



HSB

Hochschule Bremen
City University of Applied Sciences

BACHELORARBEIT
FAKULTÄT 5
MASCHINENBAU
INTERNATIONALER STUDIENGANG
LUFTFAHRTSYSTEMTECHNIK UND -MANAGEMENT

Untersuchung von Abfertigungsaspekten einer Nurflüglerkonfiguration an bestehenden Flughafeninfrastrukturen

Am Beispiel des „Flying V“

Simon Hinsch (408796)
Erstprüfer: Dr. rer. nat. A. Deutschmann
Zweitprüfer: Dr. Ing. J. von der Brellie

8. November 2018

ABSTRACT

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die Abfertigung einer modernen Nurflüglerkonfiguration an der Infrastruktur eines Flughafens von heute zu untersuchen. Hierdurch soll der Weg für die weitere Entwicklung eines neuartigen Flugzeugkonzepts ein Stück weit geebnet werden. Nicht nur die Frage, ob bestehende Systeme funktionieren, sondern auch wie und was hierbei in der weiteren Planung des „Flying V“ beachtet werden sollte, ist Teil dieser Arbeit.

Nachfolgend ist die Abfertigung und der Betrieb eines Verkehrsflugzeugs an heutigen Flughäfen umfangreich dargestellt und recherchiert. Durch genaue Zeichnungen können die zentralen Prozesse und Infrastrukturen am Entwurf geprüft werden.

Es zeigt sich, dass viele Bestandteile moderner Flughäfen für die Zukunft und auch neue Flugzeugkonfigurationen nutzbar sind, jedoch an manchen Stellen besondere Lösungen für neue Flugzeuge geschaffen werden müssen.

Das „Flying V“ ist ein vergleichsweise junger und unerforschter Entwurf eines Nurflüglers, der aufgrund seiner Aktualität und vielversprechenden Aerodynamik einen zukunfts-trächtigen Entwurf für eine Effizienzsteigerung moderner Passagierflugzeuge darstellt. Diese Arbeit zeigt, dass es Probleme an bestehenden Flughäfen geben wird, jedoch keine, die als „Dealbreaker“ bezeichnet werden könnten.

INHALTSVERZEICHNIS

Abstract	III
1 Einleitung	1
2 Blended Wing Bodies und das „Flying V“	6
3 Die Bodenabfertigung	10
3.1 Turnaround	10
4 Infrastruktur	12
4.1 Start- und Landebahn	12
4.2 Rollwege	14
4.3 Die Parkposition	15
5 Abfertigungsprozesse	18
5.1 Layout	18
5.2 Boarding und Deboarding	19
5.3 Be- und Entladung von Fracht	20
5.4 Tankprozess	22
5.5 Catering	24
5.6 Cleaning	25
5.7 Water and Waste	26
5.8 Maintenance	26
5.9 Externe Zusatzgeräte	28
5.9.1 APU	29
5.9.2 Ground Power Unit	30
5.9.3 Air Starter Unit	30
5.9.4 Air Conditioning	30
5.10 Zurückstoßen	31
5.11 Enteisung	32
5.12 Der Zeitliche Ablauf des Turnarounds	33
6 Anwendung des Abfertigungsvorganges auf das „Flying V“	36
6.1 Start- und Landebahn	36
6.2 Rollwege	37
6.3 Die Parkposition	37
6.4 Boarding und Deboarding	39
6.5 Be- und Entladung von Fracht	40
6.6 Tankprozess	43
6.7 Catering	43
6.8 Cleaning	44
6.9 Water and Waste	44
6.10 Maintenance	45

6.11 Externe Zusatzgeräte	45
6.11.1 Electrical Ground Power	46
6.11.2 Air Starter Unit	46
6.11.3 Ground Air Conditioning	46
6.12 Zurückstoßen	47
6.13 Enteisung	47
6.14 Das Layout	48
6.15 Der zeitliche Ablauf des Turnarounds	50
6.16 Weitere Aspekte	52
7 Zusammenfassung	53
8 Fazit und Ausblick	57

LISTE DER ABKÜRZUNGEN

ACN

Aircraft Classification Number

APU

Auxiliary Power Unit

ASU

Air Starter Unit

BWB

Blended Wing Body

FSTE

Full Size Trolley Equivalent

GPU

Ground Power Unit

IATA

International Airline Transport Association

ICAO

International Civil Aviation Organization

NASA

National Aeronautics and Space Administration

PCA

Preconditioned Air

PCN

Pavement Classification Number

PTS

Plane Transport System

ULD

Unit Load Device

1 EINLEITUNG

Die Luftfahrt ist einer der wichtigsten Bestandteile moderner Infrastruktur. Was 1903 in den Dünen North Carolinas mit der Vision des motorisierten Fliegens der Brüder Wright seinen Lauf nahm [1], hat sich im letzten Jahrhundert zu einer Industrie von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung entwickelt [2]. Wie wichtig sie ist, zeigt eine kurze Betrachtung des deutschen Luftverkehrs. 352 000 der deutschen Erwerbstätigen sind in Luftfahrtunternehmen beschäftigt [3]. Werden auch induzierte Arbeitsplätze hinzugezählt, waren es 2012 bereits 823 000 Beschäftigte, deren Arbeitsplatz durch die Luftfahrt gesichert wurde [2]. Ein einziges in Deutschland stationiertes Langstreckenflugzeug sichert die Beschäftigung von bis zu 400 Angestellten und generiert im Schnitt einen Umsatz von jährlich 84 Millionen Euro [4]. Die Verkehrsluftfahrt wächst zudem weiter: In den vergangenen sieben Jahren lag das durchschnittliche Wachstum, gemessen an der Passagierzahl, bei 6,6 % [5]. Die Luftfahrtindustrie verbindet Menschen, treibt den internationalen Handel voran und ist ein zentrales Standbein der modernen Welt. Gleichzeitig entfielen 2017 2 % des durch den Menschen verursachten Ausstoßes von Kohlenstoffdioxid auf die zivile Verkehrsluftfahrt [6]. Dies entspricht 859 Millionen Tonnen CO₂.

Trotz stetiger Verbesserung der Flugzeugtechnologien ist ohne weitere Maßnahmen damit zu rechnen, dass die negativen Effekte auf die Umwelt durch die Luftfahrt weiter steigen werden [3, S.15]. Die International Civil Aviation Organization (ICAO) hat als zentrale internationale Organisation der Verkehrsluftfahrt das Ziel eines kohlenstoffdioxidneutralen Wachstums ab 2020 gesetzt und, wie in Abbildung 1.1 dargestellt, Prognosen für die nötigen Gegenmaßnahmen erstellt [7].

