftsterminen in andere Städte und verweilen dort meist nur für einen kurzen Zeitraum von einigen Tagen. Oftmals dauern die Geschäftstermine nur wenige Stunden, wodurch die Geschäftsreisenden noch am selben Tag den Rückflug antreten können. Das Gepäck dieser Passagiere ist somit begrenzt. Dieser Umstand und die Tatsache, dass Geschäftsreisende generell nicht lange an der Gepäckausgabe im Flughafengebäude auf ihr Gepäck warten möchten, führen dazu, dass diese Art der Passagiere bevorzugt mit Handgepäck fliegt. Städtereisende können als weitere Passagierart auf Direktverbindungen klassifiziert werden. Auch sie haben meist nur Handgepäck dabei, da auch ihr Aufenthalt eher kurz ist.

Anders als bei den Direktverbindungen sieht das Bild bei Zubringerflügen aus. Bei diesen machen die Fernreisenden einen Großteil der Passagiere aus, welche grundsätzlich mehr Gepäck bei sich haben, da sie meist über einen längeren Zeitraum verreisen. Dies wirkt sich auf die Menge und die Größe der Gepäckstücke aus. Passagiere, die über eine Umsteigeverbindung zu einem fernen Reiseziel fliegen oder von diesem kommen, haben mindestens ein aufgegebenes Gepäckstück und oft zusätzlich noch Handgepäck.

Für die Dimensionierung des Frachtraumvolumens werden daher folgende Annahmen getroffen:

Für das Volumen der Handgepäckfächer sind Direktflüge maßgeblich.

Für das Volumen des Frachtraums sind Zubringerflüge maßgeblich.

4.2.2 Dimensionierung der Handgepäckfächer

An dieser Stelle wird die Dimensionierung der Handgepäckfächer durchgeführt.

Airbus verwendet zum Bestimmen der Größe von Handgepäckstücken einen Standard. Dieser basiert auf dem Koffer Travelpro 22^{cc} des amerikanischen Herstellers Travelpro International Inc. (Travelpro 2012), der in Bild 4.9 abgebildet ist.



Bild 4.9 Travelpro 22" (Travelpro 2012)

Die Außenmaße des Travelpro 22^{cc} können Tabelle 4.6 entnommen werden.

Tabelle 4.6 Maße des Travelpro 22" (Travelpro 2012)

Koffer	Länge		Breite		Höhe		Summe		Volumen	
	in	m	in	m	in	m	in	m	cin	m ³
Travelpro 22"	22	0,56	14	0,36	9	0,23	45	1,15	2772	0,0464

Der Travelpro 22^{cc} entspricht den Empfehlungen der FAA. Diese gibt für die Größe des Handgepäckes vor, dass die Summe aus Länge, Breite und Höhe den Wert 1,15 m (45 inch) nicht überschreiten soll (FAA 2009). Weiterhin entsprechen die Außenmaße des Koffers auch den Bestimmungen vieler Luftverkehrsunternehmen (Dyszluk 2007).

Die meisten Luftverkehrsunternehmen erlauben die Mitnahme von einem Handgepäckstück pro Passagier in der Economy-Class. In der Business- sowie in der First-Class dürfen teilweise bis zu zwei Handgepäckstücke mitgenommen werden (Lufthansa 2012b).

Für die Dimensionierung der Handgepäckfächer wird die Annahme getroffen, dass pro Passagier ein Handgepäckstück mit den Ausmaßen des beschriebenen Travelpro 22^{cc} transportiert werden muss. Der Grund dafür ist, dass nicht alle Passagiere ein Handgepäckstück mit an Bord der Flugzeuge nehmen und neben den Handgepäckfächern auch noch Stauraum unter den Passagiersitzen zur Verfügung steht. Die Mitnahme von zwei Handgepäckstücken in die Business- bzw. First-Class wird dadurch kompensiert.

Das erforderliche Mindestvolumen für die Handgepäckfächer ergibt sich somit durch Multiplikation der Passagiersitze mit dem Volumen eines Travelpro 22^{cc}:

$$V_{\text{Handgepäckfächer}} = n_{\text{Sitzplätze}} \cdot 0,0464 \quad (4.2)$$

In Tabelle 4.7 wird das erforderliche Mindestvolumen der Handgepäckfächer für die verschiedenen zur Auswahl stehenden Flugzeugtypen angegeben.

Tabelle 4.7 Handgepäckvolumen der ARxxx-Familien

Flugzeug	Volumen
	m³
AR084-4	3,90
AR096-4	4,45
AR110-4	5,10
AR090-5	4,18
AR110-5	5,10

Das Volumen allein reicht jedoch für die Konstruktion von Handgepäckfächern nicht aus. Normalerweise bestehen die Fächer aus mehreren, durch Zwischenwände getrennte, Abteile (siehe Bild 4.10). Es ist daher zusätzlich zu beachten, dass die Maße dieser Fächer stets einem Vielfachen der Maße des Travelpro 22^{cc} entsprechen. Dadurch wird sichergestellt, dass eine der Anzahl der Passagiersitze entsprechende Menge an Koffern verstaut werden kann.

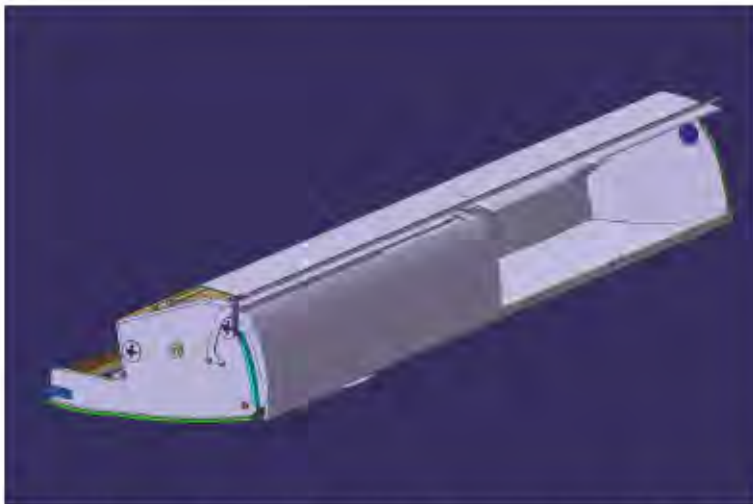


Bild 4.10 3D-Modell von Handgepäckfächern (ATR 1212)

4.2.3 Dimensionierung des Frachtraums

Für die Berechnung des erforderlichen Volumens des Frachtraums sind einige Annahmen zu treffen.

Die durchschnittliche Masse der einzelnen Gepäckstücke wird unterschiedlichen Quellen nach mit nur leichten Differenzen relativ gleich angenommen (Tabelle 4.8).

Tabelle 4.8 Gepäckgewichte

Streckenart	Roskam ^a	Torenbeek ^b	EASA ^c
	kg	kg	kg
Kurzstrecke	13,61	15,88	15,00
Mittelstrecke	13,61	15,88	16,00
Langstrecke	18,41	18,41	18,30

^a (Roskam 1989).

^b (Torenbeek 1988)

^c (Berdowski 2009)

Aufgrund der Aktualität der Werte werden für diese Arbeit die Massen der EASA Umfrage herangezogen (Berdowski 2009). Die Massen lauten somit für die Kurzstrecke

$$m_{\text{Gepäckstück, Kurzstrecke}} = 15,00 \text{ kg} \quad (4.3)$$

für die Mittelstrecke

$$m_{\text{Gepäckstück, Mittelstrecke}} = 16,00 \text{ kg} \quad (4.4)$$

und für die Langstrecke

$$m_{\text{Gepäckstück, Langstrecke}} = 18,30 \text{ kg} \quad (4.5)$$

Um nun aus den Massen ein Volumen zu errechnen, ist ein Wert für die Dichte des Gepäcks erforderlich (Tabelle 4.9).

Tabelle 4.9 Gepäkdichte

Quelle	Gepäkdichte
	kg/m ³
Roskam ^a	200,17
Torenbeek ^b	200,17
Airbus ^c	160,00

^a (Roskam 1989).

^b (Torenbeek 1988)

^c (Airbus 2012a)

An dieser Stelle wird aufgrund der Aktualität der Wert von Airbus herangezogen:

$$\rho_{\text{Gepäck}} = 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4.6)$$

Weiterhin geben (Torenbeek 1988) wie auch (Roskam 1989) einen Faktor für die Ausnutzungseffizienz des Frachtraums an. Dieser Faktor beträgt:

$$a = 0,85 \quad (4.7)$$

Wie dem Kapitel 4.2.1 zu entnehmen ist, sind für das Volumen der Frachträume die Zubringerflüge dimensionierend. Es wird angenommen, dass bei voller Auslastung des Regionalflugzeugs 50% der Passagiere Transferpassagiere von Langstreckenflügen sind und 40% Transferpassagiere von Mittelstreckenflügen. Die verbleibenden 10% benutzen den Flug als Direktverbindung. Das für das Gepäck erforderliche Frachtraumvolumen ergibt sich somit zu:

$$V_{\text{Frachtraum, Gepäck}} = n_{\text{Sitzplätze}} \cdot \frac{0,1 \cdot m_{\text{Gepäckstück, Kurzstrecke}} + 0,4 \cdot m_{\text{Gepäckstück, Mittelstrecke}} + 0,5 \cdot m_{\text{Gepäckstück, Langstrecke}}}{\rho_{\text{Gepäck}} \cdot a} \quad (4.8)$$

Zusätzlich zu den Gepäckstücken der Passagiere soll das hier untersuchte Regionalflugzeug noch eine Transportmöglichkeit für Fracht bieten. Die Masse der Fracht soll bei allen Versionen des Flugzeugs mit 500 kg angenommen werden:

$$m_{\text{Fracht}} = 500,00 \text{ kg} \quad (4.9)$$

Die Dichte der Fracht wird nach (Torenbeek 1988) wie auch nach (Roskam 1989) angegeben mit:

$$\rho_{\text{Fracht}} = 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (4.10)$$

Durch Erweiterung der Gleichung (4.8) mit ergibt sich für das Volumen des Frachtraums die Gleichung:

$$V_{\text{Frachtraum}} = n_{\text{Sitzplätze}} \cdot \frac{0,1 \cdot m_{\text{Gepäckstück, Kurzstrecke}} + 0,4 \cdot m_{\text{Gepäckstück, Mittelstrecke}} + 0,5 \cdot m_{\text{Gepäckstück, Langstrecke}}}{\rho_{\text{Gepäck}} \cdot a} + \frac{m_{\text{Fracht}}}{\rho_{\text{Fracht}}} \quad (4.11)$$

Durch Einsetzen der in diesem Kapitel ermittelten Werte und Faktoren in die Gleichung (4.11) erhält man das erforderliche Volumen des Frachtraums in Abhängigkeit der Sitzplatzanzahl. In Tabelle 4.10 sind die Volumina für die in dieser Arbeit zu untersuchenden Regionalflugzeuge angegeben.

Tabelle 4.10 Frachtraumvolumen der ARxxx-Familien

Flugzeug	Gepäck	Fracht	Gesamt	Volumen pro
	Volumen	Volumen	Volumen	Passagier
	m³	m³	m³	m³
AR084-4	10,531	3,125	13,656	0,163
AR096-4	12,035	3,125	15,160	0,158
AR112-4	13,790	3,125	16,915	0,154
AR090-5	11,283	3,125	14,408	0,160
AR110-5	13,790	3,125	16,915	0,154

Diese Werte sind plausibel und liegen im Bereich der in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge. Dies ist Tabelle 3.21 zu entnehmen.

Für die Be- und Entladung von Flugzeugen kann, aus Sicht der Flugzeugabfertigung, grundsätzlich folgende Aussage getroffen werden: Je mehr Platz im Frachtraum für das Gepäck bzw. die Fracht zur Verfügung steht, desto einfacher und schneller kann die Be- und Entladung durchgeführt werden. Allerdings kann der Frachtraum nicht beliebig groß gebaut werden, da der Platz in einem Flugzeug begrenzt ist und dies im Widerspruch zu der Wirtschaftlichkeit eines Flugzeugs stehen würde. Im nächsten Kapitel wird daher neben der Art und der Lage auch die Bemaßung von Frachträumen behandelt.

4.3 Art, Lage und Maße des Frachtraums

Die Art, Lage und Maße des Frachtraums sind essentielle Parameter der Flugzeugabfertigung. Sie bestimmen die Geschwindigkeit, mit der ein Frachtraum be- und entladen werden kann, maßgeblich mit.

Es gibt grundsätzlich mehrere mögliche Arten von Frachträumen für Flugzeuge der hier untersuchten Größenordnung. Diese werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben. Es wird dabei auf die Bemaßung und insbesondere auf die Vor- und Nachteile bezüglich der Be- und Entladung eingegangen.

4.3.1 Unbegehbare Frachträume

Unbegehbare Frachträume sind sehr selten. Bei den in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeugen haben z.B. die Bombardier CRJ700, CRJ900 und die CRJ1000 einen solchen Frachtraum, der sich bei diesen Flugzeugen unterhalb der Passagierkabine befindet (Bild 4.11). Dieser Einbauart wird meist für unbegehbare Frachträume gewählt.

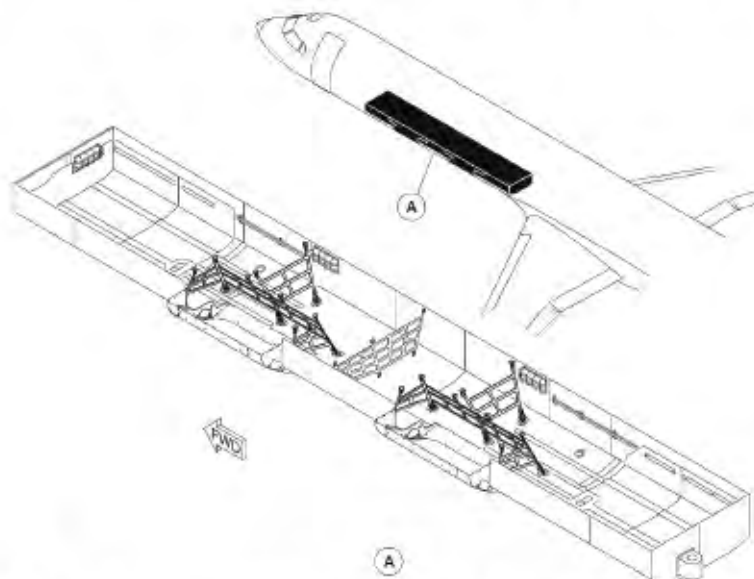


Bild 4.11 Unbegehbbarer Frachtraum der Bombardier CRJ900 (Bombardier 2005)

Das Volumen von unbegehbaren Frachträumen ist begrenzt. Der Grund hierfür sind die eingeschränkten Dimensionen, insbesondere in der Höhe. Diese sollte nicht weniger als 0,50 m (20 in) betragen (Torenbeek 1988). Um eine Erreichbarkeit von der Ladeluke aus sicher zu stellen, ist es sinnvoll, die maximalen Abstände von der Ladeluke auf Armlänge zuzüglich einiger Zentimeter zu beschränken. Dadurch kann das Ladepersonal auch die

Ladungstücke in den entfernten Bereichen des Frachtraumes be- und entladen. Für längere oder tiefere Frachträume sind zusätzliche Hilfen erforderlich. Dies können z.B. bewegliche Böden sein, die sich manuell oder elektrisch bewegen lassen. Bei den Bombardier CRJs sind die Frachträume mit beweglichen Schlitten ausgestattet, die manuell bewegt werden können (siehe Bild 4.11 unten).

Aufgrund der geringen Dimensionen von unbegehbaren Frachträumen sollten diese nur, wie bei den Bombardier CRJs, als zusätzliche Frachträume vorgesehen werden. Sie sind weder für sperrige Ladungsstücke geeignet, noch können sie schnell be- und entladen werden.

4.3.2 Begehbare Frachträume auf dem Hauptdeck

Frachträume auf dem Hauptdeck können entweder vor oder hinter der Passagierkabine liegen. Oft findet man diese Art der Frachträume bei Flugzeugen mit maximal vier Sitzen pro Reihe. Eine Ausnahme bildet hier die Antonow An-148, die in ihrer Kabine fünf Sitze pro Reihe hat. Dieses Flugzeug verfügt neben zwei Frachträumen im Unterdeck auch über einen zusätzlichen Frachtraum hinter der Passagierkabine. Sie ist daher bezüglich der hier gewählten Einordnung der Frachträume ein Hybrid.

Die Höhe von Frachträumen auf dem Hauptdeck entspricht weitestgehend der Kabinenhöhe der Passagierkabine. Sie sollte mindestens 1,85 m und maximal 2,00 m betragen, um eine ergonomische wie auch schnelle Be- und Entladung zu ermöglichen (Ottermann 2012).

Die Länge dieser Frachträume kann über das erforderliche Volumen und die nutzbare Querschnittsfläche des Frachtraums berechnet werden. Grundsätzlich gilt:

$$l_{\text{Frachtraum,Hauptdeck}} = \frac{V_{\text{Frachtraum}}}{A_{\text{Frachtraum,Hauptdeck}}} \quad (4.12)$$

Liegt der Frachtraum im vorderen Rumpfbereich, d.h. zwischen Passagierkabine und Cockpit, so ist zu beachten, dass sich normalerweise zwischen Cockpit und Passagierkabine ein Gang befindet. Durch diesen können die Piloten das Cockpit besteigen bzw. verlassen. Alternativ dazu wäre eine separate Tür für die Piloten erforderlich, was aus Platz- und Gewichtsgründen wenig Sinn macht. Es ist also die für den Gang erforderliche Querschnittsfläche vom Gesamtquerschnitt abzuziehen.

$$l_{\text{Frachtraum,Hauptdeck}} = \frac{V_{\text{Frachtraum}}}{A_{\text{Frachtraum,Hauptdeck}} - A_{\text{Gang}}} \quad (4.13)$$

Folgende Annahme kann für die Gangquerschnittsfläche getroffen werden:

$$A_{Gang} = 0,50 \text{ m} \cdot 2,00 \text{ m} = 1 \text{ m}^2 \quad (4.14)$$

Befindet sich der Frachtraum im Heck des Rumpfes, d.h. zwischen der Passagierkabine und der hinteren Druckkalotte, so ist die Berechnung der Länge etwas anspruchsvoller. Der Grund hierfür ist, dass der Rumpf zum Heck hin verjüngt ist. Dadurch wird seine Querschnittsfläche verringert, was sich normalerweise auch auf den Frachtraum auswirkt. Um dennoch eine Aussage über die Länge des Frachtraums treffen zu können, empfiehlt sich die Durchführung einer Übersichtsrechnung. Dabei wird von dem größten möglichen Frachtraumquerschnitt, der sich normalerweise an der Trennwand zur Passagierkabine befindet, ausgegangen. Die Berechnung für Frachträume, die sich auf dem Hauptdeck im Heckkonus von Flugzeugen befinden, wird somit mit folgender Formel berechnet:

$$l_{Frachtraum,Hauptdeck} = \frac{V_{Frachtraum}}{A_{Frachtraum,Hauptdeck} \cdot b} \quad (4.15)$$

Durch eine Analyse einiger Regionalflugzeuge, deren Frachträume hinter der Passagierkabine liegen, kann der Faktor b ermittelt werden. Die entsprechende Analyse und die daraus resultierende Auswertung sind im Anhang A dieser Arbeit zu finden. Der ermittelte Faktor wird angegeben mit:

$$b = 0,932 \quad (4.16)$$

Die endgültige Näherungsgleichung zur Ermittlung der Länge von Frachträumen, die sich im Hauptdeck von Flugzeugen im Heckkonus befinden, lautet somit:

$$l_{Frachtraum,Hauptdeck} = \frac{V_{Frachtraum}}{A_{Frachtraum,Hauptdeck} \cdot 0,932} \quad (4.17)$$

Für die Flugzeugabfertigung bieten Frachträume, die sich auf dem Hauptdeck befinden, einige Vorteile. Sie haben, wie weiter oben beschrieben, meistens Stehhöhe. Dadurch können sie vom Ladepersonal entweder stehend oder kniend be- und entladen werden. Auf die Dauer der Ladevorgänge hat dies allerdings keinen signifikanten Einfluss. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich aufgrund der großen Höhe dieser Frachträume auch sperrige Güter verstauen lassen, die für Frachträume im Unterdeck zu groß wären.