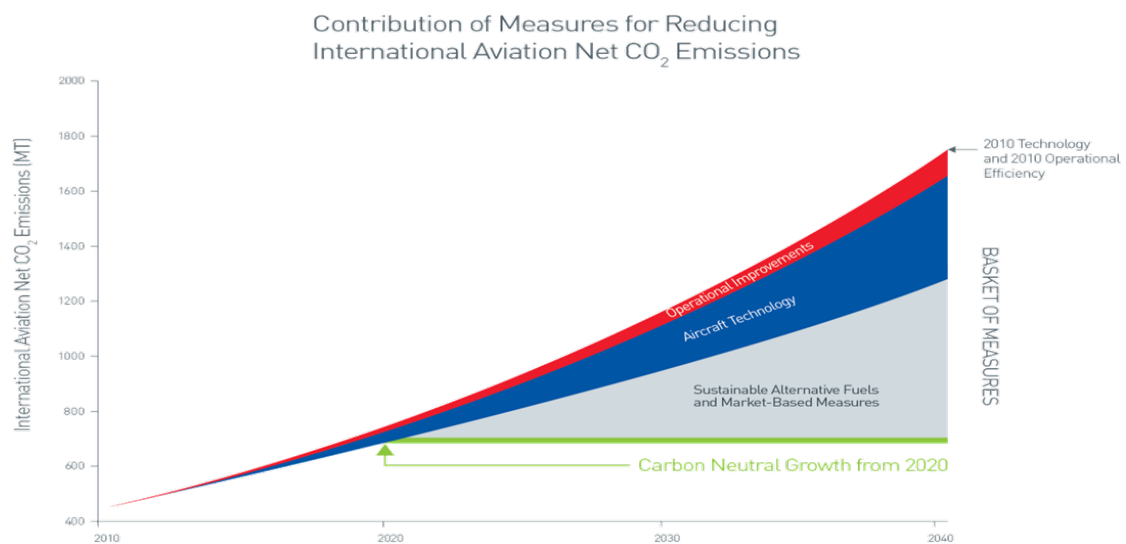


Abbildung 1.1: Prognose der Schadstoffentwicklung und nötiger Gegenmaßnahmen (ICAO, 2018)

Die ICAO sieht einen Anteil der Gegenmaßnahmen in der Entwicklung neuer Flugzeugtechnologien (vgl. Abbildung 1.1). Jede Generation von Flugzeugen fliegt laut der International Airline Transport Association (IATA) bereits ca. 20 % effizienter als die Vorhergehende [6]. Dennoch übersteigt das Wachstum den Fortschritt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist ein kohlenstoffdioxidneutrales Wachstum schwer vorstellbar. Das Erreichen dieser Zielsetzung bedarf einer Verbesserung der Luftfahrzeugesamteffizienz. Flugzeughersteller beschäftigen sich mit dieser Problemstellung täglich, denn die Effizienz ihrer Flugzeuge ist nicht nur durch Auflagen gefordert, sondern auch ein Kaufargument für die Betreiber. Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte beschränkten sich jedoch eher auf Optimierung bestehender Konfigurationen. Ein Vergleich, der ersten 44 Jahre der Entwicklung von Luftfahrzeugen mit den darauffolgenden, führt zu der Feststellung, dass das, was heute ein modernes Verkehrsflugzeug charakterisiert, bereits vor Jahrzehnten zentrale Elemente waren [8]. Die in der Abbildung 1.2 von Liebeck dargestellten Flugzeuge sind der „Wright Flyer“ die Boeing B-47 und der Airbus A330. Der Entwicklungsfortschritt vom „Wright Flyer“ zur Boeing B-47 ist vergleichsweise so groß, dass Liebeck unter Betrachtung der zentralen Konstruktionsmerkmale ¹ den 45 Jahre später vorgestellten Airbus A330 als *'anscheinend gleichwertig'* mit der Boeing B-47 bezeichnet [8].

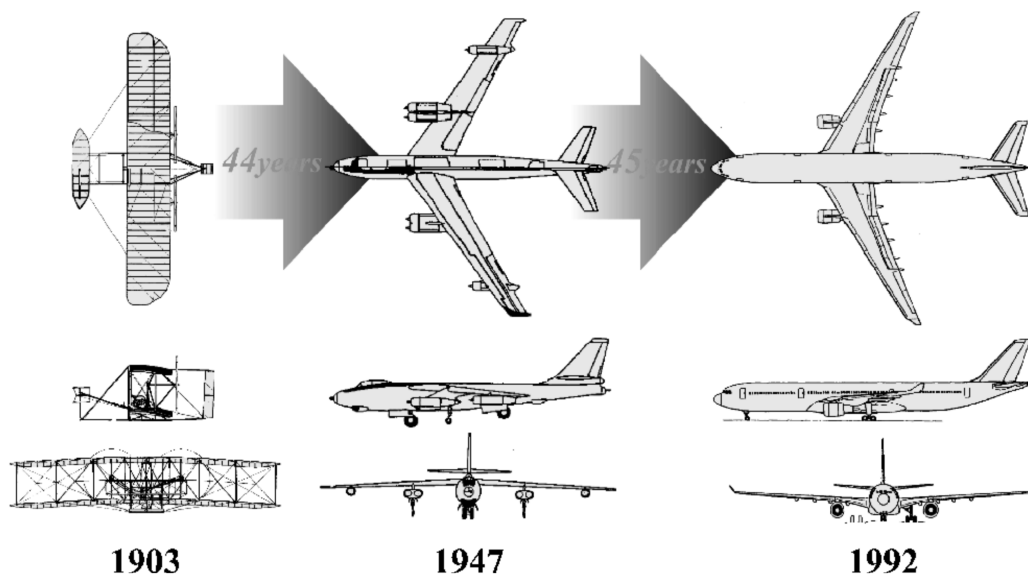


Abbildung 1.2: Vergleich der ersten 44 Jahre Flugzeugentwicklung mit den darauffolgenden 45 Jahren (Liebeck, 2004)

Dieser Prozess ähnelt einer Evolution. Klassische Flugzeugkonfigurationen sind erforscht, den Käufern und Passagieren bekannt und bieten vor allem operationell viele Vorteile, denn die heutige Infrastruktur ist für sie ausgelegt worden. Die Idee, den Luftverkehr durch neue Flugzeugkonfigurationen effizienter zu gestalten, ist keinesfalls neu, doch kaum ein Entwurf einer neuartigen Entwicklung hat es in dem zivilen Bereich vom Zei-

¹Als Beispiele führt Liebeck die gepfeilten Tragflächen und Leitwerke sowie die Triebwerksgondeln an.

chenbrett in die Serienproduktion geschafft. In Zeiten steigenden Umweltbewusstseins [3, S.15] gibt es jedoch wieder Bestrebungen, neue und unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen zu erforschen. Eines der bekanntesten Beispiele ist der Blended Wing Body (BWB) X-48 der National Aeronautics and Space Administration (NASA). In Abbildung 1.4(a) ist ein Beispiel des derzeitigen Designansatzes für BWB Konfigurationen dargestellt.

In der klassischen Auslegung von Flugzeugen mit Rumpf, Tragflächen und Leitwerk übernimmt jedes dieser Elemente eine eigene Funktion. Die Flügel beispielsweise generieren den nötigen Auftrieb, um der Gewichtskraft des gesamten Flugzeuges entgegenzuwirken. Dies sorgt für die in Abbildung 1.3 gezeigte Verteilung von Auftrieb und Gewichtskraft. An den Flügelwurzeln entsteht hierdurch ein großes Biegemoment. Dessen Ausgleich erfordert wiederum stabile, somit aber auch schwere Bauteile. Diese erhöhen die Gesamtmasse des Flugzeuges und müssen entweder durch geringere Zuladung oder eine größere Auftriebskraft kompensiert werden. Letzteres hat einen Anstieg des Widerstandes zur Folge, und somit sind beide Kompensationsmöglichkeiten ein Nachteil für die Konfiguration ².

Der rechts in Abbildung 1.3 zu sehende BWB hat durch die Kombination der Bauteilaufgaben, Auftrieb zu generieren und Last zu transportieren, deutlich geringere Biegemomente und eine nahezu elliptische Auftriebsverteilung [10]. Des Weiteren ist das Verhältnis von Auftrieb und Widerstand, die Gleitzahl, von der umströmten Fläche abhängig. Die umströmte Fläche wird durch Nutzen des Rumpfes als Teil der aerodynamisch aktiven Fläche deutlich verringert und bietet somit ein hohes Potential für eine Effizienzsteigerung [8],[11]. Eben diese umströmte Fläche wird bei modernen konventionellen Konfigurationen durch möglichst kurze Flügel verringert. Diese benötigen dann jedoch schwere und komplizierte Hochauftriebshilfen, um die langsamen Fluggeschwindigkeiten bei Start und Landung zu erreichen. Ein Nurflügler wie das „Flying V“ benötigt diese Systeme in der Regel nicht, da die große Flügelfläche ausreichend ist, um auch bei langsamen Geschwindigkeiten genug Auftrieb zu generieren.

Doch auch der BWB stellt Entwickler vor diverse Problemstellungen. Eines dieser Probleme ist die Beaufschlagung der Kabine mit Druck. Verkehrsflugzeuge sind auf eine Druckkabine angewiesen, da sie in Höhen operieren, in denen der Luftdruck für den Menschen zu gering ist. Die runde Rumpfform moderner Verkehrsflugzeuge bietet eine gute Lastverteilung der durch den höheren Kabineninnendruck bestehenden Kräfte. Bei einem BWB ist dies problematisch, da hierdurch starke Biegebelastungen an Kanten der Passagierzelle auftreten [11]. Die auftretenden Belastungen durch Druckzyklen haben bei den Passagierzellen typischer BWB zur Folge, dass diese oft kompliziert oder mit vergleichsweise kurzer Lebensdauer konstruiert werden [12].

²Aerodynamischer Widerstand muss, wenn Höhe und Geschwindigkeit gehalten werden sollen, durch Triebwerksleistung kompensiert werden. Ein Teil dieses Widerstandes entsteht durch die Erzeugung von Auftrieb und nennt sich induzierter Widerstand. Um die Höhe zu halten, muss wiederum die Auftriebskraft der Gewichtskraft entsprechen. Ein höherer Auftrieb hat einen höheren induzierten Widerstand zur Folge [9, S.90].

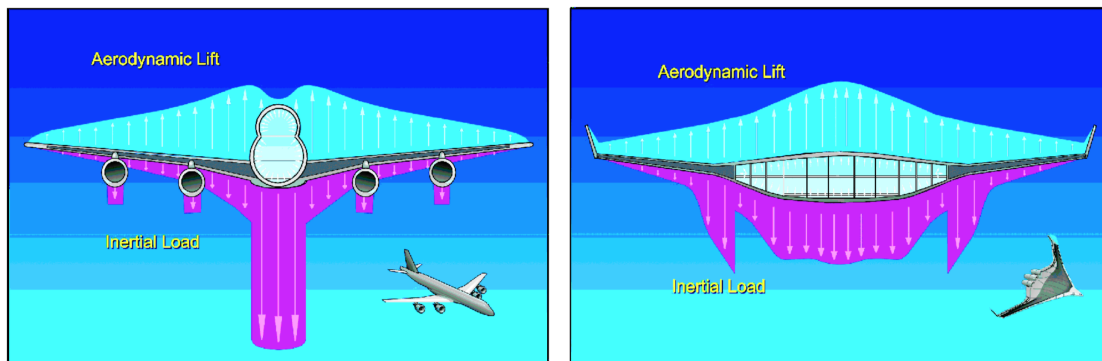
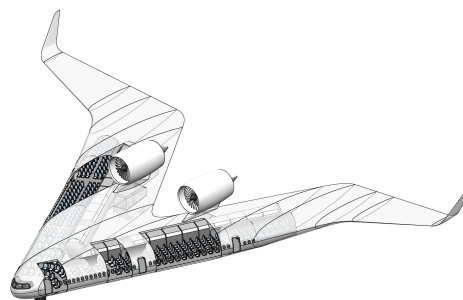


Abbildung 1.3: Vergleich Gewichtskraft und Auftrieb eines klassischen Flugzeuges und eines BWB (Liebeck, 2004 [8])

Die Idee des „Flying V“ setzt hier an und kombiniert Vorteile eines BWB mit denen einer konventionellen Flugzeugkonfiguration in einem neuartigen Nurflügler. Die zylindrischen Passagierkabinen ermöglichen eine gewichtssparende Bauweise [10].



(a) X-48C (NASA, 2013)



(b) „Flying V“ (Benad, 2015 [13])

Abbildung 1.4: Darstellung des X-48 und des „Flying V“

Zudem ist mit einer um 25% besseren Gleitzahl [14] gegenüber dem NASA Common Research Model³ der aerodynamische Vorteil des BWB erkennbar. Dies deutet darauf hin, dass dieser Entwurf ein geeignetes Ausgangsmodell für eine Effizienzsteigerung im zivilen Luftverkehr ist.

Die Entwicklung von Luftfahrzeugen ist ein Wechselspiel zwischen den Anforderungen des Marktes, der nötigen Auslegung der Industrie und gesetzlichen Vorgaben [15]. Die von

³Eine konventionelle Konfiguration

der Industrie und Forschung erarbeiteten Vorschläge und Ideen müssen auf ihre Anwendbarkeit in vielen Bereichen überprüft werden, um zu bestätigen, dass rechtliche, sicherheitsrelevante und von Betreibern gewünschte Kriterien erfüllt sind. Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Analyse der Abfertigungsprozesse einer Nurflüglerkonfiguration an bestehender Flughafeninfrastruktur. Dies stellt ein Kriterium für die Durchführbarkeit und weitere Entwicklung des „Flying V“ dar.

Die ursprüngliche Arbeit am „Flying V“ war ein Vorentwurf. Es müssen daher noch viele Punkte genauer erarbeitet werden. Mit Abschluss seiner Arbeit [10] weist Benad darauf hin, dass unter anderem folgende Punkte ebenfalls untersucht werden müssen, um den Entwurf auf Durchführbarkeit zu überprüfen:

- Struktur für eine genauere Massenabschätzung
- Detailliertere Aerodynamik
- Berechnungen von Start- und Landeperformance
- Evakuierungsmöglichkeiten
- Position der Frachträume und Tanks

2 BLENDED WING BODIES UND DAS „FLYING V“

Die Idee klassischer BWB wurde in der Einleitung bereits angesprochen. Doch die Vorteile dieser Konfigurationen umfassen weitaus mehr als nur die Treibstoffeffizienz. Am Beispiel eines Boeing Entwurfes wird von Liebeck auf die Lärmemission eingegangen. „Die BWB bietet natürlich eine geringe akustische Signatur vor jeder spezifischen akustischen Behandlung. Der Mittelkörper schirmt vorwärts abgestrahlte Triebwerksgeräusche ab, und die Abgasgeräusche werden nicht von der Unterseite des Flügels reflektiert. Der Lärm der Flugzeugstruktur wird durch den Verzicht auf ein geschlitztes Landeklappensystem reduziert.“ (Übersetzt nach [8]). Des Weiteren wächst der Flugverkehr wie in Kapitel 1 besprochen stetig weiter. Flughäfen sind jedoch oftmals in ihrer Fläche begrenzt. BWB ermöglichen es, den benötigten Platz für ein einzelnes Flugzeug zu reduzieren, da insbesondere die Ausmaße der Länge deutlich geringer ausfallen bei gleicher Kapazität [8]. Für das „Flying V“ wird dieser Umstand in Abschnitt 6.3 dargestellt. Diese nicht unerheblichen Vorteile und die bereits in Kapitel 1 genannten Effizienzsteigerungen haben zur Folge, dass die Idee eines BWB für die zivile Luftfahrt schon länger interessant ist.