Ein Nachteil von Frachträumen auf dem Hauptdeck ist die Handhabung der Lage des Schwerpunktes des Flugzeugs (Center of Gravity, CG). Die hier behandelten Frachträume sind meist verhältnismäßig weit vom CG entfernt. Dadurch ist der Hebelarm der Last von Fracht und Gepäck groß. Dies kann im Flug zu Problemen mit der Trimmlage führen. Bei der Flugzeugabfertigung kann dies, abhängig von der Lage der Fahrwerke, ebenso problematisch werden. Aus diesem Grund wird beispielsweise bei der ATR42 und der ATR72 oft eine

Sicherheitsstange unter dem Flugzeugheck angebracht, da diese Flugzeuge dazu neigen, bei der Be- und Entladung auf das Heck zu kippen. Ein weiterer Nachteil dieser Frachträume ist die zusätzliche Länge, die das Flugzeug durch sie erhält. Diese lässt sich durch die in Kapitel 4.2.3 berechneten erforderlichen Frachtraumvolumen und die Gleichungen (4.13) und (4.17) für die verschiedenen Flugzeuge der hier untersuchten Regionalflugzeugfamilie berechnen. Die Grundlage für diese Berechnungen bildet PreSto-Cabin. Geht man von einem kreisrunden Rumpfquerschnitt eines Flugzeugs aus, so erhält man für ein Flugzeug mit vier Sitzen pro Reihe einen Kabinendurchmesser von $d_{Rumpf}=2,76$ m und für fünf Sitze pro Reihe einen Durchmesser von $d_{Rumpf}=3,24$ m. Für die Geometrie der Kabine werden die automatisch erzeugten Werte von PreSto-Cabin verwendet. Auch für die Geometrie der Sitze und die Gangbreite werden übliche Standardwerte von PreSto-Cabin benutzt. Die erzeugten Rumpfquerschnitte sind in Bild 4.12 abgebildet.

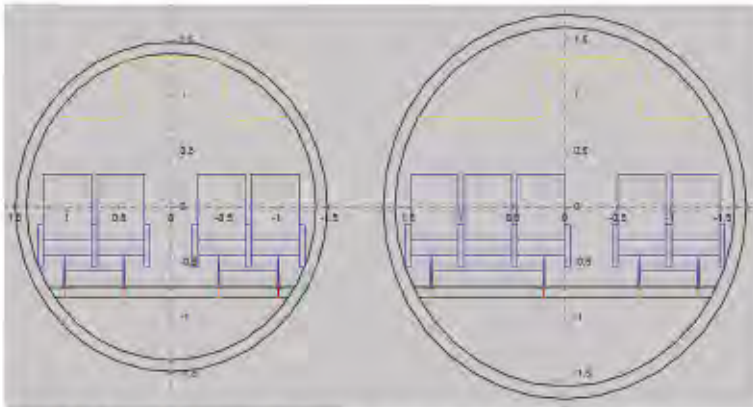


Bild 4.12 Mit PreSto-Cabin erzeugte Cross Sections

Die nutzbare Querschnittsfläche des Rumpfes lässt sich mit folgender Gleichung berechnen (Papula 2006):

$$A_{\text{Kreisabschnitt}} = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180} - \sin \varphi \right) \quad (4.18)$$

Zur Erläuterung der Gleichung soll Bild 4.13 dienen. Es wird davon ausgegangen, dass die Lage der Böden des Frachtraums und der Kabine identisch ist.

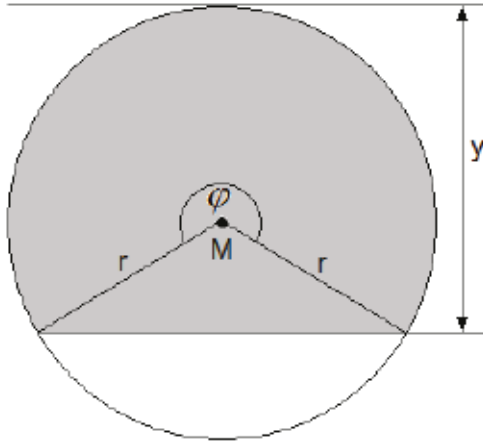


Bild 4.13 Kreisabschnitt (nach Papula 2006)

Durch eine Umformung der Gleichung (4.18) erhält man für die Querschnittsfläche des Frachtraums die folgende Gleichung:

$$A_{\text{Frachtraum, Hauptdeck}} = \frac{d_{\text{Rumpf}}^2}{8} \cdot \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180} - \sin \varphi \right) \quad (4.19)$$

Durch Einsetzen der in Bild 4.12 visuell ermittelten Winkelgrößen, die bei einem kleineren Rumpfquerschnitt $\varphi = 246^\circ$ und bei fünf Sitzen pro Reihe $\varphi = 236^\circ$ betragen, und dem zuvor angegebenen Kabinendurchmesser von $d_{\text{Rumpf}} = 2,76$ m bei vier Sitzen bzw. $d_{\text{Rumpf}} = 3,24$ m bei fünf Sitzen pro Reihe, erhält man die in Tabelle 4.11 angegebenen nutzbaren Rumpfquerschnittsflächen.

Tabelle 4.11 Nutzbare Querschnittsfläche der ARxxx-Familien

Flugzeug	Nutzbare Querschnittsfläche
	m ²
ARxxx-4	4,96
ARxxx-5	6,49

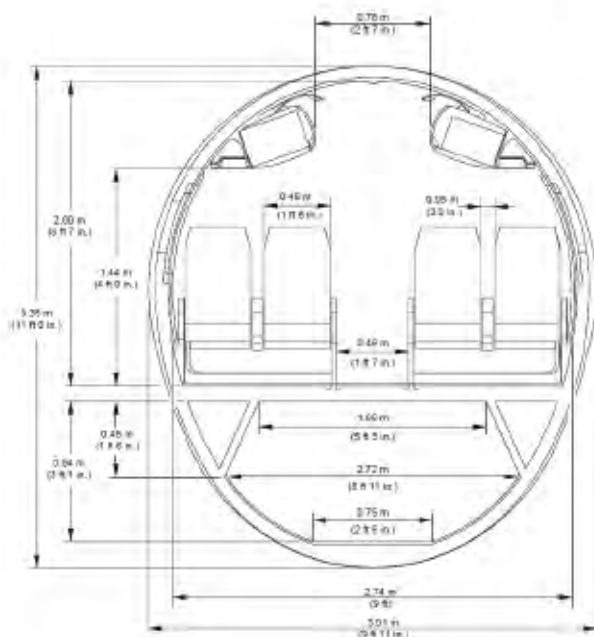
Mit den in diesem Kapitel ermittelten Werten lässt sich die Frachtraumlänge nun mit Hilfe der Gleichungen (4.13), (4.17) und (4.19) in Abhängigkeit des erforderlichen Frachtraumvolumens (Kapitel 4.2.3) für die verschiedenen Flugzeuge der beiden Airbus ARxxx-Familien ermitteln. Diese zusätzlichen Längen müssen noch zu den in Kapitel 4.1.4 ermittelten Rumpflängen addiert werden. Die Frachtraumlängen und die daraus resultierenden Rumpflängen mit einem Frachtraum vor oder hinter der Passagierkabine sind in Tabelle 4.12 angegeben.

Tabelle 4.12 Frachtraumlängen und Rumpflängen bei Frachträumen auf dem Hauptdeck

Flugzeug	Frachtraum- volumen m ³	Frachtraum- länge Vorne m	Frachtraum- länge Hinten m	Resultierende Rumpflänge	
				Frachtr. Vorne m	Frachtr. Hinten m
AR084-4	13,656	3,45	2,95	28,95	28,45
AR096-4	15,160	3,83	3,28	31,63	31,08
AR112-4	16,915	4,27	3,66	34,97	34,36
AR090-5	14,408	2,62	2,38	27,22	26,98
AR110-5	16,915	3,08	2,80	30,68	30,40

4.3.3 Begehbare Frachträume im Unterdeck

Als Alternative zu den Frachträumen auf dem Hauptdeck sind begehbare Frachträume, die sich im Unterdeck unter den Passagierkabinen befinden, sehr verbreitet. Häufig wird diese Art und Lage bei Flugzeugen mit einer Kabine, die über fünf Sitze pro Reihe oder mehr verfügt, gewählt. Aber auch bei Flugzeugen mit vier Sitzen pro Reihe ist dieser Einbauort möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Embraer E-Jet-Familie, deren Rumpffquerschnitt (Cross Section) in Bild... abgebildet ist. Bei der dargestellten Cross Section ist auffällig, dass sich der Frachtraum im Unterdeck nur durch eine ovale Rumpfform realisieren lässt. Eine alternative Möglichkeit wäre, den Rumpffquerschnitt als Doppelkreisquerschnitt (Double Bubble) auszuführen, wie es beispielsweise bei der Boeing B717 der Fall ist. Diese hat in ihrer Kabine allerdings fünf Sitze pro Reihe.

**Bild 4.14** Cross Section der Embraer E-Jets (Embraer 2012)

Da der Frachtraum der hier untersuchten Regionalflugzeugfamilie nach den Anforderungen aus Kapitel 2.1.2.2 für Handbeladung vorgesehen sein soll, sind bezüglich der Bemaßung keine Anpassungen an ULD vorzunehmen. Die Höhe des Frachtraums sollte mindestens 0,90 m (35 in) betragen (Torenbeek 1988). Der optimale Wert für eine ergonomische und damit zügige Be- und Entladung liegt zwischen 1,15 m und 1,30 m (Ottermann 2012).

Die Geometrie von Frachträumen im Unterdeck ist aufgrund der unterschiedlichen Rumpfformen und Konstruktionsmethoden der Flugzeughersteller divergent. Grundsätzlich gilt, dass ein ebener Frachtraumboden für eine schnellere Be- und Entladung zu bevorzugen ist (Ottermann 2012). Bis auf die Avro RJ85 und RJ100 haben alle der in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge einen ebenen Frachtraumboden. Bei der Gestaltung der Seitenwände gibt es zwei verschiedene Bauformen. Diese sind in den folgenden Abbildungen dargestellt (Bild 4.15, Bild 4.16).

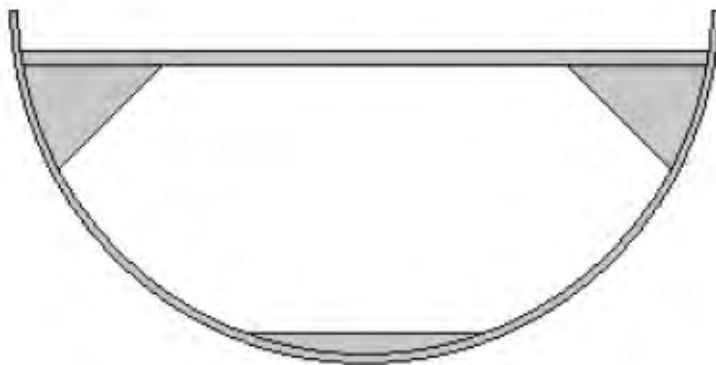


Bild 4.15 Frachtraum mit schrägen Seitenwänden

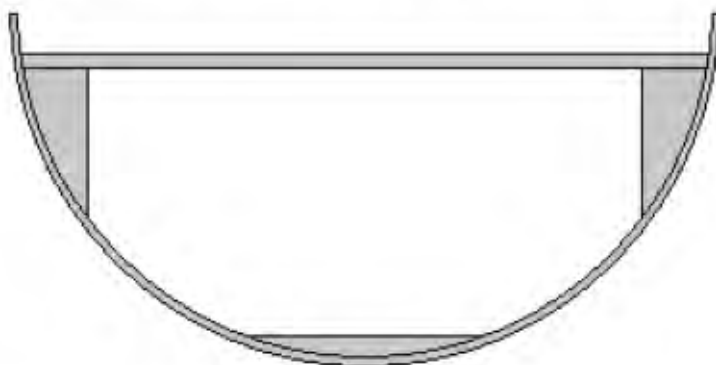


Bild 4.16 Frachtraum mit senkrechten Seitenwänden

Der Grund für eine solche Gestaltung der Seitenwände ist, dass sich hinter der Verkleidung Stützstreben für den Boden des Hauptdecks befinden. Des Weiteren wird der Raum hinter der Verkleidung für Systeme und Leitungen genutzt. Die erste Bauform der Seitenwände, die in Bild 4.15 dargestellt ist, findet man z.B. in den Frachträumen der Fokker F70 und F100 und der Embraer E-Jet-Familie. Die in Bild 4.16 dargestellte zweite Variante mit den senkrechten Seitenwänden wird beispielsweise in den Flugzeugen der Airbus-A320-Familie genutzt. Aus

Sicht der Flugzeugabfertigung ist es grundsätzlich unerheblich, ob die Seitenwände schräg oder senkrecht sind (Ottermann 2012).

Zur Berechnung der Querschnittsfläche des Frachtraums wird der Gesamtquerschnitt als einfacher geometrischer Körper dargestellt (siehe Bild 4.17). Die durch den geometrischen Körper nicht erfassten konkaven Bereiche des Frachtraums werden im weiteren Verlauf der Berechnung durch Konstanten kompensiert. Dadurch ist eine Bestimmung der Parameter der Frachträume mit hinreichender Genauigkeit möglich.

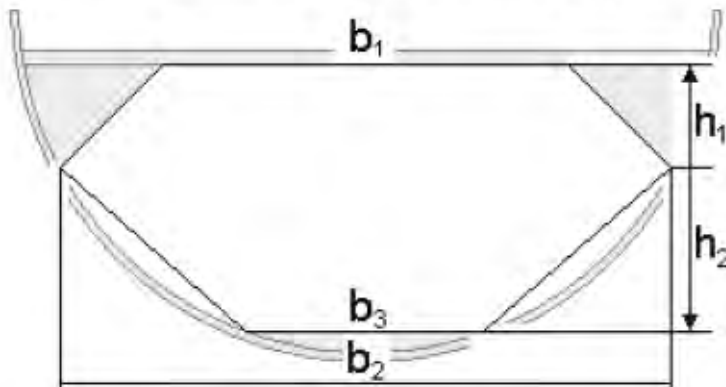


Bild 4.17 Vereinfachte Darstellung des Frachtraums mit schrägen Wänden

Der einfache geometrische Körper kann, wie in Bild 4.18 dargestellt, in zwei Trapeze zerlegt werden.

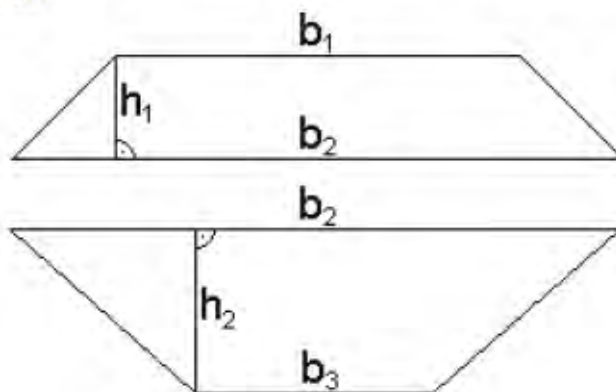


Bild 4.18 Aufteilung in zwei Trapeze

Die Berechnung der Flächen erfolgt nach (Papula 2006) für das obere Trapez mit der Gleichung:

$$A_{\text{Trapez, Oben}} = \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1 \quad (4.20)$$

Das untere Trapez kann, ebenfalls nach (Papula 2006), mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$A_{\text{Trapez, Unten}} = \frac{1}{2} \cdot (b_2 + b_3) \cdot h_2 \quad (4.21)$$

Fasst man die beiden Gleichungen zusammen, so erhält man die Gleichung für den in Bild 4.17 dargestellten geometrischen Körper:

$$A_{\text{Frachtraum, Unterdeck, 1}} = \frac{1}{2} \cdot [h_1 \cdot (b_1 + b_2) + h_2 \cdot (b_2 + b_3)] \quad (4.22)$$

Die Berechnung des Frachtraumquerschnitts erfolgt bei geraden Seitenwänden analog zu den Berechnungen bei schrägen Seitenwänden.

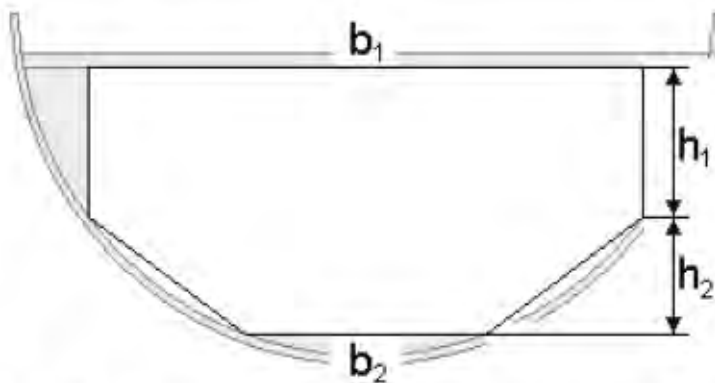


Bild 4.19 Vereinfachte Darstellung des Frachtraums mit senkrechten Wänden

Der in Bild 4.19 dargestellte einfache geometrische Körper kann in ein Rechteck und ein Trapez zerlegt werden (Bild 4.20).

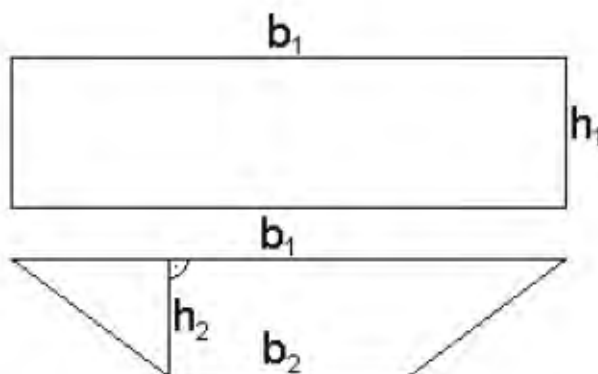


Bild 4.20 Aufteilung in ein Rechteck und ein Trapez

Die Berechnung der Fläche erfolgt nach (Papula 2006) für das Rechteck mit der Gleichung:

$$A_{\text{Rechteck}} = b_1 \cdot h_1 \quad (4.23)$$

Das Trapez kann, ebenfalls nach (Papula 2006), mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$A_{\text{Trapez}} = \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_2 \quad (4.24)$$

Fasst man die beiden Gleichungen zusammen, so erhält man die Gleichung für den in Bild 4.19 dargestellten geometrischen Körper:

$$A_{\text{Frachtraum, Unterdeck}, 2} = b_1 \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) + \frac{b_2 \cdot h_2}{2} \quad (4.25)$$

Der Zusammenhang zwischen Frachtraumvolumen, Querschnittsfläche und Länge kann mit großer Genauigkeit über eine Gleichung beschrieben werden. Diese lautet:

$$V_{\text{Frachtraum, Unterdeck}} = A_{\text{Frachtraum, Unterdeck}} \cdot (l_{\text{ges}} \cdot 0,957 - l_v \cdot 0,225) \quad (4.26)$$

Die beiden Konstanten der Gleichung (4.26) wurden durch eine statistische Auswertung der Bemaßungen von Frachträumen von 20 Flugzeugen ermittelt. Die Berechnung wie auch die Auswertung sind im Anhang A dieser Arbeit zu finden.

Zur Erklärung der Gleichung (4.26) soll hier die Darstellung in Bild 4.21 dienen.



Bild 4.21 Seitenschnitt eines Frachtraums im Unterdeck

Der Parameter l_{ges} beschreibt die Gesamtlänge des Frachtraums. Verfügt das Flugzeug über zwei Frachträume, so sind die einzelnen Längen der Frachträume zu addieren. Der Parameter l_v beschreibt hingegen den Bereich des Frachtraums, der sich im Heckkonus des Flugzeugs befindet und sich dadurch verjüngt. Verfügt der Frachtraum über keinen verjüngten Bereich oder soll lediglich der vordere Frachtraum berechnet werden, so ist der Parameter l_v zu vernachlässigen.

Um einen Eindruck über die erforderliche Frachtraumlänge zu erhalten, werden auf Basis von PreSTo-Cabin zwei unterschiedliche Cross Sections erstellt. Da die endgültige Wahl einer Cross Section von weiteren Faktoren, wie z.B. der Größe der Frachträume oder der maximalen Breite der Passagierkabine, abhängt, werden an dieser Stelle einige vereinfachende Annahmen getroffen. Für die Höhe des Kabinenbodens wird in PreSTo-Cabin manuell der Wert

$$\Delta z_{\text{floor}} = 0,50 \text{ m} \quad (4.27)$$

gewählt. Anschließend wird das Verhältnis zwischen Kabinenhöhe und Kabinenbreite soweit verändert, dass die maximale Höhe des Frachtraums 1,00 m beträgt. Für eine Kabine mit vier Sitzen pro Reihe liegt dieser Wert bei

$$(h/w)_{\text{cabin}} = 1,13 \quad (4.28)$$

Wenn die Kabine fünf Sitzen pro Reihe hat liegt dieser Wert bei

$$(h/w)_{\text{cabin}} = 0,97 \quad (4.29)$$

In Bild 4.22 sind die somit erzeugten Cross Sections abgebildet.

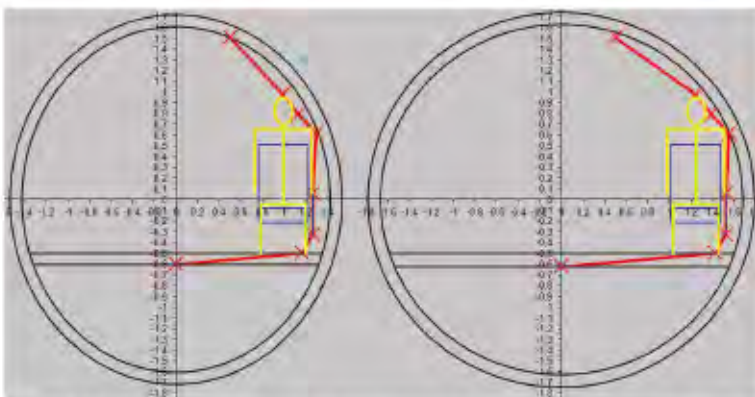


Bild 4.22 Mit PreSTo-Cabin erzeugte Cross Sections für Frachträume im Unterdeck

Es wird von einem ebenen Frachtraumboden ausgegangen, der in der Rumpfmittle 0,10 m oberhalb der Rumpfspante liegt. Die verbleibende Frachtraumhöhe wird somit auf 0,90 m begrenzt. Dieser Wert entspricht nach den erwähnten Erkenntnissen für eine schnelle Be- und Entladung nicht dem Optimum. Jedoch beschreibt er nach (Torenbeek 1988) das minimale Maß, das ein Frachtraum im Unterdeck haben sollte. Flugzeuge der hier behandelten Größenordnung haben im Allgemeinen nicht so hohe Frachträume. So hat der Frachtraum der Embraer E-Jets eine Höhe von 0,94m (siehe Bild 4.14). Der Frachtraum der Fokker F70 und F100 ist lediglich 0,77 m hoch (Jane's 2012).

Der Seitenbereich des Frachtraums wird, wie bei anderen Flugzeugen von Airbus üblich, mit senkrechten Seitenwänden ausgestattet. Da unabhängig vom Rumpfquerschnitt und der Bestuhlung die gleichen Flugzeugsysteme verbaut werden, wird der Querschnitt der Seitenbereiche bei beiden Cross Sections gleich groß gewählt.

Die nach diesen Vorgaben erstellten Frachträume haben somit die in Bild 4.23 und Bild 4.24 dargestellten Querschnitte.

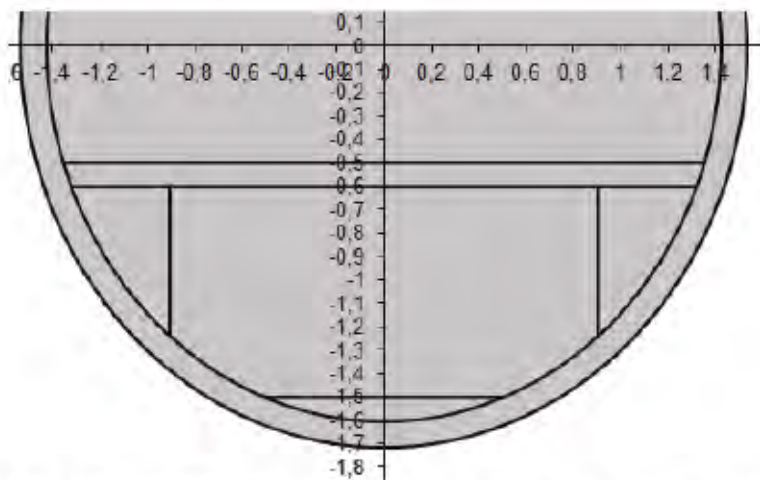


Bild 4.23 Mit PreSTo-Cabin erzeugter Frachraumquerschnitt der ARxxx-4-Familie

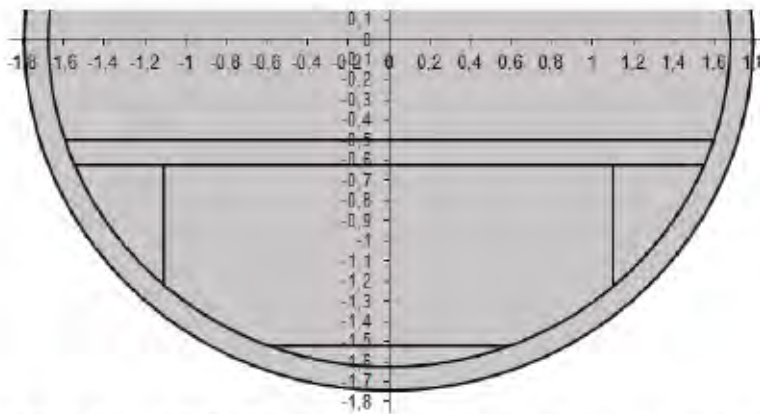


Bild 4.24 Mit PreSTo-Cabin erzeugter Frachraumquerschnitt der ARxxx-5-Familie

Die Größe der nutzbaren Frachraumquerschnitte kann über die Gleichung (4.25) ermittelt werden. Sie wird in Tabelle 4.13 in Abhängigkeit der Sitzplatzanordnung angegeben.

Tabelle 4.13 Frachraumquerschnittsflächen der ARxxx-Familien

Flugzeug	Nutzbare Querschnittsfläche
	m ²
ARxxx-4	1,512
ARxxx-5	1,822

Die Länge der Frachträume wird auf Grundlage der Gleichung (4.26) ermittelt. Hierzu ist das Treffen einer weiteren Annahme nötig. Für den verjüngten Bereich des Frachtraums wird eine Länge von 2,50 m angenommen. Dieser Bereich kann vom Ladepersonal nur schwer beladen werden, da die Ladungsstücke durch den geneigten Boden oft zurückrutschen. Eine Distanz von 2,5 ist dabei die Maximaldistanz, die durch einen einzelnen Mitarbeiter be- und entladen werden kann (Ottermann 2012). Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Mindesthöhe des verjüngten Bereichs 0,50 m nicht unterschreitet. Dies ist nach (Torenbeek 1988) die Mindesthöhe für Frachträume. Aus Sicht der Flugzeugabfertigung sind diese Annahmen plausibel und bieten einen praktikablen Ansatz.

Durch Umstellen der Gleichung (4.26) ergibt sich für die Berechnung der Frachtraumlänge folgende Gleichung:

$$l_{\text{ges}} = \frac{V_{\text{Frachtraum, Unterdeck}} + A_{\text{Frachtraum, Unterdeck}} \cdot l_v \cdot 0,225}{A_{\text{Frachtraum, Unterdeck}} \cdot 0,957} \quad (4.30)$$

In Tabelle 4.14 sind die Frachtraumlängen für die einzelnen Flugzeuge der beiden Regionalflugzeugfamilien abgebildet. Des Weiteren ist der Tabelle der prozentuale Anteil zu entnehmen, den die Frachtraumlänge an der gesamten Rumpflänge hat. Dieser Anteil liegt in der Regel für Regionalflugzeugen bei ca. 35 % (Scholz 1999).

Tabelle 4.14 Längen von Frachträumen im Unterdeck der ARxxx-Familien

Flugzeug	Rumpf-länge	Frachtraum-volumen	Querschnitts-fläche	Länge Lv	Frachtraum-länge	Anteil an Rumpflänge
		m³	m²	m	m	%
AR084-4	25,50	13,656	1,512	2,50	10,03	39,33
AR096-4	27,80	15,160	1,512	2,50	11,06	39,78
AR112-4	30,70	16,915	1,512	2,50	12,28	40,00
AR090-5	24,60	14,408	1,822	2,50	8,85	35,97
AR110-5	27,60	16,915	1,822	2,50	10,29	37,28

Bei den in Tabelle 4.14 angegebenen Werten handelt es sich aufgrund der vorangegangenen Berechnungen, insbesondere der Ermittlung des erforderlichen Frachtraumvolumens, um Mindestwerte. Sollten bei der Rumpfauslegung die Voraussetzungen für eine Integration längerer Frachträume bestehen, ist dies natürlich möglich.

4.3.4 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der Frachtraumvarianten

Aufgrund der in Kapitel 4.3.1 erläuterten Nachteile, die unbegehbare Frachträume für die Flugzeugabfertigung mit sich bringen, sollten diese bei der Flugzeugkonstruktion nur als Notlösung angedacht werden. Dies führt zu einer Bevorzugung der begehbaren Frachträume für die zu entwickelnde Regionalflugzeugfamilie.

Die Wahl der Lage der Frachträume hängt unmittelbar von der Länge und dem Rumpfquerschnitt der Flugzeuge ab. Für Flugzeuge mit fünf Sitzplätzen pro Reihe eignet sich ein Frachtraum im Unterdeck aufgrund des großen Rumpfquerschnitts besser als ein Frachtraum auf dem Hauptdeck. Dies wurde in Kapitel 4.1.2 erläutert. Aus diesem Grund wird für die Flugzeuge der ARxxx-5-Familie festgelegt, dass der Frachtraum im Unterdeck liegen soll. Aufgrund der Konfiguration der Flugzeuge, die Ähnlichkeiten mit der Avro RJ85 bzw. RJ100 aufweist, besteht die Möglichkeit, dass die ARxxx-5 ohne Abfertigungs-equipment be- und entladen werden können.

Für Flugzeuge mit vier Sitzen pro Reihe sind hingegen Frachträume auf dem Hauptdeck besser geeignet. Dies ist in Kapitel 4.1.2 erläutert worden. Allerdings ergeben sich dadurch Probleme für den Gesamtentwurf des Flugzeugs. Insbesondere die AR112-4, die ohne Frachtraum eine Rumpflänge von 30,70 m hat, würde durch einen Frachtraum auf dem Hauptdeck eine Rumpflänge von 34,36 m erhalten (Bild 4.25). Dies kann zu Einschränkungen bei den Heckaufsetzwinkeln (Tail Strike Angle) führen. Diese Winkel werden zwischen dem belasteten bzw. unbelasteten Hauptfahrwerk und dem Flugzeugheck (siehe Bild 4.26) (Torenbeek 1988) gemessen. Je kleiner diese Winkel sind, desto geringer ist auch der Rotationswinkel beim Start des Flugzeugs, d.h. der Winkel, mit dem der Pilot das Flugzeug anstellt, um genügend Auftrieb für das Abheben zu erzeugen. Dies führt zwangsläufig zu einer längeren Startstrecke für das Flugzeug.

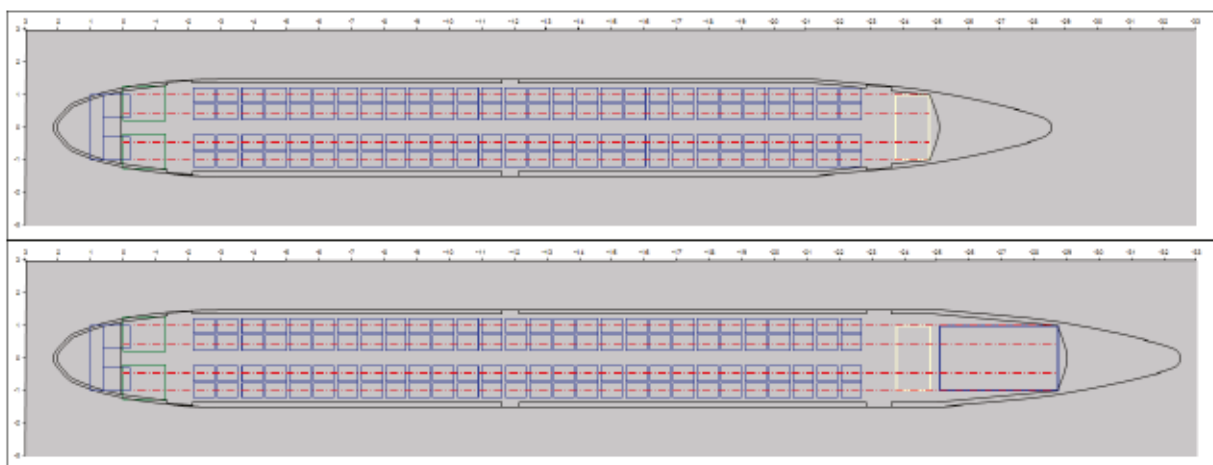


Bild 4.25 Kabinenlayout der AR112-4 mit und ohne Frachtraum auf dem Hauptdeck



Bild 4.26 Seitenansicht der E195 mit eingezeichneten Tail Strike Angles (nach Embraer 2012)

Nur wenige der in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge haben eine vergleichbare Rumpflänge. Lediglich die Bombardier Dash 8 Q400 hat bei entsprechender Rumpflänge bezüglich der Konfiguration der Tragflächen und Triebwerke Ähnlichkeit zu der hier untersuchten Regionalflugzeugfamilie. Die Q400 hat eine Rumpflänge von 31,04 m. Der Frachtraum dieses Flugzeugs liegt, wie aus Kapitel 3.2.5 bekannt, hinter der Passagierkabine. Der Problematik des Heckaufsetzwinkels wird unter anderem dadurch entgegen gewirkt, dass der Rumpf nicht horizontal auf dem Boden steht. Das Heck liegt höher als der Bug, wie man auf Bild 3.19 sehen kann. Dadurch ist der Frachtraum der Q400 allerdings nicht mehr ohne Hilfsmittel, wie z.B. einem Förderband, be- und entladbar. Dies widerspricht den Anforderungen, die im Kapitel 2 für eine Unabhängigkeit von Abfertigungsequipment definiert wurden. Es muss also für den Frachtraum der ARxxx-4-Familie eine andere Position gefunden werden. Eine Alternative dazu wäre, den Frachtraum zwischen Passagierkabine und Cockpit zu integrieren, so wie es bei der ATR42 und ATR72 der Fall ist. Dies ist allerdings unvorteilhaft, da gemäß Kapitel 4.3.2 ein Gang diesen Frachtraum teilen und die Gesamtlänge des Rumpfes dadurch noch weiter steigen würde, wie Tabelle 4.12 zu entnehmen ist. Auch eine Aufteilung der Frachträume auf zwei Bereiche, also zwischen Cockpit und Passagierkabine sowie zwischen Passagierkabine und hinterem Druckschott, ist nicht praktikabel, da es die Nachteile beider Varianten vereint, ohne Vorteile zu bieten. Für die ARxxx-04-Familie wird daher wie schon bei der ARxxx-05-Familie das Unterdeck für den Frachtraum gewählt. Dadurch bleibt die Länge des Rumpfes unverändert und entspricht weiterhin den Werten aus Tabelle 4.5. Die Cross Section muss an den Frachtraum im Unterdeck angepasst werden. Wie bei den Flugzeugen der ARxxx-5-Familie besteht durch einen Frachtraum im Unterdeck auch bei den Mitgliedern der ARxxx-4-Familie die Möglichkeit, die Be- und Entladung unabhängig von Abfertigungsequipment durchzuführen.

In diesem Kapitel wurde bewusst nicht auf die Möglichkeiten eines durchgängigen Frachtraums im Unterdeck eingegangen. Diese Variante von Unterdeckfrachträumen ist abhängig von weiteren Faktoren. Sie wird deshalb separat im nächsten Kapitel behandelt.

4.4 Möglichkeiten eines durchgängiger Frachtraums

Im letzten Kapitel wurde festgelegt, dass sowohl die Airbus ARxxx-5 als auch die ARxxx-4 Unterdeckfrachträume erhalten sollen. Bei den Passagierflugzeugen, die derzeit weltweit im Einsatz sind, sind die Unterdeckfrachträume unterbrochen. Das heißt, dass die Flugzeuge über zwei Frachträume verfügen, die durch den Fahrwerksschacht und ggf. den Flügelmittelkasten getrennt sind. Als Beispiel soll hier aufgrund der Ähnlichkeit der Konfiguration auf die Avro RJ85 bzw. RJ100 verwiesen werden (Kapitel 3.1.2). Ein durchgängiger Frachtraum verfügt über mindestens zwei Ladeluken, die sich idealtypisch am vorderen und hinteren Ende des Frachtraums befinden. Diese Frachtraumvariante kann durchaus als Innovation bezeichnet werden.