Mit seinem Entwurf des „Flying V“ schlägt Benad eine Flugzeugkonfiguration vor, die in der Lage ist, einen Teil der Probleme heutiger BWB und konventioneller Flugzeugkonfigurationen zu lösen. Der Ansatz ist es, ein Langstreckenflugzeug in der Kapazitätsklasse des Airbus A350-900 zu entwickeln. Der Anforderungskatalog beläuft sich auf [13, Übersetzt nach S.2]:

Um eine geringe Masse zu erreichen:

- *Nahezu kreisrunder Kabinenquerschnitt*
- *Nahezu elliptische Massenverteilung im Spannweitenbereich*

Um ein hohes Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand zu erreichen:

- *Geringe benetzte Fläche, hohe Spannweite, elliptische Auftriebsverteilung*
- *Motoren nahe der Mittelachse*
- *Geringer Widerstand im Geschwindigkeitsbereich des Transschalls*
- *Kurze Kabinenlänge in Flugrichtung, Treibstofftanks gleichmäßig um den Schwerpunkt verteilt, langer Hebelarm der Ruderflächen zum Schwerpunkt*

Andere:

- *Genügend Flügelfläche, um keine Hochauftriebseinrichtungen zu benötigen*
- *Abschirmung der Triebwerke zum Boden*
- *Einfache und gerade Linien, wenige bewegliche Teile*

Das Ergebnis ist der bereits in Abbildung 1.4 b dargestellte Entwurf des „Flying V“.

Die Idee entstammte der Zielsetzung, ein Verkehrsflugzeug für den hohen Unterschallgeschwindigkeitsbereich zu entwickeln [10]. Das Ergebnis der Überlegung war eine Nurflügelkonfiguration, deren Passagierzellen einen nahezu kreisrunden Querschnitt aufweisen und in einer V-Form an den Vorderkanten des Profils orientiert wurden. Die Konfiguration wurde weiterhin so ausgelegt, dass eine ähnliche Passagierkapazität, verglichen mit dem Airbus A350-900, vorhanden ist. Dieses Flugzeug wurde daher als Referenzflugzeug für die Auslegung festgesetzt [10]. Die Größe der beiden Passagierrohre des „Flying V“ hingegen ist nahezu identisch mit der Größe des Rumpfes eines Airbus A320-200. Im Laufe der Entwicklung wurde daher im Rahmen der Masseabschätzung die Struktur des Rumpfes des Airbus A320-200 als Annäherungswert für die Masse jeweils einer der beiden Passagierzellen des „Flying V“ genutzt [10].

Auch bezüglich der Größe orientierte sich die Auslegung am Airbus A350-900. Die Spannweite wurde identisch gehalten. Grund war es, das „Flying V“ in bestehenden Gates für Flugzeuge mit dem Codebuchstaben E abfertigen zu können⁴ [10].

Auf den folgenden Seiten sind das „Flying V“ und der Airbus A350-900 dargestellt. Diese Zeichnungen werden als Grundlage für die Anwendung der Abfertigungsaspekte auf das „Flying V“ dienen.

Das „Flying V“ wurde nach dem ersten Entwurf von Benad bereits hinsichtlich Aerodynamik von F. Faggiano [14] und Masse von L.A. van der Schaft [16] weiter untersucht. Die Abfertigungsaspekte sind hierbei jedoch nicht behandelt worden.

⁴Die Aufschlüsselung und Erklärung der Codebuchstaben ist unter Kapitel 4.1 zu finden.

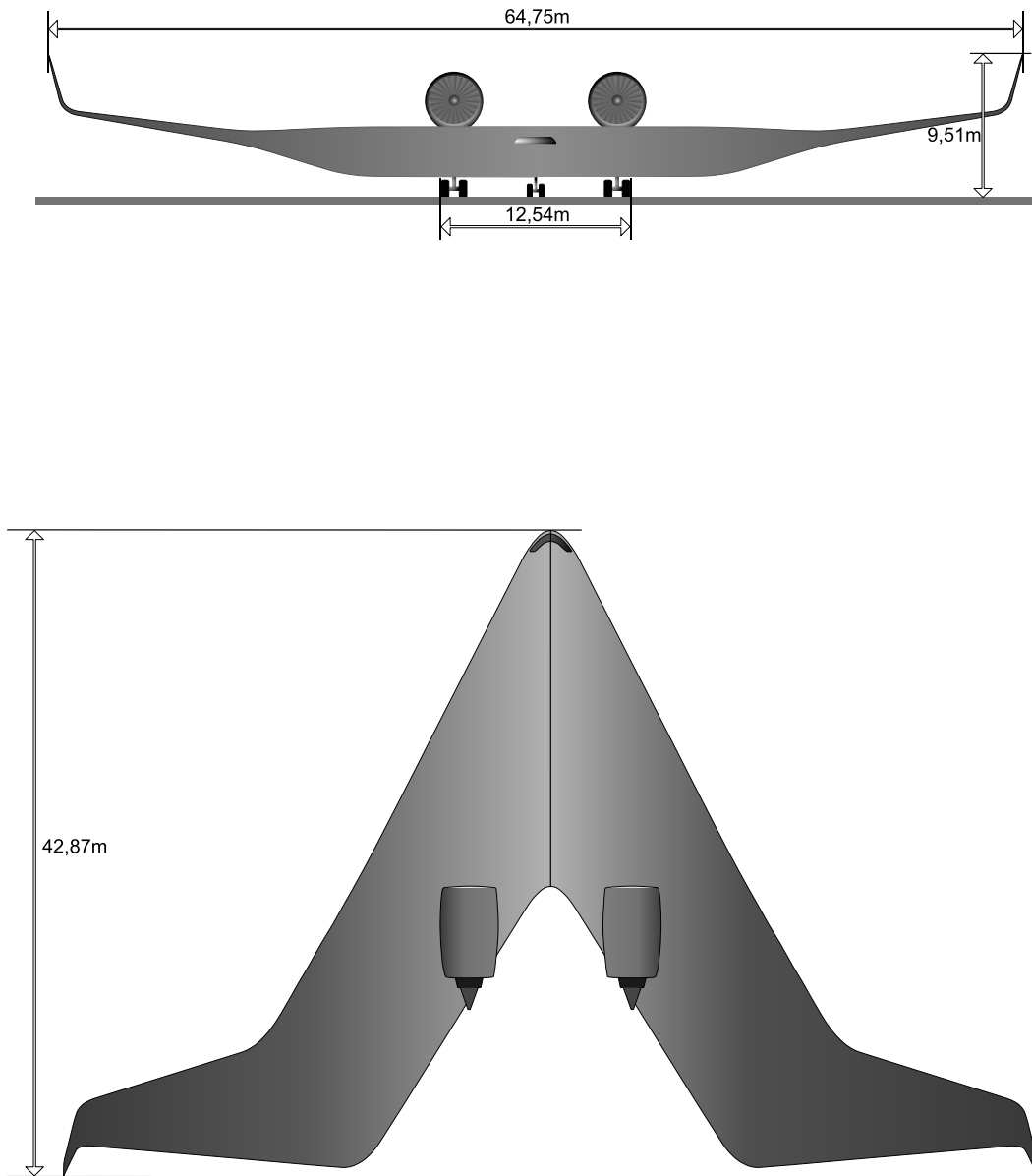


Abbildung 2.1: Ausmaße des „Flying V“ abgeleitet aus [10] und [13] (eigene Darstellung)

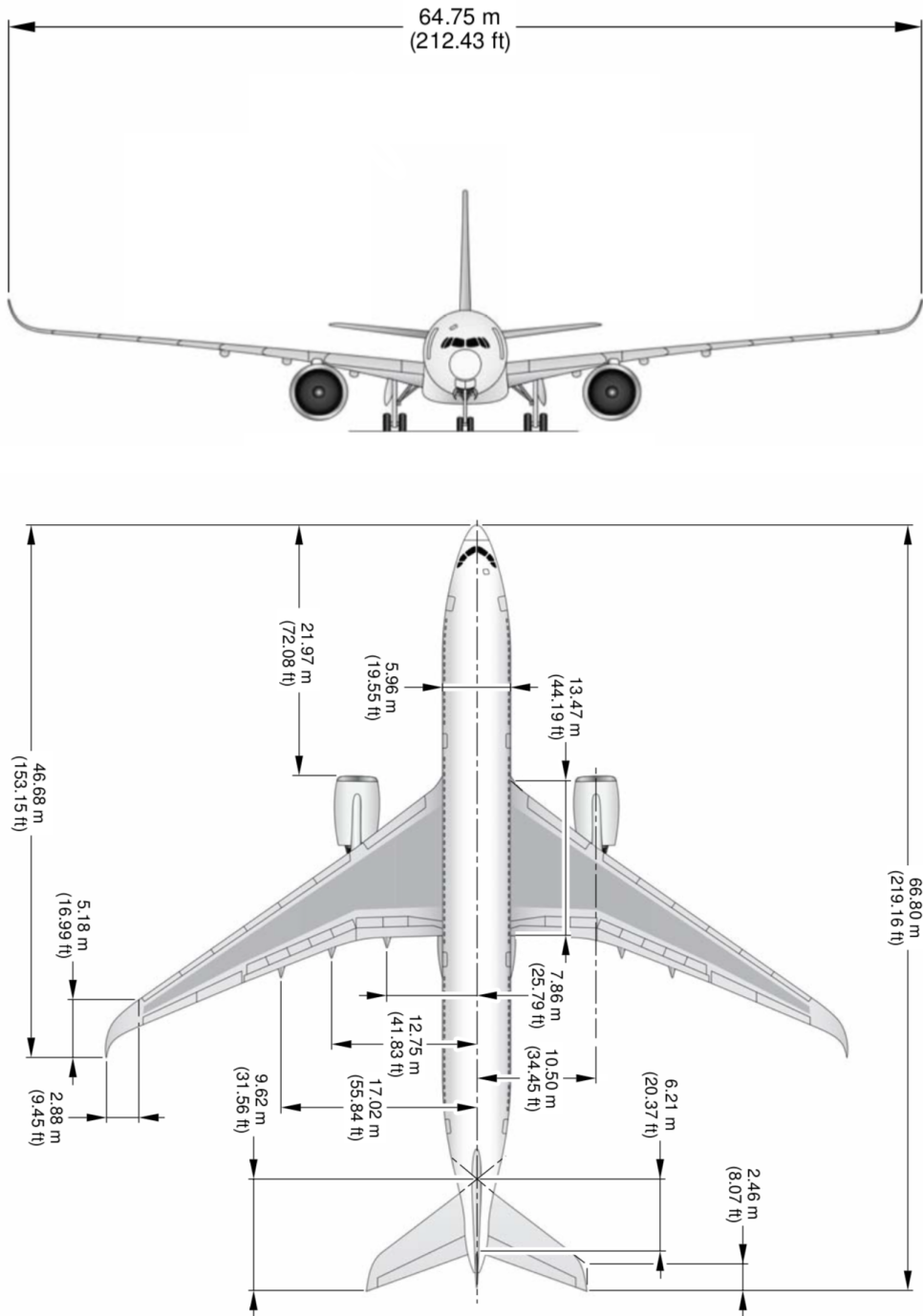


Abbildung 2.2: AusmaÙe des Referenzflugzeugs Airbus A350-900 (Airbus, 2018 [17])

3 DIE BODENABFERTIGUNG

Die Bodenabfertigung umfasst alle Dienstleistungen am Flugplatz zur Abfertigung und Beförderung von Passagieren, Gepäck, Fracht und Post, die Abfertigung des Flugzeugs einschließlich Reinigung, Bordverpflegung, Betankung und eventuell Enteisierung, den Transport der Besatzung sowie alle Sicherheitsdienstleistungen [18, S.47]. Diese Bachelorarbeit befasst sich mit den Prozessen, die an einem Flugzeug stattfinden, welches an einem Flughafen ankommt und für den nächsten Flug vorbereitet wird. Diese Prozessfolge nennt sich Turnaround. Die Prozesse, die im Flughafenpassagierterminal stattfinden, wie beispielsweise die Sicherheitskontrolle oder die Gepäckverteilung, sind nicht Teil dieser Arbeit.

3.1 TURNAROUND

Der Turnaround ist einer der Kernprozesse der Abfertigung von Flugzeugen. Er unterscheidet sich von Bereitstellung und Abzug, bei denen das Flugzeug in oder aus einer Werft, bzw. einem Hangar kommt und für den Flug oder die Wartung vorbereitet werden muss⁵. Dieser Prozess ist also ein Umdrehen eines ankommenden Flugzeuges für den Weiterflug [18, S.48]. Der Turnaround ist hier auf Basis der Quellen [18, S49] und [19, S. 282] dargestellt. Hierbei wurde eine Unterteilung in Cockpit Crew, Cabin, Ground Equipment und Beladung vorgenommen sowie von Prozessen außerhalb des Turnarounds unterschieden. Hervorzuheben ist hier die Nutzung von Infrastruktur des Flughafens und die Enteisierung, welche außerhalb des üblichen Prozesses stattfinden.

Die folgenden Unterkapitel befassen sich mit den einzelnen Prozessen, deren Ablauf und den Bedürfnissen der Airlines. Als Referenz werden, sofern Standards oder Empfehlungen vorliegen, die ICAO Standards and Recommended Practices gesetzt, da die Standards in allen ICAO Mitgliedsstaaten umgesetzt werden müssen⁶ und die Empfehlungen in der Regel ebenfalls Anwendung finden. Diese Kapitel dienen der Vorbereitung, der Anwendung des Turnaround Prozesses auf das „Flying V“. Somit wird sofern Beispiele gegeben werden, auf den Airbus A350-900 als Referenzflugzeug, aber auch den Airbus A320-200 aufgrund der vergleichbaren Kabinengröße eingegangen.