4.4.1 Vor- und Nachteile von durchgängigen Frachträumen

Durchgängige Frachträume bieten für die Flugzeugabfertigung einige Vorteile. So steht, bei gegebener Rumpflänge und gegebenem Rumpfquerschnitt, mehr Frachtraumvolumen als bei getrennten Frachträumen zur Verfügung. Zudem wäre eine Beschleunigung der Ladevorgänge möglich, wenn eine simultane Be- und Entladung an beiden Ladeluken erfolgt. Beispielsweise kann der Frachtraum durch die vordere Ladeluke entladen werden, während er durch die hintere Ladeluke beladen wird (Bild 4.27). Dadurch würden die Rüstzeiten entfallen, die derzeit bei getrennten Frachträumen zwischen den Vorgängen der Entladung und der Beladung entstehen. Innerhalb der Rüstzeit wird der Wechsel zwischen Entlade- und Beladevorgang durchgeführt. Dazu zählt, dass die Trolleys mit der Ausladung entfernt und die Trolleys mit der Zuladung an das Flugzeug gezogen werden. Gegebenenfalls muss auch die Höhe des Förderbandes angepasst werden. Für diese Rüstzeiten können ca. 3:00 min kalkuliert werden.

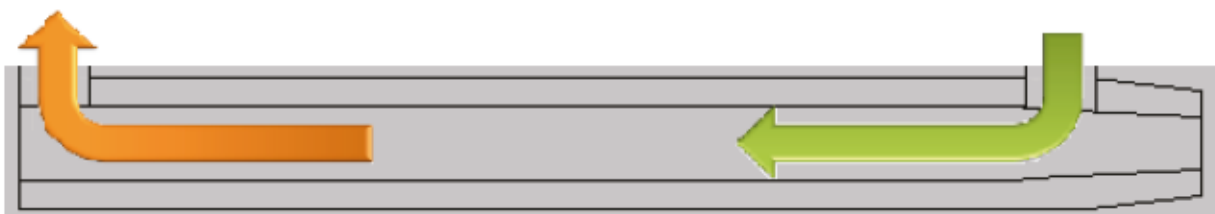


Bild 4.27 Draufsicht auf einen durchgängigen Frachtraum

Um die genannten Vorteile bezüglich einer schnelleren Be- und Entladung allerdings effektiv nutzen zu können, sind weitere Systeme erforderlich. Für Frachträume, die, wie für diese Flugzeugfamilie gefordert, für Handbeladung vorgesehen sind, wäre z.B. ein beweglicher Boden vorteilhaft. Dieser könnte ähnlich wie das Sliding Carpet Loading System (Bild 4.28) des Herstellers Telair International (Telair 2012) gestaltet sein. Bei einem Verzicht auf ein solches System würde ein durchgängiger Frachtraum für die Flugzeugabfertigung kaum noch

Vorteile bieten. Die Be- und Entladung würde dadurch sogar komplizierter werden, da der Abstand zwischen den Ladeluken zu groß wäre. Dadurch müssten zusätzliche Lader im Frachtraum arbeiten, um die Ladungsstücke hinein bzw. hinaus zu bewegen (Ottermann 2012). Dies würde sich negativ auf die Zeit der Ladevorgänge wie auch die Kosten der Flugzeugabfertigung auswirken.



Bild 4.28 Sliding Carpet System (Telair 2012)

Durchgängige Frachträume mit einem beweglichen Boden sind für die Flugzeugabfertigung grundsätzlich nicht nachteilig.

Die Vorteile beschränken sich auf das zusätzliche Frachtraumvolumen und die Einsparung der Rüstzeit. Eine Personaleinsparung ist durch diese Frachtraumvariante nicht gegeben. Unabhängig davon, ob der Frachtraum durchgängig ist oder nicht, werden pro Ladeluke zwei Lader benötigt. Von diesen arbeitet jeweils einer innerhalb und einer außerhalb des Frachtraums, d.h. zwischen Ladeluke und Trolley (Bei entsprechend hoher Schwellenhöhe befindet sich der zweite Lader zwischen Förderband und Trolley, (Ottermann 2012)).

4.4.2 Auswahl der Frachtraumvariante 1

Wählt man für die Airbus ARxxx-Familie die in diesem Kapitel beschriebene Frachtraumvariante, so muss der Unterbringungsort des Fahrwerks eruiert werden. Dies geschieht im nächsten Kapitel. Anschließend kann eine Entscheidung darüber getroffen werden, ob der Frachtraum durchgängig oder unterbrochen gestaltet wird.

4.5 Lage und Art des Fahrwerks

Wie bereits im letzten Kapitel erläutert, ist die Lage bzw. Art des Fahrwerks für die Gestaltung des Frachtraums von großer Bedeutung. In diesem Kapitel wird insbesondere auf Fahrwerke für Flugzeuge mit Schulterdeckerkonfiguration eingegangen, da die Airbus ARxxx-Familien dieser Konfiguration entsprechen.

4.5.1 Arten von Fahrwerken

Es gibt nach (Torenbeek 1988) drei verschiedene Varianten von Flugzeugfahrwerken, die an dieser Stelle kurz erklärt werden. Zum einen sind dies die Dreipunktfahrwerke mit einem Spornrad. Diese werden auch als Spornradfahrwerke bezeichnet. Bei dieser Variante befindet sich das Hauptfahrwerk vor den Tragflächen und ein kleines Spornrad am Flugzeugheck (Torenbeek 1988). Spornradfahrwerke werden heutzutage nur noch bei einigen Sportflugzeugen oder Spezialflugzeugen verwendet, wie z.B. der Pilatus Porter (Bild 4.29). Für die Flugzeugabfertigung sind diese Fahrwerke jedoch nachteilig, da der Rumpf des Flugzeugs am Boden nicht waagrecht ist. Die Be- und Entladung wird dadurch erschwert.



Bild 4.29 Pilatus PC-6 Porter mit Spornradfahrwerk (Wikipedia 2012a)

Eine weitere Art der Fahrwerke ist das Tandemfahrwerk. Bei dieser Variante befinden sich zwei Fahrwerke hintereinander im Rumpf. Zur Stabilisation sind zusätzliche Stützfahrwerke unter den Tragflächen oder den Triebwerken installiert (Torenbeek 1988). Tandemfahrwerke sind vor allem im militärischen Bereich verbreitet. Ein Beispiel hierfür ist die in Bild 4.30 dargestellte McDonnell Douglas AV-8B Harrier II. Es handelt sich hierbei um ein einstrahliges Kampfflugzeug, das senkrecht starten und landen kann. In der zivilen Verkehrsfliegerei gibt es kein Flugzeug mit einem solchen Fahrwerk.



Bild 4.30 McDonnell Douglas AV-8B Harrier II mit Tandemfahrwerk (Wikipedia 2012b)

Die bei zivilen Verkehrsflugzeugen am weitesten verbreitete Fahrwerksart ist das Dreipunktfahrwerk mit Bugfahrwerk, das auch als Bugradfahrwerk bezeichnet wird. Beispielhaft wird hier das Fahrwerk der Avro RJ85 gezeigt (Bild 4.31). Das Bugradfahrwerk hat beispielsweise den Vorteil einer Richtungsstabilität bei Start und Landung (Torenbeek 1988). Darüber hinaus ist dieses Fahrwerk für die Flugzeugabfertigung vorteilhaft, da der Rumpf nahezu in einer waagerechten Lage liegt, was die Be- und Entladung vereinfacht und somit beschleunigt.



Bild 4.31 Avro RJ85 mit Bugradfahrwerk (Wikipedia 2012c)

Die Airbus ARxxx-Familien werden, wie bei Flugzeugen dieser Größenordnung üblich, mit einem Bugradfahrwerk ausgerüstet. Dieses wird als Einziehfahrwerk ausgelegt, was bei modernen Verkehrsflugzeugen ebenfalls üblich ist, um den Widerstand im Flug zu reduzieren. Die Lage des Bugfahrwerks steht weitestgehend fest und hat keinen Einfluss auf die

Flugzeugabfertigung bzw. den Frachtraum. Die Lage des Hauptfahrwerks bedarf hingegen einer etwas genaueren Betrachtung.

4.5.2 Lage des Hauptfahrwerks

Es gibt für Flugzeuge in Schulterdeckerkonfiguration verschiedene Anbringungsorte für das Hauptfahrwerk. Eine Variante wurde bereits bei der Avro RJ100 in Bild 4.31 gezeigt. Fahrwerke in dieser Lage werden als Rumpffahrwerk bezeichnet und bieten einige Vorteile. So kann das Fahrwerk nahezu vollständig im Rumpf verstaut werden, was zu einer besseren Aerodynamik und somit zu geringerem Widerstand im Flug führt. Bei kleineren Rumpffquerschnitten, wie es beispielsweise bei der ATR72 der Fall ist, wird aufgrund des geringen Stauraums unter der Passagierkabine zusätzlicher Platz für das Einziehfahrwerk benötigt. Dies wird durch eine aerodynamisch optimierte Rumpfverkleidung (Belly Fairing) realisiert, die zusätzlich Platz für einige Flugzeugsysteme bietet (Bild 4.32). Ein Vorteil von Rumpffahrwerken ist, dass sie sehr kurz ausgelegt werden können. Dies hat einen positiven Einfluss auf das Gewicht des Fahrwerks.



Bild 4.32 ATR72 mit konventionellem Rumpffahrwerk (Wikipedia 2012d)

Die erläuterte Form des Rumpffahrwerks hat allerdings auch einen entscheidenden Nachteil. Da es im Flug im Rumpf unterhalb der Passagierkabine verstaut wird, verhindert es, dass die Unterdeckfrachträume durchgängig ausgelegt werden können.

Eine mögliche Alternative kommt aus dem militärischen Bereich und wird häufig bei Transportflugzeugen verwendet. Bei dieser Variante wird das Fahrwerk nicht nach innen eingefahren, sondern nach hinten oder vorne. Die Räder liegen aus diesem Grund in einer Tandemanordnung hintereinander. Die Abbildung (Bild 4.33) zeigt ein solches Fahrwerk beispielhaft an einem Airbus CN235. Diese Variante, die als ausgelagertes Rumpffahrwerk

bezeichnet werden kann, hat dieselben Vorteile wie das zuvor vorgestellte Rumpffahrwerk. Zusätzlich ist mit dieser Fahrwerksintegration aber ein durchgängiger Frachtraum möglich. Nachteilig an dieser Variante ist, dass für ein solches Fahrwerk eine entsprechend große Rumpfverkleidung benötigt wird. Diese leistet einen negativen Beitrag zum Gesamtwiderstand und Gewicht des Flugzeugs.



Bild 4.33 Airbus CN235 mit ausgelagertem Rumpffahrwerk (Wikipedia 2012e)

Alternativ zum Rumpffahrwerk kann das Hauptfahrwerk auch an anderer Stelle installiert werden. Bei der Bombardier Dash 8 Q400, die in Bild 4.34 abgebildet ist, ist das Hauptfahrwerk in der Triebwerksverkleidung integriert. Dies bietet neben allgemeinen Vorteilen wie einer Reduzierung des Wurzelbiegemoments der Tragflächen (Seibel 2009) auch einen positiven Effekt für die Flugzeugabfertigung. Durch diese Variante sind keine baulichen Maßnahmen für die Hauptfahrwerksunterbringung bzw. Verkleidung am Rumpf nötig. Dadurch ist ein durchgängiger Frachtraum realisierbar.



Bild 4.34 Bombardier Dash 8 Q400 mit in Triebwerksverkleidung integriertem Hauptfahrwerk (Wikipedia 2012f)

Auch die Fahrwerksintegration in den Triebwerksgondeln hat neben allgemeinen Nachteilen, wie z.B. den längeren Fahrwerksstreben, dem dadurch erzeugten höheren Gewicht sowie den größeren Triebwerksgondeln, negative Auswirkungen auf die Flugzeugabfertigung. Dies betrifft die Kompatibilität zu Flughäfen. Diese werden von der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization, ICAO) in definierte Kategorien unterteilt, den sogenannten Flughafen Referenz Code (Aerodrome Reference Code). Diese bestehen aus Kennzahlen (1-4) und Kennbuchstaben (A-F). Die Kennzahlen geben die Länge der verfügbaren Start- bzw. Landebahn an. Den Kennbuchstaben ist hingegen zu entnehmen, für welche Flügelspannweiten und welchen Abstand der äußersten Fahrwerksräder der jeweilige Flughafen zugelassen ist (Klußmann 2007). In Tabelle 4.15 sind die Kennbuchstaben und die dazugehörigen Werte für Spannweite bzw. Abstand der äußersten Fahrwerksräder dargestellt.

Tabelle 4.15 Parameter für ICAO Aerodrome Reference Code (ICAO 1999)

Kennbuchstabe	Spannweite Tragflächen	Abstand der äußersten Räder
	m	m
A	$x < 15$	$x < 4,5$
B	$15 = x < 24$	$4,5 = x < 6$
C	$24 = x < 36$	$6 = x < 9$
D	$36 = x < 52$	$9 = x < 14$
E	$52 = x < 65$	$9 = x < 14$
F	$65 = x < 80$	$14 = x < 16$

Fast alle im Kapitel 3 untersuchten Flugzeuge erreichen aufgrund ihrer Spannweite bzw. ihrer Spurweite (aus Ermangelung an Werten für den maximalen Abstand der äußeren Fahrwerksräder wurde auf die Spurweite zurückgegriffen) die Kategorie C, die Bombardier CRJ100, CRJ200 und CRJ700 sowie die Embraer ERJ145 werden sogar in die Kategorie B eingeordnet. Das Erlangen eines möglichst niedrigen Aerodrome Reference Code ist grundsätzlich anzustreben. Dadurch können die Flugzeuge auf vielen Flughäfen weltweit eingesetzt werden, wodurch sich die Absatzchancen auf dem Markt erhöhen (Airbus 2004).

Die Spannweite der Regionalflugzeugfamilie, die in dieser Arbeit untersucht wird, liegt im Bereich zwischen 24,00 m und 35,99 m. Es wird daher angestrebt, dass der Abstand der äußersten Fahrwerksräder unterhalb von 9,00 m liegt und die Flugzeuge somit in den Aerodrome Reference Code C eingeordnet werden können.

4.5.3 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der Fahrwerksvarianten

An dieser Stelle werden die jeweiligen Vor- bzw. Nachteile der erläuterten Fahrwerksvarianten aufgeführt. Dem Kapitel 4.5.1 ist zu entnehmen, dass die hier untersuchte

Regionalflugzeugfamilie mit einem Dreipunktfahrwerk mit Bugrad ausgerüstet werden soll. Dieses soll als Einziehfahrwerk ausgelegt werden. Für die Fahrwerksintegration des Hauptfahrwerks gibt es nach Kapitel 4.5.2 drei verschiedenen Varianten. Die Vor- und Nachteile dieser bezüglich der Flugzeugabfertigung werden in Tabelle 4.16 dargestellt.

Tabelle 4.16 Vor- und Nachteile der verschiedenen Hauptfahrwerksvarianten

	Konventionelles Rumpffahrwerk	Ausgelagertes Rumpffahrwerk	Fahrwerk an Triebwerksgondel
Vorteile	Aerodynamik Gewicht	durchgängiger Frachtraum möglich	durchgängiger Frachtraum möglich
Nachteile	kein durchgängiger Frachtraum möglich	Gewicht Aerodynamik	Gewicht Abstand der äußeren Fahrwerksräder < 9 m

4.5.4 Auswahl der Fahrwerksvariante und Auswahl der Frachtraumvariante 2

Wie im Kapitel 4.4.2 erläutert, hängt die Auswahl der Frachtraumvariante von der Auswahl der Fahrwerksvariante ab.

Die Airbus ARxxx-Familie soll, wie bereits bekannt, mit zwei Turboproptriebwerken angetrieben werden, die an den Tragflächen installiert sind. Als Vergleichsflugzeug bietet sich an dieser Stelle die Bombardier Dash 8 Q400 an, die eine identische Konfiguration aufweist. Bei der Q400 unterschreitet der Abstand der äußeren Hauptfahrwerksräder knapp die für den Aerodrome Reference Code C geforderten 9,00 m (Tabelle 3.20). Die Q400 haben einen Propellerdurchmesser von 4,11 m und der Mindestabstand zwischen Propeller und Rumpf beträgt 1,10 m (Bombardier 1999). Bei den Flugzeugen der ARxxx-Familien wird ein identischer Abstand zwischen Propeller und Rumpf gewählt. Da die Flugzeuge der ARxxx-Familien größer und schwerer sind als die Q400 ist auch ein größerer Propeller erforderlich. Es wird angenommen, dass der Propellerdurchmesser 4,45 m beträgt. Dadurch übersteigt die der Abstand der äußeren Fahrwerksräder die Grenze von 9,00 m. Allein die Spurweite misst bei der ARxxx-4-Familie 9,38 m (Bild 4.35). Bei der ARxxx-5-Familie beträgt die Spurweite 9,98 m (Bild 4.36). Beide Flugzeugvarianten würden daher den Aerodrome Reference Code D erhalten, womit sie in einer Klasse mit Flugzeugen wie z.B. der Boeing B767 stehen würden (Jane's 2012). Aus diesem Grund scheidet die Variante, des in den Triebwerksgondeln integrierten Fahrwerks, aus dem Auswahlverfahren aus.

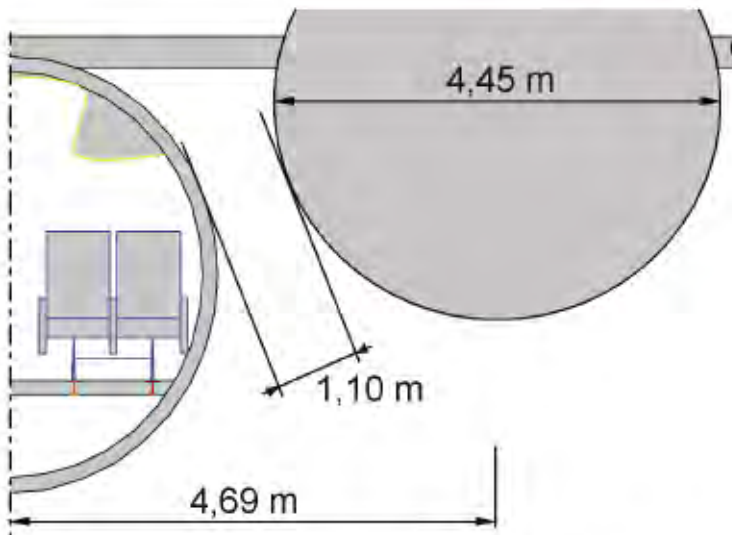


Bild 4.35 Lage und Maße des Propellers bei der ARxxx-4-Familie

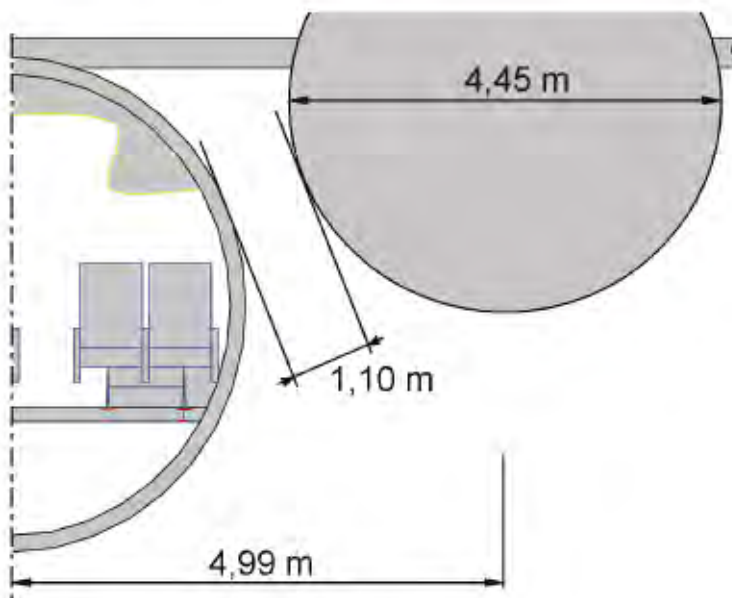


Bild 4.36 Lage und Maße des Propellers bei der ARxxx-5-Familie

Es muss nun zwischen den beiden verbleibenden Hauptfahrwerksvarianten, dem Rumpffahrwerk und dem ausgelagerten Rumpffahrwerk, gewählt werden. Die in Tabelle 4.16 dargestellten Vor- und Nachteile beider Varianten können mit den Informationen über durchgängige Frachträume aus Kapitel 4.4.1 ergänzt werden. In Tabelle 4.17 sind die daraus resultierenden Vorteile gegenübergestellt.