⁵Es ist ebenfalls gängig, Flugzeuge für beispielsweise das Cleaning abzuziehen, um die Parkposition für den Turnaround eines anderen Flugzeuges freizugeben [15]

⁶Es ist Mitgliedsstaaten erlaubt, die Standards nicht einzuhalten, wenn dies der ICAO mitgeteilt und explizit in der Aeronautical Information Publication ausgewiesen ist.

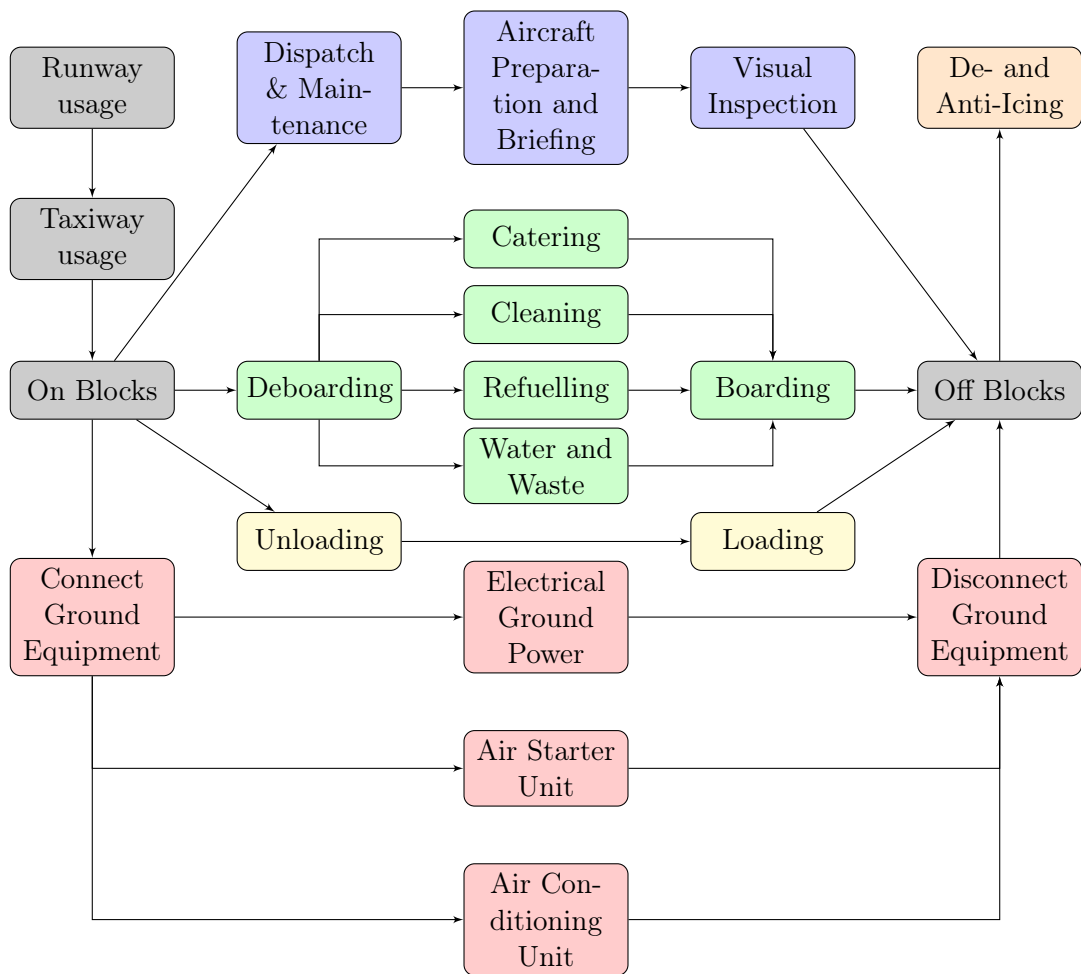


Abbildung 3.1: Ablauf eines Turnaround-Prozesses (eigene Darstellung)

4 INFRASTRUKTUR

Ein Flughafen dient der Verbindung der Verkehrssysteme des Bodens und der Luft [20, S.89]. Hierfür müssen einerseits die Infrastruktur für Luftfahrzeuge sowie die Anbindung an den Landverkehr, aber auch die benötigten Systeme und Geräte für die Abfertigung vorhanden sein. Nachfolgend wird zunächst auf die Infrastruktur eingegangen, die ein Flugzeug nutzt, um zur Abfertigungsposition zu kommen.

4.1 START- UND LANDEBAHN

Start- und Landebahnen müssen für den kommerziellen Betrieb entsprechend ausgelegt sein. Tragfähigkeit, Länge und Breite sowie die Hindernisfreiheit zu den Seiten und im Ein- und Abflugbereich sind hier relevant [21]. Für Flugzeughersteller ist die Flughafen- auslegung von sekundärem Interesse. Die Hersteller beschäftigt mehr die Kategorisierung, beziehungsweise Auslegung des Flugzeuges, um festzulegen, an welchen Flughäfen es betrieben werden kann.

Die Tragfähigkeit der Start- und Landebahn wird für Flugzeuge deren Masse über 5.700 kg liegt, durch die sogenannte Pavement Classification Number (PCN) angegeben. Sie setzt sich aus dem Belagtyp, einer Stärkekategorie sowie dem erlaubten Reifenluftdruck und der Evaluierungsmethode⁷ zusammen [21]. Die ICAO ermittelt anhand von maximaler Gesamtmasse beim Rollen, Anzahl der Hauptfahrwerksräder sowie dem Luftdruck die sogenannte Aircraft Classification Number (ACN). Diese muss dann lediglich mit der PCN verglichen werden [21].

Des Weiteren sind insbesondere die Start- und Landeperformance, aber auch die benötigte Breite der Start- und Landebahn relevant. Es gibt für die unterschiedlichsten Szenarien, wie beispielsweise Landung, Start, Startabbruch oder Start mit Triebwerksausfall Berechnungen und exakte Ergebnisse bezüglich der benötigten Pistenlängen. Die einzelnen Längen sind für jedes Flugzeug mit den entsprechenden Umweltbedingungen wie Luftdruck und Temperatur zu berechnen und je nach Art der Länge unterschiedlich zu faktorisieren [21]. Um hier schneller ermitteln zu können, ob ein Flugzeug an einem Flughafen betrieben werden kann, wird der ICAO Aerodrome Reference Code verwendet. Dieser ist in ICAO Doc 9157, dem „Aerodrome Design Manual“, definiert. Er ist aus einer Zahl und einem Buchstaben zusammengesetzt. Die Kriterien sind in Tabelle 4.1 dargestellt. Die Zahl des Codes betrachtet die vorhandene Start- und Landebahn. Ist der Flughafen beispielsweise mit einer Startbahn ausgestattet, die einem Flugzeug mit einer Referenzfeldlänge von 1.800 m einen Start ermöglicht, so kann er mit der Code Number 4 klassifiziert werden.

⁷Bei den Evaluierungsmethoden wird von der ICAO in „*technisch*“ und „*auf Erfahrungswerten basiert*“ unterschieden [22].