Tabelle 4.17 Gegenüberstellung der Vorteile beider Rumpffahrwerksvarianten

	Konventionelles Rumpffahrwerk	Ausgelagertes Rumpffahrwerk
Vorteile	bessere Aerodynamik weniger Gewicht	zusätzliches Frachtraumvolumen 3 Minuten schneller Be- und Entladung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Abfertigungskosten für eine Regionalflugzeugfamilie möglichst gering zu halten. Dies soll jedoch nicht um jeden Preis geschehen. Für das minimale Frachtraumvolumen wird, je nach Variante des ARxxx, 35,97 % bis 40,00 % der Rumpflänge benötigt (Tabelle 4.14). Dies ist zweifellos auch ohne durchgängigen Frachtraum zu erreichen. Der Frachtraum wäre überdimensioniert, sollte die Wahl auf die durchgängige Variante fallen. Die Einsparung der Rüstzeit von ca. 3:00 min innerhalb der Be- und Entladung ist marginal. Zudem gilt es nicht als sicher, dass die Ladevorgänge auf dem kritischen Pfad der Flugzeugabfertigung liegen. Ein ausgelagertes Rumpffahrwerk würde zu einer massiven Gewichtssteigerung und einer Verschlechterung der Aerodynamik des gesamten Flugzeugs führen. Die Gewichtssteigerung besteht dabei aus dem Gewicht der Verkleidung, der komplizierteren Lasteinleitung in den Rumpf sowie aus dem zusätzlich erforderlichen Ladesystem im Frachtraum. Die direkte Gegenüberstellung beider Hauptfahrwerksvarianten verdeutlicht, dass ein konventionelles Rumpffahrwerk für den Gesamtentwurf des ARxxx die bessere Wahl ist. Es wird also festgelegt, dass die Flugzeuge der ARxxx-Familien ein konventionelles Rumpffahrwerk sowie einen getrennten Frachtraum erhalten.

4.6 Zugänglichkeit der Ladeluken

Die Durchführung einer reibungslosen Flugzeugabfertigung ist von der Lage der Passagier- und Servicetüren, der Serviceklappen und der Ladeluken abhängig. Die Lage der Passagiertüren steht durch das Kabinenlayout weitestgehend fest. Die Lage der Serviceklappen, die z.B. für die externe Energieversorgung, den Frischwasserservice und den Abwasserservice benötigt werden, lässt sich in gewissen Grenzen flexibel arrangieren. Dementsprechend ist die Anordnung der Ladeluken der verbleibende Punkt, der Potential für eine Optimierung bietet.

4.6.1 Allgemeine Anforderungen an Ladeluken

Normalerweise befinden sich die Ladeluken von Unterdeckfrachträumen auf der rechten Rumpfseite. Der Grund hierfür ist, dass die Türen, über welche die Passagiere die Kabine betreten bzw. verlassen, traditionell auf der linken Rumpfseite angeordnet sind. Diese Rumpfseite ist demnach für die Fluggastbrücken, Fluggasttreppen und die Passagierbusse reserviert. Auch die Flughafeninfrastruktur ist daran angepasst, wie an der Positionierung der Fluggastbrücken zu erkennen ist. Auch bei den ARxxx sollen die Ladeluken in die rechte Rumpfseite integriert werden, damit eine Kompatibilität zur bestehenden Flughafeninfrastruktur erreicht wird.

Die Mindestbreite für Ladeluken liegt bei ca. 0,90 m (Ottermann 2012). Durch diese Breite wird es einem Lader ermöglicht, einen durchschnittlichen Koffer seitlich an sich vorbeizuführen. Bei größeren Gepäck- bzw. Frachtstücken muss dies jedoch anders bewerkstelligt werden. Wählt man eine größere Breite, so wird die Be- und Entladung vereinfacht und somit auch beschleunigt. Die Ladeluken der in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge haben eine Breite von 0,60 m (ATP) bis 1,53 m (ATR 42). Die meisten Ladeluken haben jedoch eine Breite von ca. 1,00 m. Die Ladeluken der ARxxx sollten ebenfalls eine Breite von 1,00 m haben, dies liegt über dem Minimum von 0,90 m und ermöglicht so eine schnellere Be- und Entladung und mehr Flexibilität bei der Größe der Ladungsstücke.

4.6.2 Anforderungen bezüglich der Sicherheit

Airbus definiert in einem Dokument die Anordnung aller für die Flugzeugabfertigung relevanten Türen, Luken und Öffnungen. Dieses Dokument wird als ABD0065 - Ramp Compatibility, Ground Handling/Servicing (Airbus 2004) bezeichnet. Im Folgenden wird näher auf die für diese Arbeit relevanten Abschnitte der ABD0065 eingegangen.

Die Passagiertüren, Servicetüren und Ladeluken sollten so im Flugzeug positioniert sein, dass Personenschäden und materielle Schäden vermieden werden. Des Weiteren sollen sich die verschiedenen Abfertigungsprozesse nicht gegenseitig behindern. Dafür ist es notwendig, dass der Abstand zwischen der Struktur des Flugzeugs und dem Abfertigungsequipment sowie der Abstand zwischen dem Abfertigungsequipment selbst genügend groß gewählt wird. Es ist auch dafür zu sorgen, dass das Abfertigungsequipment zu den Türen bzw. Ladeluken gesteuert und von diesen wieder entfernt werden kann. Es muss sichergestellt werden, dass zum Arbeiten genügend Platz zwischen dem Abfertigungsequipment zur Verfügung steht. Dies gilt auch für die Bereiche um die Serviceöffnungen (Airbus 2004).

Um Schäden am Flugzeug durch Abfertigungsequipment zu vermeiden, sollte der laterale Abstand zwischen dem Abfertigungsequipment zu Flugzeugkomponenten wie Tragflächen, Höhenleitwerken, Triebwerksverkleidungen, Landeklappenschienenvorrichtungen und Rumpfverkleidungen 1,00 m nicht unterschreiten (Airbus 2004).

Der Mindestabstand zwischen den einzelnen für die Flugzeugabfertigung relevanten Fahrzeugen sollte mindestens 0,50 m betragen. Dadurch wird sichergestellt, dass sich das Abfertigungsequipment nicht gegenseitig behindert und genügend Platz zum Manövrieren der Fahrzeuge vorhanden ist. Bei Fahrzeugen, die mit Seitenstützen ausgerüstet sind, wird dieser Abstand vom äußersten Punkt der Seitenstütze gemessen. Beispiele hierfür sind Catering-Fahrzeuge oder Passagiertreppen. Die Seitenspiegel lassen sich häufig einklappen und sind daher für diese Betrachtung irrelevant (Airbus 2004).

In Bild 4.37 und Bild 4.38 sind die Bereiche der unterschiedlichen Varianten der ARxxx-Familie, die sich gemäß den vorangegangenen Definitionen nicht für die Positionierung von Ladeluken eignen, farblich gekennzeichnet. Die Lage der Strukturteile der Flugzeuge wie z.B. Tragflächen, Höhenleitwerk und Rumpfverkleidung und die Lage des Propellers orientierten sich mit geringen Abweichungen an den bisherigen Originalentwürfen für eine neue Regionalflugzeugfamilie von Airbus. Die hier untersuchte Regionalflugzeugfamilie soll laut Aufgabenstellung ein T-Leitwerk haben. Das Höhenleitwerk ist bei einer solchen Konfiguration weit über dem Boden und dem Rumpf angebracht. Eine Behinderung bei der Positionierung der Türen und Ladeluken ist daher nicht gegeben. An den vorderen Servicetüren der Passagierkabine ist ein Catering-Fahrzeug positioniert. Die Positionierung erfolgt gemäß den Airbus-Vorschriften. Nach diesen muss die Türöffnung wie auch die zur Seite geöffnete Passagiertür durch die Hubbühne der Fahrzeuge abgedeckt sein (Airbus 2012b). Außerdem ist an der hinteren Servicetür ein Catering-Fahrzeug positioniert, obwohl sich an dieser Stelle laut den Anforderungen aus Kapitel 2.1.3 keine Galley befindet. Allerdings muss gewährleistet sein, dass an dieser Tür ebenfalls Servicefahrzeuge, beispielsweise Hubfahrzeuge für körperlich beeinträchtigte Personen, eingesetzt werden können. Diese Fahrzeuge haben eine mit Cateringfahrzeugen vergleichbare Breite.

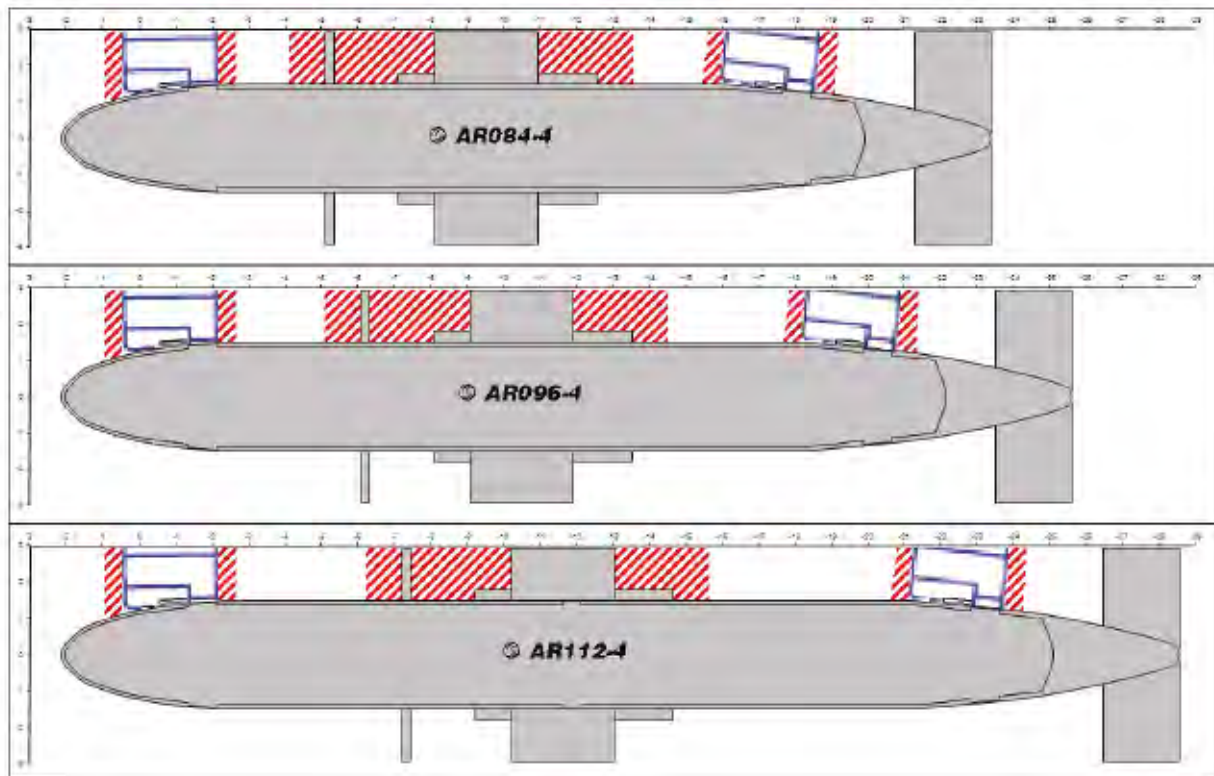


Bild 4.37 Für Frachtluken ungeeignete Bereiche (rot markiert) der ARxxx-4-Familie

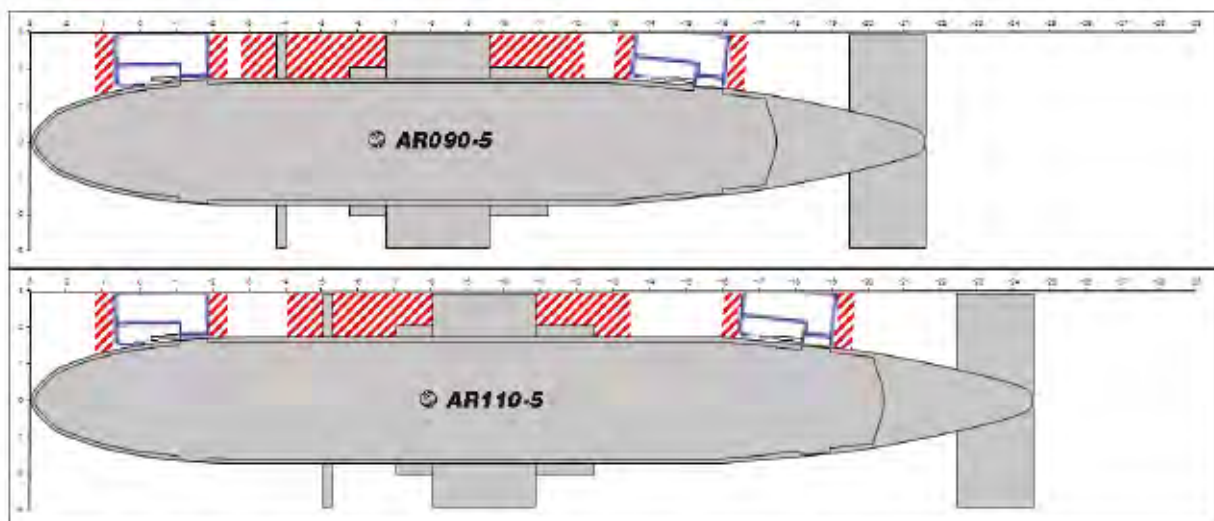


Bild 4.38 Für Frachtluken ungeeignete Bereiche (rot markiert) der ARxxx-5-Familie

Bei der Betrachtung der AR090-5, die in Bild 4.38 oben dargestellt ist, fällt auf, dass die verfügbaren Bereiche zwischen den Servicetüren und dem Propeller bzw. der Rumpfverkleidung zur Positionierung von Ladeluken nicht ausreichen. Da die Frachträume dennoch Ladeluken benötigen, muss bezüglich der in diesem Kapitel aufgeführten Definitionen ein Kompromiss gefunden werden. Da Schäden am Propeller oder der Rumpfverkleidung zu vermeiden sind, wird auf eine Verringerung des Sicherheitsabstandes zu diesen verzichtet. Stattdessen wird festgelegt, dass die Frachträume nur be- und entladen

werden können, wenn kein Fahrzeug an den Servicetüren angedockt ist. Dies gilt selbstverständlich auch umgekehrt.

4.6.3 Anforderungen für schnelle Be- und Entladung.

Frachträume, wie sie bei den Airbus ARxxx vorgesehen sind, werden aufgrund der geringen Schwellenhöhe ohne Abfertigungsequipment wie z.B. Förderbänder be- und entladen. Für die Ladetätigkeiten sind mindestens zwei Lader erforderlich. Ein Lader wird bei dieser Art der Frachträume außerhalb des Flugzeugs eingesetzt, um die Ladungsstücke zwischen Frachtraum und Trolley zu transferieren. Die Anzahl der im Frachtraum arbeitenden Lader ist variabel. Sie richtet sich nach der innerhalb des Frachtraums gemessenen Maximaldistanz zu der Ladeluke. Grundsätzlich gelten nach (Ottermann 2012) zwei Zusammenhänge. Ist diese Distanz kleiner als 2,50 m gilt der Zusammenhang:

$$n_{\text{Lader}}(l_{\text{max,Frachtraumluke}} \leq 2,5 \text{ m}) = 1 \quad (4.31)$$

Für längere Entfernungen zu der Ladeluke wird die Anzahl der erforderlichen Lader mit der folgenden Gleichung bestimmt:

$$n_{\text{Lader}} = \frac{l_{\text{max,Frachtraumluke}}}{2 \text{ m}} \quad (4.32)$$

Diese beiden Gleichungen beziehen sich allerdings auf Flugzeuge, die mit einem Förderband be- und entladen werden. Wie eingangs beschrieben, trifft dies jedoch nicht auf die Airbus ARxxx-Familien zu. Bei diesen Flugzeugen kann der außerhalb des Flugzeugs arbeitende Lader, aufgrund der geringen Schwellenhöhe der Ladeluke, direkt an dieser stehen. Er kann die Ladungsstücke von dieser Position aus in die Tiefe des Frachtraums hinein bewegen. Für diesen Fall kann die Annahme getroffen werden, dass der vor der Ladeluke arbeitende Lader mit den Ladungsstücken eine Entfernung von 1,00 m überwinden kann. Die maximale Distanz, die nach Gleichung (4.31) von einem einzelnen im Frachtraum arbeitenden Lader überwunden werden kann, wird somit auf 3,50 m gesteigert. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, innerhalb des Frachtraums die Maximaldistanz auf 3,50 m zu beschränken. Somit ließe sich die gesamte Be- und Entladung mit lediglich zwei Ladern durchführen. Dies bietet einige Vorteile. So kann die Flugzeugabfertigung durch die eingesparten Personalkosten kostengünstiger durchgeführt werden. Ein weiter Vorteil ist, dass die Ladungsstücke ihr Ziel schneller erreichen, da sie durch weniger Hände gehen.

In Bild 4.39 und Bild 4.40 sind die Ladeluken der unterschiedlichen Varianten der ARxxx-Familie auf Grundlage der in diesem Kapitel gesammelten Erkenntnisse positioniert. Dabei werden die im vorangegangenen Kapitel festgelegten Sicherheitsbereiche berücksichtigt. Die

vordere Abgrenzung des Frachtraums und die Unterbrechung in der Rumpfmittle sind mit hoher Genauigkeit den Originalentwürfen von Airbus entnommen. Der Bereich vor dem Frachtraum wird für die Unterbringung der Avionik sowie des Bugfahrwerks benötigt. Der Bereich zwischen vorderem und hinterem Frachtraum beherbergt das Hauptfahrwerk und Flugzeugsysteme wie z.B. die Klimageräte. Die hintere Beschränkung des hinteren Frachtraums wurde auf Basis der in Kapitel 4.3.3 ermittelten Mindestlänge des Frachtraums vorgenommen. Dabei wurde jeweils von den kurzen Versionen der beiden zur Auswahl stehenden Flugzeugfamilien, der AR084-4 und der AR090-5, ausgegangen. So wird sichergestellt, dass bei allen Flugzeugen das minimal erforderliche Frachtraumvolumen eingehalten wird. Die größeren Modelle der Familie haben dementsprechend ein größeres Frachtraumvolumen als in Kapitel 4.2.3 gefordert.

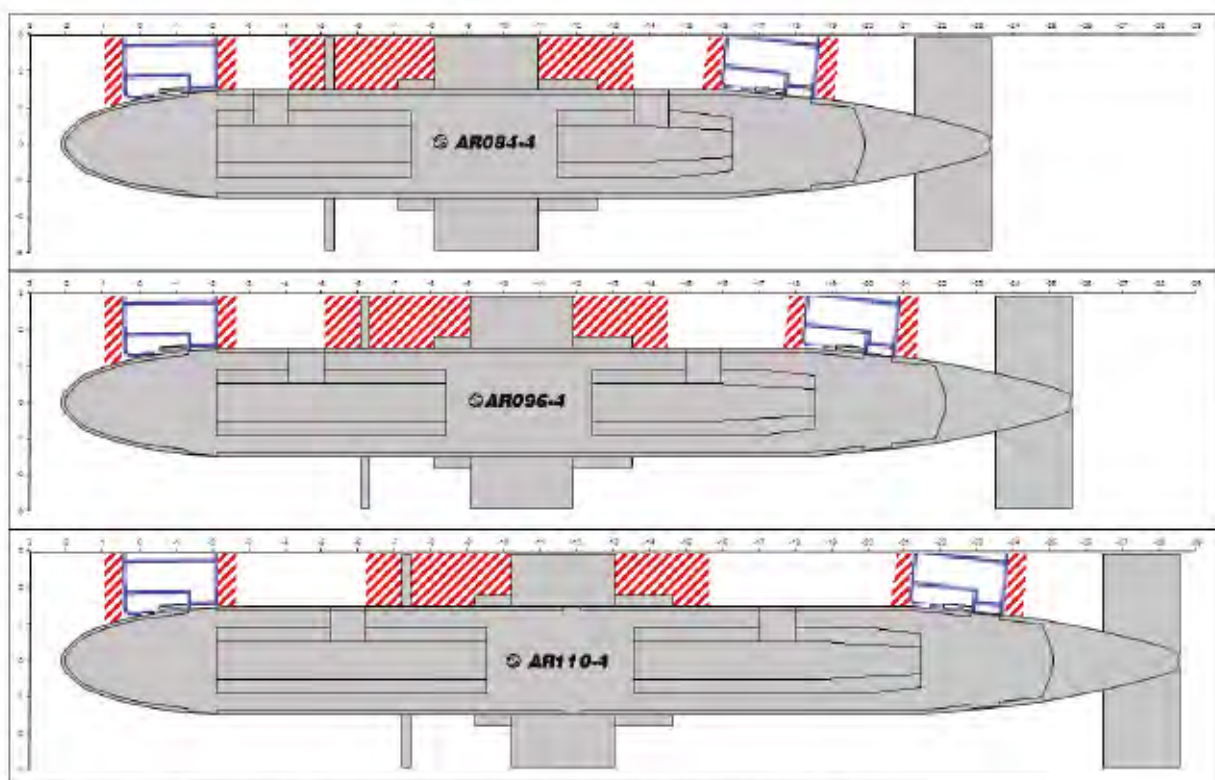


Bild 4.39 Optimale Positionierung der Ladeluken bei der ARxxx-4-Familie

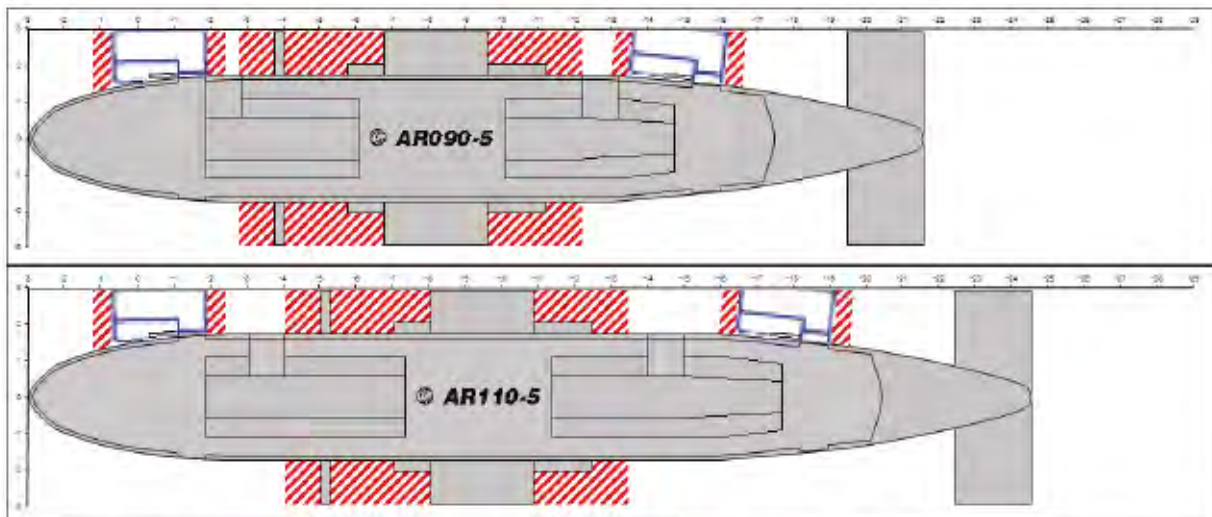


Bild 4.40 Optimale Positionierung der Ladeluken bei der ARxxx-5-Familie

4.6.4 Anforderungen an vertikale Parameter der Ladeluken

Die Mindesthöhe der Ladeluke sollte 0,90 m betragen (Ottermann 2012). Diese Höhe entspricht der in Kapitel 4.3.3 gewählten Höhe des Frachtraums der ARxxx. Grundsätzlich sollte die Ladeluke nicht niedriger als die Frachtraumhöhe sein, um kein Nadelöhr für hohe Ladestücke zu erzeugen. Geht man beispielsweise von einem Koffer mit einer Breite von 0,59 m wie beim Samsonite Aeris Comfort aus, so verbleiben 0,31 m um den Koffer seitlich, wie in Bild... dargestellt, in den Frachtraum zu manövrieren (Samsonite 2012). Koffer mit vergleichbaren Größen werden häufig von Passagieren genutzt, die längere Reisen unternehmen und somit die ARxxx als Zubringerflugzeuge nutzen würden.



Bild 4.41 Samsonite Aeris Comfort (Samsonite 2012)

Für die Gestaltung der Ladeluken gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Ladeluken können entweder geklappt oder geschoben werden. Auch für die Richtung, in die die Luken geöffnet werden, gibt es verschiedene Varianten. Sie können nach außen oder innen und nach oben,

unten oder zur Seite geöffnet werden. Die zwei gängigsten Varianten werden an dieser Stelle näher beschrieben.

Die erste Variante wird beispielsweise bei den Avro RJ85/RJ100 verwendet. Die Ladeluken dieser Flugzeuge werden nach innen und oben geöffnet. Diese Variante hat den Vorteil, dass der Öffnungs- bzw. Schließmechanismus der Ladeluke relativ einfach ausfallen kann. Die Ladeluke wird während des Flugs von dem in der Kabine vorherrschendem Überdruck nach außen in ihren Rahmen gedrückt, wodurch sie abgedichtet wird. Allerdings ist die verfügbare Höhe der Ladeluke durch diese Variante eingeschränkt, da die Luke den oberen Bereich blockiert. Insbesondere bei so geringen Frachtraumhöhen, wie sie für die ARxxx-Familien gewählt wurden, ist diese Variante der Ladeluken daher nicht empfehlenswert.

Alternativ dazu kann die Ladeluke nach außen und oben geöffnet werden. Diese Variante ermöglicht es, die Ladeluke an die Höhe des Frachtraums anzupassen. Zu finden ist diese Variante z.B. bei den Embraer E-Jets. Der Nachteil der nach außen öffnenden Ladeluken ist der kompliziertere Schließmechanismus. Dennoch ist diese Variante zu favorisieren, da sie, insbesondere bei geringen Frachtraumhöhen, bessere Voraussetzungen für die Flugzeugabfertigung bietet. Bei dieser Variante ist allerdings darauf zu achten, dass der Schließmechanismus die Flugzeugabfertigung nicht negativ beeinflusst. Hindernisse für die Ladestücke, die an der Ladeschwelle u.a. durch Bolzen entstehen können, sind ein Beispiel hierfür.

Bei Flugzeugen, deren Rumpf tief über dem Boden liegt, sollte die Oberkante der Ladeluke mindestens 1,80 m über dem Boden sein (Bild 4.42). Dadurch kann die Be- und Entladung ergonomisch und schnell durchgeführt werden. Flugzeuge wie die Avro RJ85 bzw. RJ100 und die Antonow An-148 haben in diesem Bereich erhebliche Defizite, was die Flugzeugabfertigung negativ beeinflusst.

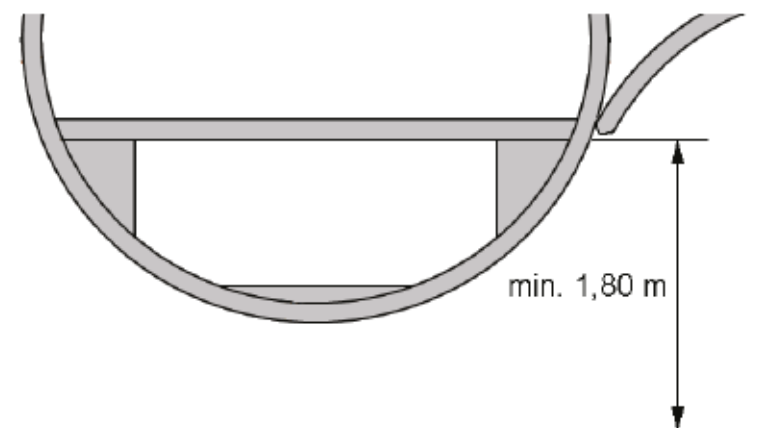


Bild 4.42 Mindestabstand zwischen Boden und Oberkante der Ladeluke

4.7 Kompatibilität mit Abfertigungsequipment

In diesem Kapitel soll die Kompatibilität der Airbus ARxxx-Familien mit den Abfertigungsfahrzeugen überprüft werden. Als Grundlage hierfür dient ein Abfertigungs-lageplan (Ramp Layout) aus dem Dokument Aircraft Characteristics Airport And Maintenance Planning des Airbus A320 (Airbus 2012c). Die Kompatibilitätsüberprüfung wird zweidimensional und visuell durchgeführt. Diese Methode gibt genügend Aufschluss darüber, ob das für eine reibungslose Flugzeugabfertigung erforderliche Equipment um das Flugzeug herum positioniert werden kann.

Nachfolgend ist eine Auswahl von Ramp Layouts der einzelnen Flugzeuge der beiden möglichen ARxxx-Familien dargestellt. Die hier nicht abgebildeten Ramp Layouts befinden sich im Anhang B. Die Bezeichnungen der einzelnen Fahrzeuge und Geräte sind der Tabelle 4.18 zu entnehmen.

Tabelle 4.18 Abkürzungen und Bezeichnungen für Ramp Layouts (Airbus2012c)

Abkürzung	Bezeichnung (Englisch)	Bezeichnung (Deutsch)
AC	Air Conditioning Unit	Bodenklimagerät
Bulk	Bulk Train	Schlepper mit Trolleys
CAT	Catering Truck	Cateringfahrzeug
Fuel	Fuel Hydrant Dispenser or Tanker	Tankfahrzeug
GPU	Ground Power Unit	Bodenstromgerät
LV	Lavatory Vehicle	Abwasserservicefahrzeug
PBB	Passenger Boarding Bridge	Fluggastbrücke
PS	Passenger Stairs	Fluggasttreppe
TOW	Tow Tractor	Flugzeugschlepper
WV	Potable Water Vehicle	Frishwasserservicefahrzeug

In Bild 4.43 ist das Ramp Layout der AR084-4, dem kleinsten Mitglied der Regionalflugzeugfamilie mit vier Sitzen pro Reihe, abgebildet. Da dieses Flugzeug die geringste Rumpflänge der Flugzeugfamilie hat, ist die Positionierung des Abfertigungsequipment hier am kritischsten. Dennoch wäre eine Abfertigung dieses Flugzeugs problemlos möglich.

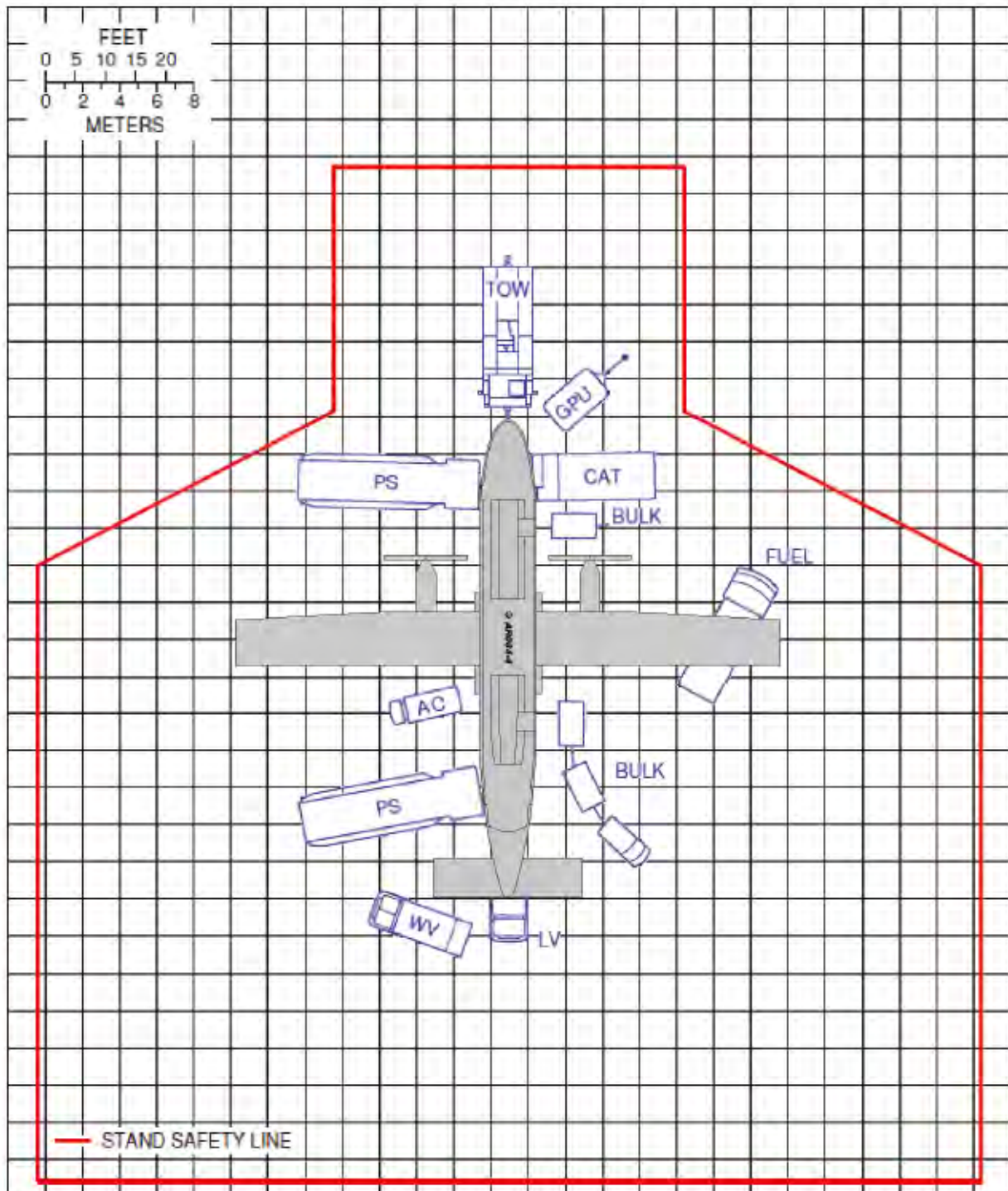


Bild 4.43 Ramp Layout des AR084-4

Ein zweites Ramp Layout ist in Bild 4.44 dargestellt. Darin ist die AR090-5, das kleinste Mitglied der Regionalflugzeugfamilie mit fünf Sitzen pro Reihe, abgebildet. Dieses Flugzeug ist insgesamt 0,90 m kürzer als die zuvor dargestellte AR084-4. Daraus ergibt sich, wie bereits in Kapitel 4.6.2 erwähnt, ein Problem bezüglich der Zugänglichkeit der vorderen Ladeluke. Die Versorgung der Galley kann nicht gleichzeitig mit den Ladevorgängen am vorderen Frachtraum durchgeführt werden.

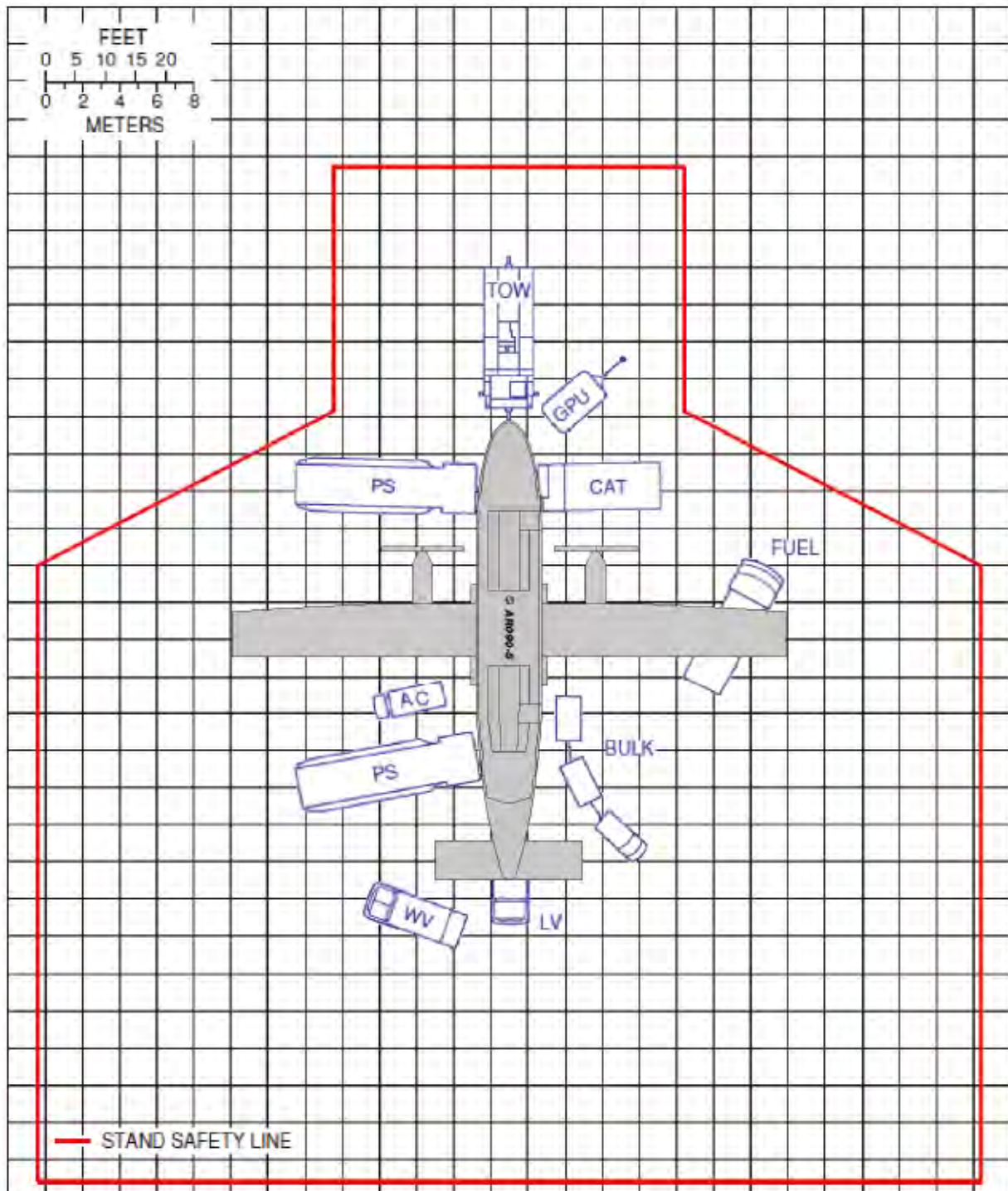


Bild 4.44 Ramp Layout des AR090-5

Da die AR090-5 das kürzeste Flugzeug dieser Untersuchung ist, wird an diesem stellvertretend für alle anderen Flugzeuge der beiden ARxxx-Familien eine weitere Überprüfung durchgeführt. In Bild 4.45 wird dargestellt, ob eine Kompatibilität zu den Fluggastbrücken besteht. Aufgrund des in Kapitel 4.6.2 geforderten Sicherheitsabstandes von mindestens 1,00 m zu Teilen der Flugzeugstruktur ist es möglich, eine Fluggastbrücke an die vordere Passagiertür anzudocken. Dies gilt entsprechend für alle Flugzeuge der beiden ARxxx-Familien.