Die „Aeroplane reference field length“ oder Flugzeug-Referenzfeldlänge ist definiert als: *„Die für den Start erforderliche Mindestfeldlänge bei höchstzulässiger Startmasse, Meereshöhe, Standardatmosphäre, ruhender Luft und Nullpistenneigung, wie sie in dem von der Zulassungsbehörde vorgeschriebenen Flughandbuch oder gleichwertigen Angaben des Flugzeugherstellers angegeben ist.“*(Übersetzt nach [21])

In das zweite Element des Aerodrome Reference Code fließen sowohl die Spannweite als auch der äußere Abstand der Hauptfahrwerksräder ein. Das restriktivere Kriterium ist entscheidend. Will ein Flughafen einem Flugzeug, welches in die Kategorie E fällt, die Nutzung ermöglichen, so sollte zusätzlich die Startbahnbreite der unten dargestellten Tabelle 4.2 entsprechen. An dieser Stelle ist es wichtig zu verstehen, dass der Aerodrome Reference Code nicht nur die Start- und Landebahnauslegung abdeckt. Es fließen viele Gestaltungsaspekte des Flughafens ein. Ein Flughafen kann beispielsweise durch seine Start- und Landebahn theoretisch für das Flugzeug geeignet sein. Durch ein anderes Kriterium kann dann jedoch eine geringere Klassifizierung nach dem Aerodrome Reference Code erteilt werden. Weitere Kriterien sind hier beispielsweise die Breite der Rollwege oder deren Abstände voneinander [21].

Tabelle 4.1: Aerodrome Reference Code nach ICAO [21]

Code Element 1		Code Element 2		
Code Number	Aeroplane reference field length	Code letter	Wing span	Outer main gear wheel span
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Less than 800m	A	Up to but not including 15 m	Up to but not including 4,5 m
2	800m up to but not including 1.200m	B	15m up to but not including 24m	4,5m up to but not including 6m
3	1.200m up to but not including 1.800m	C	24m up to but not including 36m	6m up to but not including 9m
4	1.800m and over	D	36m up to but not including 52m	9m up to but not including 14m
		E	52m up to but not including 65m	9m up to but not including 14m
		F	65m up to but not including 80m	14m up to but not including 16m

Tabelle 4.2: Start- und Landebahnbreiten nach ICAO [21]

Code Number	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
1	18m	18m	23m	-	-	-
2	23m	23m	30m	-	-	-
3	30m	30m	30m	45m	-	-
4	-	-	45m	45m	45m	60m

4.2 ROLLWEGE

An Flughäfen müssen Flugzeuge von den Start- und Landebahnen zu den Passagier- und Frachtterminals gelangen. Zusätzlich gibt es Lager- und Wartungsflächen. Um die Flugzeuge zwischen diesen Elementen eines Flughafens zu bewegen, werden Rollwege genutzt. Deren Auslegung ist für einen effizienten Flughafenbetrieb entscheidend. Ein Rollweg ist in der Regel schmaler als eine Piste und ausschließlich für das Rollen, jedoch nicht für das Starten oder Landen, geeignet. Der Pilot ist angehalten, das Flugzeug mit dem Cockpit über der gelben Rollweg-Mittellinie zu halten, um auf dem Rollweg zu bleiben. Für Flugzeughersteller ist die Auslegung im Hinblick auf Kurvenradien und Rollwegbreiten relevant.

Rollwege sind ebenfalls, wie Pisten, in ICAO Doc 9157 definiert. Hier findet auch der in Kapitel 4.1 beschriebene Aerodrome Reference Code Anwendung, denn bei der Klassifizierung eines Flughafens nach diesem Code System wird auch die Möglichkeit des Rollens überprüft. Es fließen unter anderem die Abstände zwischen Rollwegen und Startbahnen sowie die Rollbahnbreiten und Kurvenradien in die Klassifizierung ein. Jeder Rollbahn ist zusätzlich eine PCN zugewiesen und auf den den Piloten zur Verfügung gestellten Karten sind zusätzliche Beschränkungen einzelner Rollwege ausgewiesen.

Die ICAO stellt für Rollwege bezüglich der Breite folgende Vorgabe: *„Die Konstruktion eines Rollweges muss so beschaffen sein, dass, wenn das Cockpit des Flugzeugs, für das der Rollweg bestimmt ist, über den Rollwegmarkierungen bleibt, der Abstand zwischen dem äußeren Hauptrad des Flugzeugs und dem Rand des Rollweges nicht geringer ist als in der folgenden Tabelle angegeben:“* (Übersetzt nach [22, S. 3-18]) Die Daten sind in der Tabelle 4.3 ebenfalls enthalten.

Durch die oben besprochene Vorgabe, das Hauptrad stets über der Rollwegmarkierung zu halten, müssen Kurven entsprechend breiter ausgelegt sein als gerade Rollwegabschnitte. Auch für diese Rollwegverbreiterung gibt es im ICAO Doc 9157 entsprechende Empfehlungen für deren Größe.

Es ist vorgegeben, eine Rollwegschulter zu implementieren. Ziel dieser ist es, einen zusätzlichen Schutz vor dem Verlassen des befestigten Rollweges zu bieten und die Gefahr des Ansaugens von Verschmutzungen und Objekten von unbefestigtem Untergrund zu mindern [21]. Ein solches Ansaugen von Fremdkörpern könnte die Triebwerke beschädigen und ist daher sicherheitsrelevant. Die Breite der Rollwegschultern ist ebenfalls in Tabelle 4.3 dargestellt.

Rollwege sind durch Schilder ausgewiesen. Diese stehen am Rand der Rollwege und dienen der Orientierung der Piloten. Die Höhen dieser Schilder sind laut ICAO so zu wählen, dass sie niedrig genug sind, um Beschädigungen an Triebwerken oder Propellern zu vermeiden. Die maximale Höhe für Schilder dieser Art ist in [22] dargelegt. Für Flughäfen mit der Codezahl 3 oder 4 dürfen diese Schilder maximal auf einer Höhe von 1,1 Meter angebracht sein und müssen hierbei mindestens 11 Meter vom Rollbahnbelag entfernt sein [22].

Tabelle 4.3: Auszug aus den Design-Kriterien für Rollwege [21]

Physical characteristics	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
Minimum width of:						
- taxiway pavement	7.5m	10.5m	18m ^a 15m ^b	23m ^c 18m ^d	23m	25m
- taxiway pavement and shoulder	-	-	25m	38m	44m	60m
- taxiway strip	31m	40m	52m	74m	87m	102m
- graded portion of taxiway strip	22m	25m	25m	38m	44m	60m
Minimum clearance distance of outer main wheel to taxiway edge	1.5m	2.25m	4.5m ^a 3m ^b	4.5m	4.5m	4.5m

^aTaxiway intended to be used by aeroplanes with a wheel base equal to or greater than 18 m

^bTaxiway intended to be used by aeroplanes with a wheel base less than 18 m

^cTaxiway intended to be used by aeroplanes with an outer main gear wheel span equal to or greater than 9 m

^dTaxiway intended to be used by aeroplanes with an outer main gear wheel span less than 9 m

4.3 DIE PARKPOSITION

Für die Abfertigung rollt das Flugzeug in eine Parkposition. Diese kann entweder an einem Terminal oder frei von Gebäuden auf dem Vorfeld liegen. Ein typisches Layout einer Gate-Parkposition ist in Abbildung 5.1 dargestellt und unterscheidet sich nur geringfügig von dem einer freien Parkposition⁸. Bei einer Parkposition muss vor allem die Hindernisfreiheit gewährleistet sein. Auch hierfür wurden von der ICAO Empfehlungen ausgesprochen.