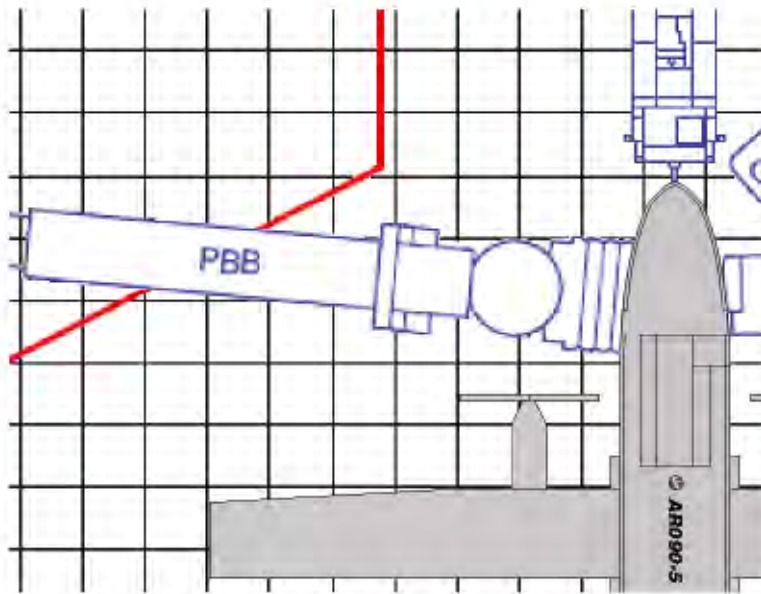


Bild 4.45 Positionierung der Fluggastbrücke an am AR090-5

5 Zusammenfassung

Diese Arbeit hatte zum Ziel, ein mögliches Konzept für eine Regionalflugzeugfamilie auszuarbeiten, die kompatibel zu bestehenden Prozessen der Flugzeugabfertigung ist.

Zunächst wurden zu Beginn der Arbeit Anforderungen definiert, die moderne Regionalflugzeuge bezüglich einer schnellen und kostengünstigen Flugzeugabfertigung erfüllen müssen. Anschließend erfolgte eine umfangreiche Untersuchung konkurrierender Regionalflugzeuge. Auf der Grundlage dieser Daten wurde eine Konzeptstudie für eine Regionalflugzeugfamilie ausgearbeitet. Zu Beginn dieser Studie konnte bezüglich der Bestuhlungsart keine klare Aussage getroffen werden. Beide möglichen Konzepte, d.h. vier Sitze bzw. fünf Sitze pro Reihe, bieten für die Flugzeugabfertigung einige Vor- und Nachteile. Aus diesem Grund wurden die weiteren Untersuchungen an beiden Flugzeugfamilien durchgeführt. Diese wurden im weiteren Verlauf als Airbus ARxxx-4 und ARxxx-5 bezeichnet. Über das erforderliche Frachtraumvolumen, das von der Art und Zusammensetzung der Passagiere sowie der erforderlichen Frachtmenge abhängig ist, konnte die Größe der Frachträume bestimmt werden. Für beide Flugzeugfamilien wurden Frachträume im Unterdeck gewählt, die zwar mit ihrer Höhe von 0,90 m nicht dem Optimum von 1,15 m bis 1,30 m entsprechen, aber dennoch gute Voraussetzungen für eine die Be- und Entladung bieten. Die Frachträume werden durch den Fahrwerksschacht unterbrochen, der ein konventionelles Rumpffahrwerk beherbergt. Die Anordnung der Frachträume und des Fahrwerks orientiert sich an bereits existierenden Flugzeugen, wie z.B. den Avro RJ85/RJ100, da diese gute Voraussetzungen für eine schnelle und kostengünstige Abfertigung bieten. Die Position der Ladeluken wurde nach den von Airbus definierten Anforderungen zur Vermeidung von Schäden am Flugzeug sowie den Erfordernissen für eine einfache und damit schnelle Be- und Entladung gewählt. Dabei wurde ersichtlich, dass insbesondere der kurze Rumpf der AR090-5 einige Schwierigkeiten für die Flugzeugabfertigung birgt. Von allen fünf Mitgliedern der beiden Regionalflugzeugfamilien kann die AR090-5 als einziges Flugzeug als inkompatibel für die Flugzeugabfertigung bezeichnet werden.

Die Entscheidung, ob eine Regionalflugzeugfamilie für 70 bis 110 Passagiere mit vier oder fünf Sitzen pro Reihe realisiert wird, ist von vielen Faktoren abhängig. Die Flugzeugabfertigung ist nur ein Element. Mit einigen Modifikationen, beispielsweise dem Verlegen der vorderen Servicetür könnte auch die AR090-5 für die Flugzeugabfertigung kompatibel gestaltet werden. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass für diese Flugzeuggrößen begehbare Frachträume im Unterdeck die beste Wahl sind. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass durchgängige Frachträume nicht für alle Flugzeuggrößen von Vorteil sind. Die in dieser Arbeit gesammelten Erkenntnisse über die Anforderungen an die Flugzeugabfertigung sowie die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten von Frachträumen und Ladeluken können in Zukunft bei der Realisierung von Flugzeugprojekten helfen.

6 Schlussbemerkung

Aufgrund eines starken Konkurrenzdruckes und steigender Betriebskosten, welche z.B. durch ansteigende Kerosinpreise oder Luftverkehrsabgaben verursacht werden, stehen viele Luftverkehrsunternehmen unter dem enormen Druck ihre Flugzeuge wirtschaftlicher zu betreiben. Neben einer besseren Treibstoffeffizienz wird daher auch die Bodenoperationen immer bedeutender. Aus Sicht der Flugzeugabfertigung bieten insbesondere Regionalflugzeuge noch Potential für eine Optimierung. Negativbeispiele wie die Fokker F70 bzw. F100 mit ihren sehr niedrigen und kleinen Frachträumen oder die relativ neuen Embraer E190 und E195, die über sehr lange Frachträume verfügen und mit Förderbändern abgefertigt werden müssen, bieten schlechte Voraussetzungen für die Flugzeugabfertigung. Bei neuen Flugzeugprojekten ist es daher elementar wichtig, Erfahrungen der Flugzeugabfertigung von Anfang an in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen.

Ich möchte dem gesamten Team Fuselage & Payload (EIXUC) der Future Projects Office für die Unterstützung danken, die ich während der Erstellung dieser Arbeit von ihnen erfahren habe. Insbesondere gilt mein Dank dabei meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Axel Dengler sowie Herrn Dipl.-Ing. Peter Theis, die mich stets durch interessante Diskussionen inspiriert haben und mir viele Fragen beantworten konnten.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die stets an mich geglaubt haben und mich dadurch bestärkt haben, meinen eigenen Weg zu gehen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin Sina, die mich während der Erstellung dieser Bachelorarbeit durchgehend unterstützt und motiviert und mir insbesondere bei der Korrektur der Arbeit sehr geholfen hat.

Literaturverzeichnis

- AHM 2012** IATA: *Airport Handling Manual (AHM) - 32nd edition*. Genf : IATA, 2012 (Elektronische Ausgabe)
- Aida 2012** AIDA Development GmbH: *Foldable Passenger Seat*, 2012. - URL: http://www.aida-development.de/en/projects_passenger_seat (20.08.2012)
- Airbus 2004** Airbus S.A.S.: *Ramp Compatibility, Ground Handling/Servicing*. Toulouse : Airbus S.A.S., 2004 (ABD0065). – Airbus S.A.S., 1, Rond Point Maurice Bellonte, 31707 Blagnac Cedex, France
- Airbus 2012a** Airbus S.A.S.: *Interne Report*. Toulouse : Airbus S.A.S., 2012. – Airbus S.A.S., 1, Rond Point Maurice Bellonte, 31707 Blagnac Cedex, France
- Airbus 2012b** Airbus S.A.S.: *Drawing Aircraft Ramp Layouts*. Toulouse : Airbus S.A.S., 2012 (M20087). – Airbus S.A.S., 1, Rond Point Maurice Bellonte, 31707 Blagnac Cedex, France
- Airbus 2012c** Airbus S.A.S.: *Airplane Characteristics Maintenance And Airport Planning - A320*, 2012. – URL: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A320-Jun2012.pdf (2012-08-25)
- ATR 2012** ATR: *600 Series Interiors*, 2012. – URL: <http://www.atraircraft.com/mediagallery/pictures-33-album-20.html> (2012-08-20)
- Berdowski 2009** BERDOWSKI, Z.; VAN DEN BROEK-SERLÉ, F.N.; JETTEN, J.T.; KAWABATA, Y.; SCHOEMAKER, J.T.; VERSTEEGH, R.: *Survey on standard weights of passengers and baggage – Final report*, 2009. – URL: <http://www.easa.europa.eu/rulemaking/docs/research/Weight%20Survey%20R20090095%20Final.pdf> (2012-08-22)
- Bräunling 2009** BRÄUNLING, Willy J.G.: *Flugzeugtriebwerke*. Heidelberg : Springer, 2009
- Bombardier 2005** Bombardier Inc.: *Airport Planning Manual - Model CL600-2D24/CL600-2D15*, Downsview : Bombardier, 2005

- Bombardier 1999** Bombardier Inc.: *Airport Planning Manual Series 400*, Downsview : Bombardier, 1999
- Dengler 2012** DENGLER, Axel; THEIS, Peter : Passagierabfertigung : Informationsgespräch über Boarding/Deplaning-Prozesse, Airbus Operations GmbH, Hamburg, 2012-06-20
- Direct 2012** Direct Air Flow: *Atlas full size reduced weight trolley*. - URL: <http://www.directaviation.aero/direct-air-flow/manufactured-equipment/new-trolleys> (2012-08-20)
- Dyszluk 2007** DYSZLUK, Thomas: *Projekt - Die Nutzlast ziviler Transportflugzeuge*. Hamburg : Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, 2007. - URL: <http://bibliothek.ProfScholz.de> (2012-08-23)
- Embraer 2012** Embraer S.A.: *Airport Planning Manual Embraer 195*, 2012. - URL: <http://www.embraercommercialjets.com/img/apm/11.pdf> (2012-08-25)
- FAA 2009** Federal Aviation Administration: *Carry-On Baggage Tips*, 2009. - URL: http://www.faa.gov/passengers/prepare_fly/baggage/ (2012-08-21)
- FAA 2012a** Federal Aviation Administration: FAR Part 25 - Section 807, 2012. - URL: http://www.flightsimaviation.com/data/FARS/part_25-807.html (2012-08-20)
- FAA 2012b** Federal Aviation Administration: FAR Part 25 - Section 817, 2012. - URL: http://www.flightsimaviation.com/data/FARS/part_25-817.html (2012-08-20)
- First Global 2012** First Global Logistics: *Cargo Containers*, 2012. - URL: <http://www.firstgloballogistics.co.nz/cargo.html> (2012-05-22)
- Hamburg 2012** Flughafen Hamburg GmbH: *APU-Sheriff*, 2012. - URL: http://www.airport.de/de/u_umwelt_apu_sheriff.html (2012-08-20)
- ICAO 1999** International Civil Aviation Organization: *Aerodrome Standards*, 1999. - URL: <http://legacy.icao.int/fsix/Library%5CManual%20Aerodrome%20Standards.pdf> (2012-08-22)

- Jane's 2012** IHS: *Jane's All The Worlds's Aircraft 2012-13*. London : Janes Information Group, 2012 (Elektronische Ausgabe)
- Klußmann 2007** KLUßMANN, Nils; MALIK, Arnim: *Lexikon der Luftfahrt*. Berlin : Springer, 2007
- Knorr 2005** KNORR, Werner: *Anforderungen an Regionalflugzeuge zur Verbindung der Regionen in Europa*, 2005. - URL: http://www.akl-tu-darmstadt.de/media/arbeitskreis_luftverkehr/downloads_6/kolloquien/12kolloquium/knorranforderungenanregionalflugzeugezurverbindungderregionenineuropa.pdf (2012-06-20)
- Lufthansa 2012a** Lufthansa AG: *Lufthansa Group Route Map*, 2012. - URL: [http://lufthansa.innosked.com/\(S\(0ecjx145grcwn3r4v441m055\)\)/Default.aspx?lang_id=en&country=uk](http://lufthansa.innosked.com/(S(0ecjx145grcwn3r4v441m055))/Default.aspx?lang_id=en&country=uk) (2012-07-30)
- Lufthansa 2012b** Lufthansa AG: *Handgepäck*, 2012. - URL: <http://www.lufthansa.com/de/de/Handgepaeck#ancAbT0> (2012-08-21)
- Montarnal 2012** MONTARNAL, Philippe; SEECKT, Kolja; SCHOLZ, Dieter; NÚÑEZ, Lucía: *PreSTo-Cabin*, 2012. - URL: <http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/PreSTo.html> (2012-08-10)
- Ottermann 2012** OTTERMANN, Hartwig: *Projekt – Analyse von Ladevorgängen als Bestandteil der Flugzeugabfertigung*. Hamburg : Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, 2012. - URL: <http://bibliothek.ProfScholz.de> (2012-08-23)
- Papula 2006** PAPULA, Lothar: *Mathematische Formelsammlung*. Wiesbaden : Vieweg, 2006
- PWC 2012** Pratt & Whitney Canada: *PW100/150*, 2012. - URL: <http://www.pwc.ca/en/engines/pw100> (2012-08-21)
- Roskam 1989** Roskam, Jan: *Airplane Design – Part 3: Layout Design Of Cockpit, Fuselage, Wing and Empennage: Cutaways And Inboard Profiles*. Lawrence : The University of Kansas, 1989
- Seibel 2009** SEIBEL, Michael; FLÜH, Hans J.: *Strukturkonstruktion – Unterlagen zur Vorlesung*. Hamburg : Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2009

- Samsonite 2012** Samsonite: *Aeris Comfort*. - URL: <http://www.samsonite.de/aeris-comfort-spinner-82cm-nachtschatten-blau/product-de.htm?or=1890490239&shs={6f75652e-ddd4-4360-bfd0-a608514d79c3}> (2012-08-29)
- Scholz 1999** SCHOLZ, Dieter: *Skript zur Vorlesung Flugzeugentwurf*. Hamburg : Fachhochschule Hamburg, 1999
- Scholz 2011** SCHOLZ, Dieter; KRAMMER, Philip; RICO SÁNCHEZ, Diana: Schlussbericht FHprofUND-Projekt „ALOHA“, 2011 - URL: http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/ALOHA/ALOHA_AB_Schlussbericht_12-01-16.pdf (2012-08-20)
- SFO 2009** San Francisco International Airport: *Rules and Regulations*, 2009. - URL: <http://www.flysfo.com/web/export/sites/default/download/about/rules/pdf/SFORulesandRegs.pdf> (2012-08-20)
- Telair 2012** Telair International: *Sliding Carpet® Loading System*, 2012. - URL: http://www.telair.com/narrowBody_slidingCarpet.html (2012-08-20)
- Torenbeek 1988** TORENBEEK, Egbert: *Synthesis of Subsonic Airplane Design*. Delft : Delft University Press, 1988
- Travelpro 2012** Travelpro International, Inc.: *Crew 9*, 2012. - URL: <http://www.travelpro.com/collection.cfm?collection=Crew%209#> (2012-08-24)
- Wikipedia 2012a** Wikipedia: *Pilatus PC-6*, 2012. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Pilatus_Porter (2012-08-25)
- Wikipedia 2012b** Wikipedia: *McDonnell Douglas AV-8B Harrier II*, 2012. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Harrier_II (2012-08-25)
- Wikipedia 2012c** Wikipedia: *BAe 146*, 2012. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/BAe_146 (2012-08-25)
- Wikipedia 2012f** Wikipedia: *ATR 72*, 2012. - URL: http://en.wikipedia.org/wiki/ATR_72 (2012-08-25)
- Wikipedia 2012e** Wikipedia: *CASA CN-235*, 2012. - URL: http://de.wikipedia.org/wiki/CASA_CN-235 (2012-08-25)

Wikipedia 2012f Wikipedia: *Bombardier Q-Series*, 2012. - URL:
http://de.wikipedia.org/wiki/Bombardier_Q_Series (2012-08-25)

Anhang A Berechnungen

In diesem Anhang befinden sich die Berechnungen zu den Faktoren, die in Kapitel 4.3 zur Berechnung von Frachträumen erforderlich sind.

Berechnung von Faktor b :

Der Faktor b , der für die Berechnung von Frachträumen auf dem Hauptdeck im Heckbereich für Gleichung (4.15) erforderlich ist, wird durch eine Analyse von elf Regionalflugzeugen ermittelt. Dazu wird mit der Gleichung (4.19) die maximale Querschnittsfläche der Frachträume berechnet. Diese wird mit den aus (Jane's 2012) stammenden Frachtraumlängen multipliziert um ein Volumen zu erhalten. Das originale Frachtraumvolumen der Flugzeuge, dass ebenfalls (Jane's 2012) entnommen ist, wird anschließend durch das berechnete Volumen geteilt. Der Faktor b ergibt sich durch Mittelwertbildung der Einzelfaktoren. Die Berechnung kann anhand der Tabelle A. 5 nachvollzogen werden.

Tabelle A. 5 Berechnung des Faktor b

Typ	Frachtraum- volumen ^a	Querschnitts- fläche	Frachtraum- länge ^a	Errechnetes Volumen	Faktor b
	m ³	m ²	m	m ³	
CRJ700	7,20	3,22	2,32	7,47	0,964
CRJ900	8,30	3,22	2,94	8,50	0,976
ERJ145	9,20	2,98	3,30	9,83	0,936
MRJ70	18,24	3,94	4,66	18,37	0,993
MRJ90	18,24	3,94	4,66	18,37	0,993
ATP	5,10	3,40	1,66	5,65	0,903
S2000	8,40	3,18	2,82	8,97	0,937
ATR42	4,80	2,93	1,78	5,23	0,918
ATR72	4,80	2,93	1,78	5,23	0,918
Q300	7,90	3,82	2,55	9,76	0,809
Q400	11,60	3,82	3,34	12,76	0,909
Mittelwert:					0,932

^a (Jane's 2012)

Berechnung von Faktor x und y:

An dieser Stelle wird die Berechnung der beiden Faktoren der Gleichung (4,26) erläutert, mit der das Volumen von Frachträumen im Unterdeck bestimmt werden kann. Die Ausgangsgleichung hierfür ist die Gleichung:

$$V_{\text{Frachtraum, Unterdeck}} = A_{\text{Frachtraum, Überschl\"agig}} \cdot (l_{\text{ges}} \cdot x - l_v \cdot y) \quad (\text{A.1})$$

Zuerst wird der Faktor x berechnet aus den Daten der vorderen Frachträume berechnet. Die erforderlichen Daten stellt (Jane's 2012) zur Verfügung. Da die in Kapitel 3 untersuchten Regionalflugzeuge keine zufriedenstellende Datenfülle für diese Berechnungen liefert, wird auf die Daten von weiteren Flugzeugen zurückgegriffen. Dadurch umfasst die Berechnung 20 Flugzeuge.

Die Frachtraumquerschnitte werden überschlägig mit den Gleichungen (4.22) und (4.25) aus Kapitel 4.3.3 berechnet. Mit folgender Gleichung kann der Faktor x berechnet werden:

$$x = \frac{\sum V_{\text{Frachtraum, vorne}}}{\sum (A_{\text{Frachtraum, Überschl\"agig}} \cdot l_{\text{Frachtraum, vorne}})} \quad (\text{A.2})$$

Die einzelnen Werte können Tabelle A. 6 entnommen werden.

Tabelle A. 6 Berechnung des Faktor x

Hersteller	Typ	Frachtraum- querschnitt	Frachtraum- länge vorne ^a	Frachtraum- volumen vorne ^a	Errechnetes Volumen vorne	Faktor x
		m ²	m	m ³	m ³	
Fokker	F70	1,28	6,42	8,20	8,2176	0,998
Fokker	F100	1,28	7,54	9,50	9,6512	0,984
Embraer	E170	1,54	5,41	8,70	8,3314	1,044
Embraer	E175	1,54	7,36	10,10	11,3344	0,891
Embraer	E190	1,54	7,77	12,50	11,9658	1,045
Embraer	E195	1,54	8,64	13,80	13,3056	1,037
Antonow	An-148	1,35	6,20	8,55	8,37	1,022
COMAC	ARJ21-700	1,73	8,20	14,64	14,19292	1,032
Airbus	A318	2,82	2,68	6,72	7,55224	0,890
Airbus	A319	2,82	3,35	8,52	9,4403	0,903
Airbus	A320	2,82	4,95	13,28	13,959	0,951
Airbus	A321	2,82	8,15	22,81	22,983	0,992
Boeing	B717	1,73	11,00	18,30	19,03	0,962
Boeing	B737-300	2,65	5,08	12,00	13,462	0,891
Boeing	B737-400	2,65	6,91	17,20	18,3115	0,939
Boeing	B737-500	2,65	3,71	8,10	9,8315	0,824
Boeing	B737-600	2,65	3,30	7,60	8,745	0,869
Boeing	B737-700	2,65	4,68	11,50	12,402	0,927
Boeing	B737-800	2,65	7,67	19,60	20,3255	0,964
Boeing	B737-900	2,65	9,25	23,80	24,5125	0,971
Mittelwert:						0,957

^a (Jane's 2012)

Mit dem Faktor x last sich der verbleibende Faktor y berechnen. Dazu wird die Gleichung (A.1) nach x umgestellt. Für diese Berechnung wird auf die Daten des gesamten Frachtraums zurückgegriffen.

$$y = \frac{\sum (A_{\text{Frachtraum,Überschlägig}} \cdot l_{\text{Frachtraum}} \cdot x - V_{\text{Frachtraum}})}{A_{\text{Frachtraum,Überschlägig}} \cdot l_{\text{Verjüngung}}} \quad (\text{A.3})$$

Die Werte für die Berechnung sind in dargestellt.

Tabelle A. 7 Berechnung des Faktor y

Hersteller	Typ	Frachtraum- querschnitt	Frachtraum- länge ^a	Länge verjüngter Bereich (geschätzt)	Frachtraum- volumen ^a	Faktor x	Faktor y
		m ²	m	m	m ³		
Fokker	F70	1,28	10,83	2,18	12,80	0,998	0,370
Fokker	F100	1,28	13,93	2,18	16,70	0,984	0,305
Embraer	E170	1,54	9,85	3,48	14,50	1,044	0,250
Embraer	E175	1,54	13,22	3,48	17,30	0,891	0,157
Embraer	E190	1,54	14,93	3,48	22,60	1,045	0,265
Embraer	E195	1,54	17,44	3,48	26,50	1,037	0,253
Antonow	An-148	1,35	9,50	1,00	12,90	1,022	0,149
COMAC	ARJ21-700	1,73	11,58	2,00	20,15	1,032	0,152
Airbus	A318	2,82	8,75	3,24	21,30	0,890	0,070
Airbus	A319	2,82	11,02	3,24	27,66	0,903	0,040
Airbus	A320	2,82	14,75	3,24	37,42	0,951	0,236
Airbus	A321	2,82	19,55	3,24	51,72	0,992	0,328
Boeing	B717	1,73	16,20	2,00	26,50	0,962	0,130
Boeing	B737-300	2,65	13,13	2,51	30,20	0,891	0,123
Boeing	B737-400	2,65	16,18	2,51	38,90	0,939	0,207
Boeing	B737-500	2,65	10,75	2,51	23,20	0,824	0,041
Boeing	B737-600	2,65	10,31	2,51	21,40	0,869	0,352
Boeing	B737-700	2,65	12,71	2,51	28,40	0,927	0,426
Boeing	B737-800	2,65	18,54	2,51	45,10	0,964	0,342
Boeing	B737-900	2,65	21,19	2,51	52,50	0,971	0,304
Mittelwert:						0,957	0,225

^a (Jane's 2012)

Zur Kontrolle der Faktoren kann das mit Gleichung (4.26) ermittelte Frachtraumvolumen mit den Originalwerten nach (Jane's 2012) verglichen werden. Dies ergibt eine minimale Abweichung von 0,00 m³ beim Airbus A319 und eine maximale Abweichung von 3,25 m³ bei der Boeing B737. Der Mittelwert liegt bei 0,12 m³ (Tabelle A. 8).

Tabelle A. 8 Vergleich von berechnetem und originalem Frachtraumvolumen

Hersteller	Typ	Frachtraum- volumen ^a	Berechnetes Volumen	Abweichung	
		m ³	m ³	m ³	%
Fokker	F70	12,80	12,636	-0,164	-1,28
Fokker	F100	16,70	16,433	-0,267	-1,60
Embraer	E170	14,50	13,308	-1,192	-8,22
Embraer	E175	17,30	18,274	0,974	5,63
Embraer	E190	22,60	20,794	-1,806	-7,99
Embraer	E195	26,50	24,492	-2,008	-7,58
Antonow	An-148	12,90	11,968	-0,932	-7,23
COMAC	ARJ21-700	20,15	18,393	-1,752	-8,70
Airbus	A318	21,30	21,539	0,239	1,12
Airbus	A319	27,66	27,660	0,000	0,00
Airbus	A320	37,42	37,744	0,324	0,86
Airbus	A321	51,72	50,695	-1,025	-1,98
Boeing	B717	26,50	26,038	-0,462	-1,75
Boeing	B737-300	30,20	31,796	1,596	5,28
Boeing	B737-400	38,90	39,529	0,629	1,62
Boeing	B737-500	23,20	25,761	2,56	11,04
Boeing	B737-600	21,40	24,645	3,25	15,17
Boeing	B737-700	28,40	30,731	2,33	8,21
Boeing	B737-800	45,10	45,513	0,41	0,92
Boeing	B737-900	52,50	52,233	-0,27	-0,51
Mittelwert:				0,12	0,15

^a (Jane's 2012)

Anhang B Ramp Layouts

In diesem Anhang befinden, ergänzen zu den Darstellungen in Kapitel 4.7, die Ramp Layouts des AR096-4 (Bild B. 4), des AR112-4 (Bild B. 5) und des AR110-5 (Bild B. 6).

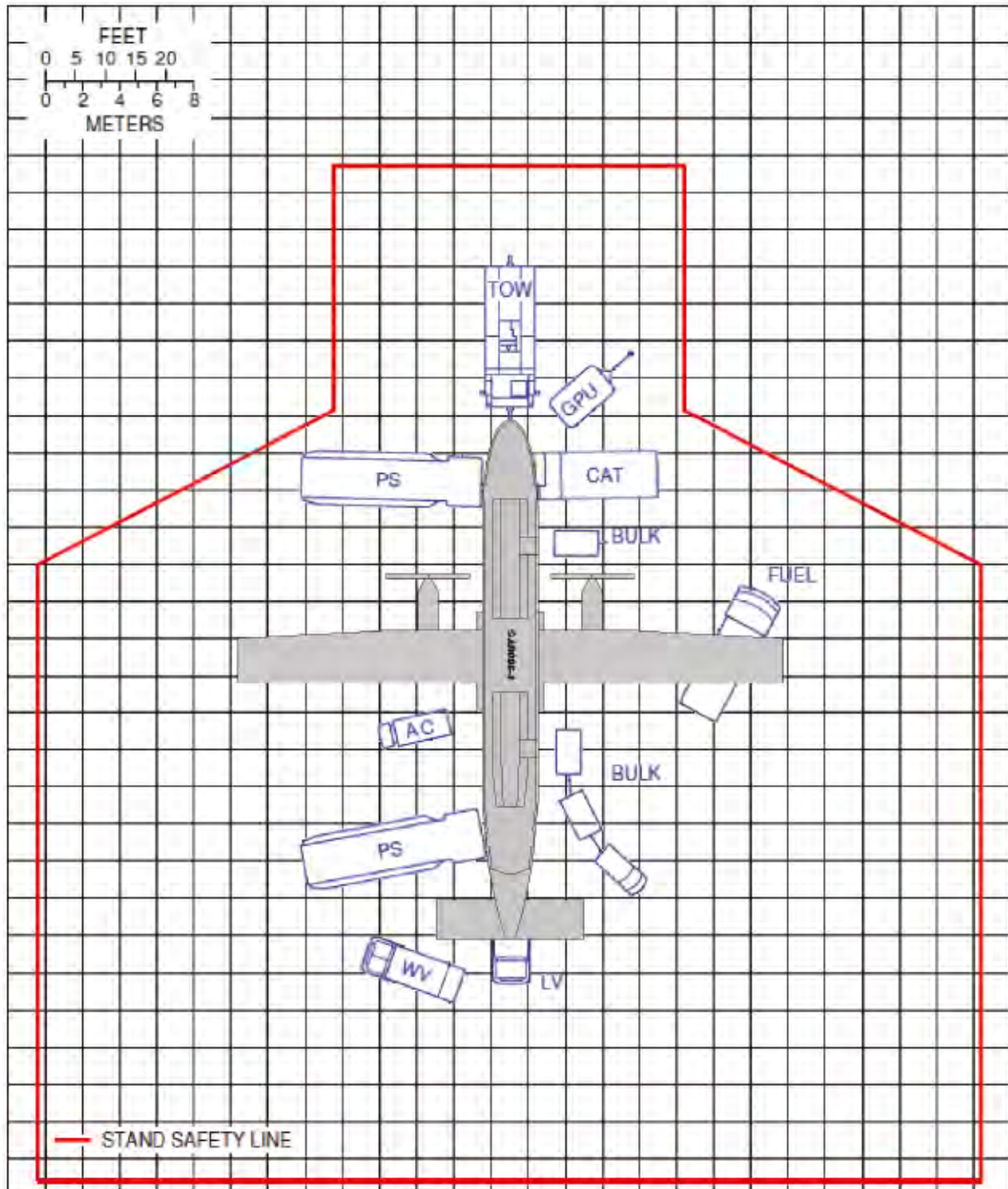


Bild B. 4 Ramp Layout des AR096-4

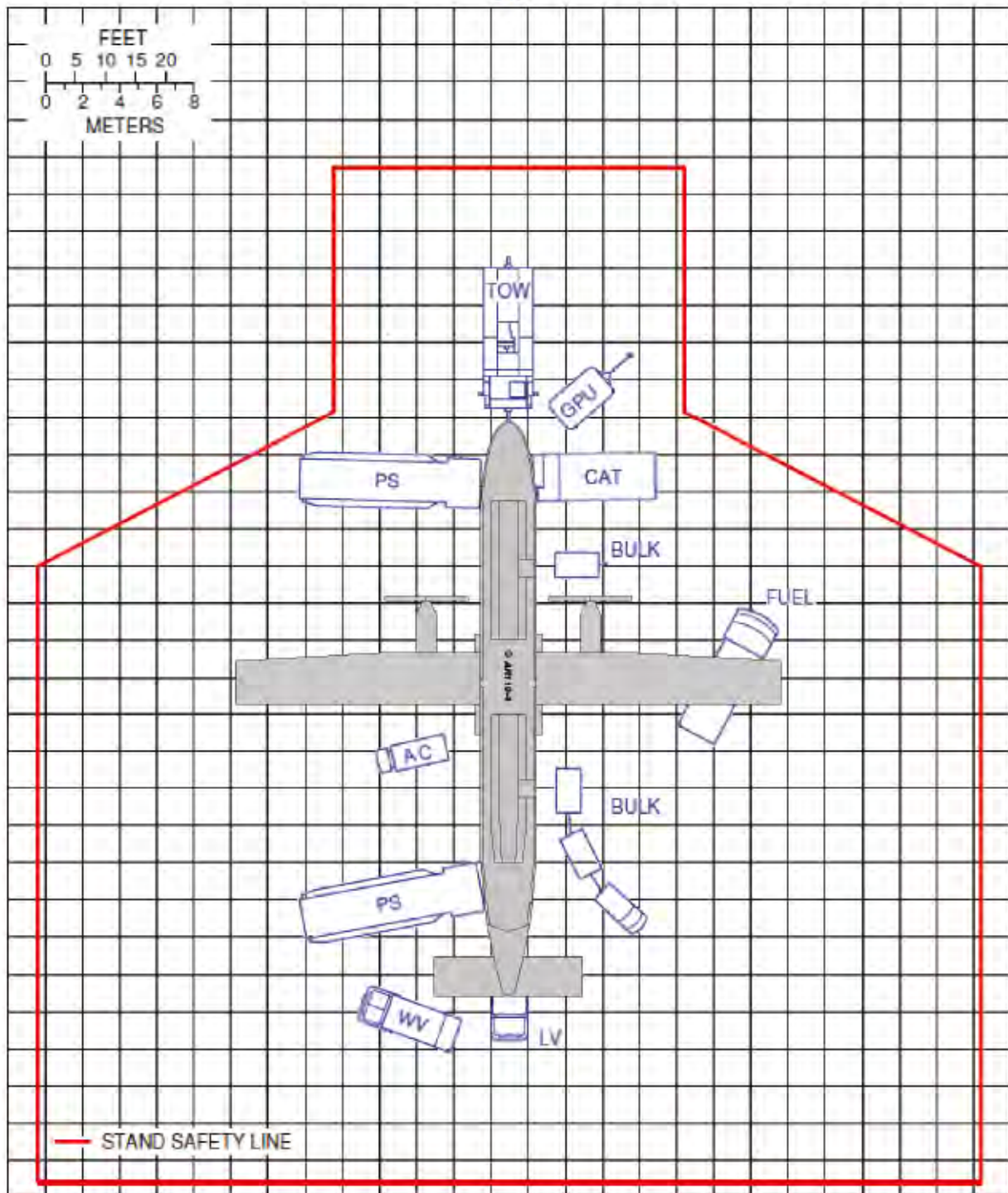


Bild B. 5 Ramp Layout des AR0112-4

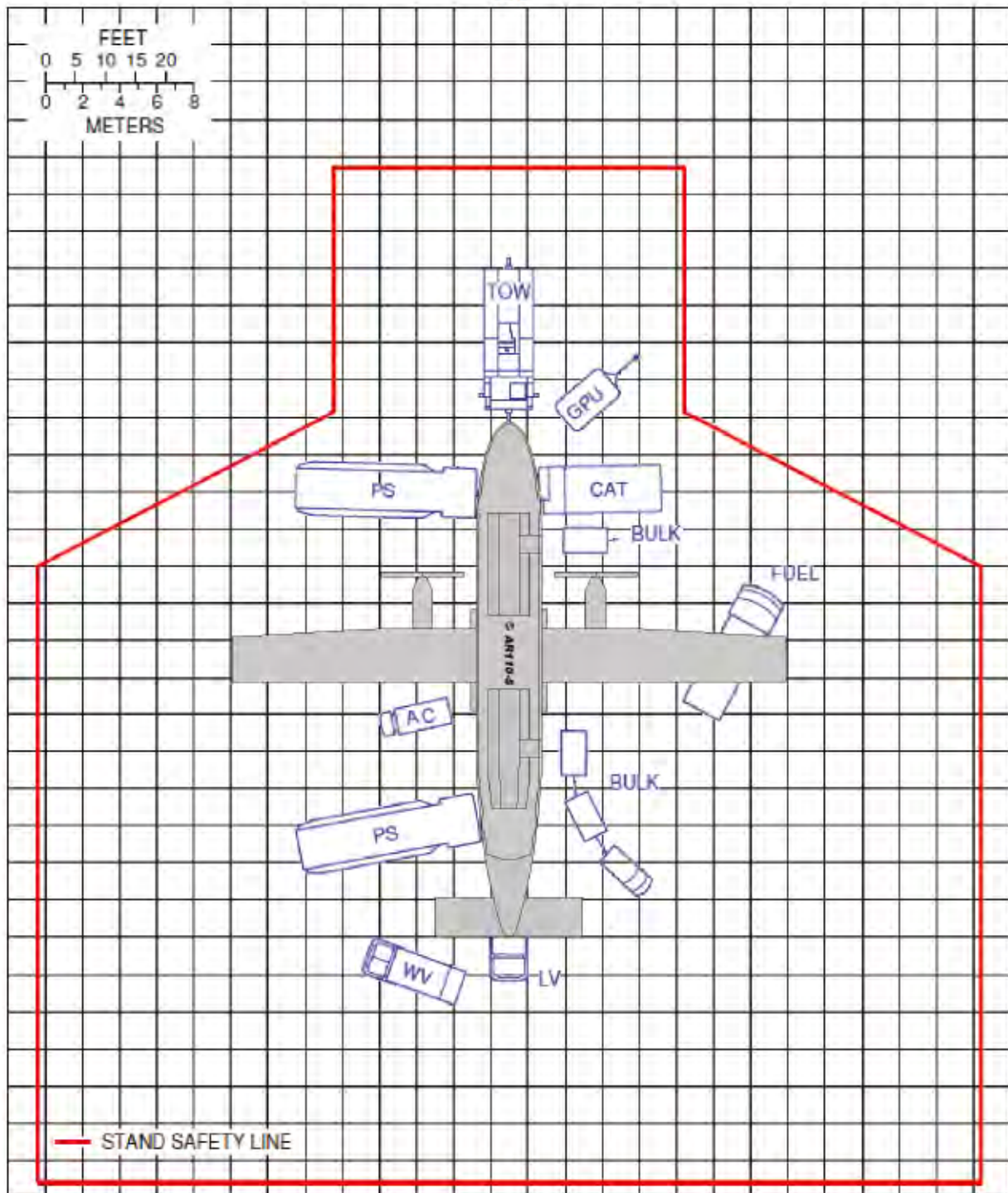


Bild B. 6 Ramp Layout des AR110-5