Tabelle 4.4: Nach ICAO [21] empfohlene Abstände zwischen Flugzeug und Hindernissen

<i>Code Letter</i>	<i>Clearance (m)</i>
A	3,0
B	3,0
C	4,5
D	7,5
E	7,5
F	7,5

⁸Auf einer freien Parkposition werden in der Regel nur die Fluggastbrücken durch Treppen ersetzt. [17]

Der Bereich, der sich aus diesen Mindestabständen ergibt, wird als Aircraft Safety Area bezeichnet und ist am Boden durch die Stand Safety Line dargestellt. Dieser Bereich ist während des Einrollens von Fahrzeugen frei zu halten, bis das Flugzeug endgültig zum Stehen gekommen ist [17, S. 5-1-2].

Ferner wird jedoch folgende Einschränkung getroffen (Übersetzt nach [21, S.3-12]):
„Die Freiräume für die Kennbuchstaben D, E und F können an folgenden Stellen reduziert werden (nur bei Flugzeugen mit Taxi-in, Push-out-Verfahren):

- a zwischen dem Terminal (einschließlich Fluggastbrücken) und der Nase eines Luftfahrzeugs und*
- b über einen Teil des Standes, der mit einer Azimutführung durch ein visuelles Andockleitsystem versehen ist.“*

Automatische Andockleitsysteme ermöglichen ein präzises Einparken des Flugzeuges. Sie bestehen aus einem visuellen Indikator, der die Informationen von im Boden verbauten Induktionsschleifen wiedergibt, um den Piloten über seitliche Ablage sowie Distanz zum Haltepunkt zu informieren [19, S.252].

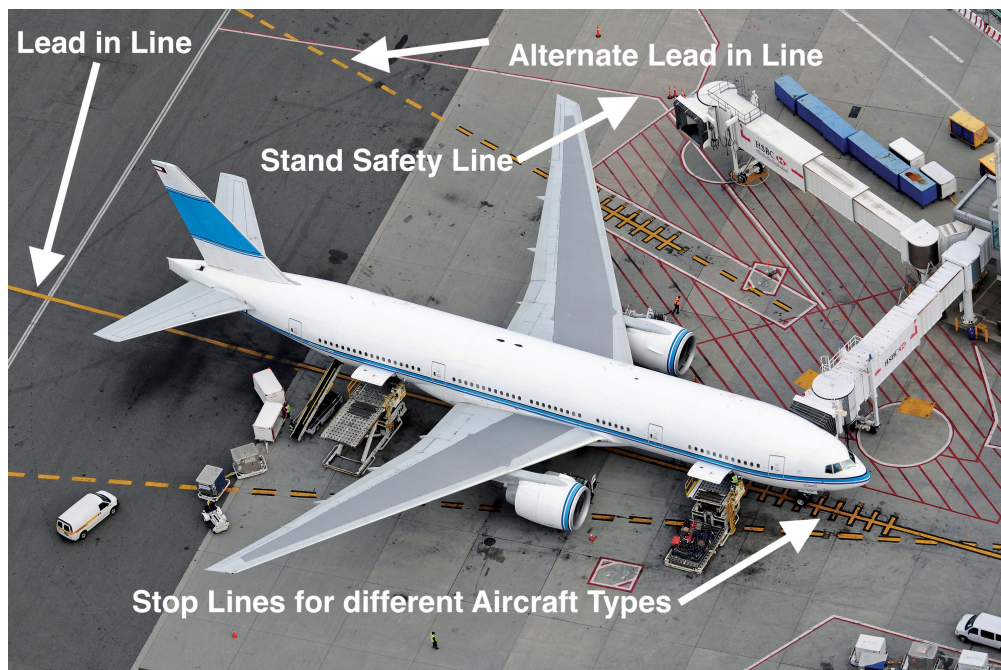


Abbildung 4.1: Beispieldarstellung einer Parkposition mit alternativer Nutzungsmöglichkeit bearbeitet nach Bild von Sam Chui, 2013

Für den in Abbildung 5.1 dargestellten Airbus A350-900 mit einer Spannweite von knapp unter 65 Metern ergibt sich daher, unter Beachtung der empfohlenen Sicherheitsabstände aus Tabelle 4.4, eine Parkpositionsbreite von zirka 80 Metern. Diese Limitierung der

Spannweite wird bei der Flugzeugentwicklung oft vorgegeben, um bestehende Parkpositionen nutzen zu können. Sie ist Grund dafür, dass die Boeing 777-X ihre Spannweite von 72 Metern durch einen einklappbaren Flügel auf 65 Meter reduzieren können wird [23].

Auch für die Länge der Parkposition sind, bedingt durch Sicherheitsabstände zwischen rollenden und parkenden Flugzeugen, indirekt Empfehlungen ausgesprochen [21]. Der Abstand zwischen der Flügelspitze eines rollenden Flugzeuges und einem parkenden Flugzeug soll daher 3,5 Meter größer sein, als der des Flugzeuges zu Hindernissen in der Parkposition [21]. Die Länge des Flugzeuges bestimmt daher auch ein Kriterium bei der Parkpositionsauslegung.

Terminal-Parkpositionen können die Möglichkeit für Flugzeuge bieten, selbstständig ein- bzw. herauszurollen. An größeren Verkehrsflughäfen in Europa wird jedoch, aufgrund des vergleichsweise geringen zur Verfügung stehenden Raumangebotes, bei Passagierterminals eher die „taxi in - push out“ Methode verwendet, bei der das Flugzeug auf einer „Lead in“-Markierung in die Parkposition bis zu einer vorgegebenen Stop-Lane rollt. Hierbei steht es dann mit der Nase zum Terminalgebäude und muss, wenn die Parkposition wieder verlassen werden soll, von einem Flugzeugschlepper zurückgeschoben werden.

Tabelle 4.5: Nach ICAO [21] empfohlene Abstände zwischen einem Flugzeug in einer Parkposition und der Mittellinie des Rollweges (entweder der Parkpositionsmittellinie oder der Rollweg-Mittellinie)

<i>Code Letter</i>	<i>Minimum seperation distances</i>	
	<i>Aircraft stand taxi lane centre line to object (m)</i>	<i>Apron taxiway centre line to object (m)</i>
A	12,0	15,5
B	16,5	20,0
C	22,5	26,0
D	33,5	37,0
E	40,0	43,5
F	47,5	51,0

5 ABFERTIGUNGSPROZESSE

Dieses Kapitel befasst sich sowohl mit den einzelnen Prozessen am Flugzeug, welche nach dem Erreichen der Parkposition stattfinden, als auch mit dem Turnaround als Gesamtprozess.

5.1 LAYOUT

Es ist wie in Abbildung 5.1 zu sehen typisch, dass die linke Flugzeugseite für das Ein- und Aussteigen genutzt wird, während Fahrzeuge für Cleaning, Catering und Loading vorwiegend die rechte Seite des Flugzeuges nutzen. Bei Langstreckenflugzeugen wie dem Airbus A350-900 ist im Gegensatz zu Kurzstreckenflugzeugen eine Mitbenutzung der linken Seite für Fahrzeuge einiger Teilprozesse ebenfalls üblich.

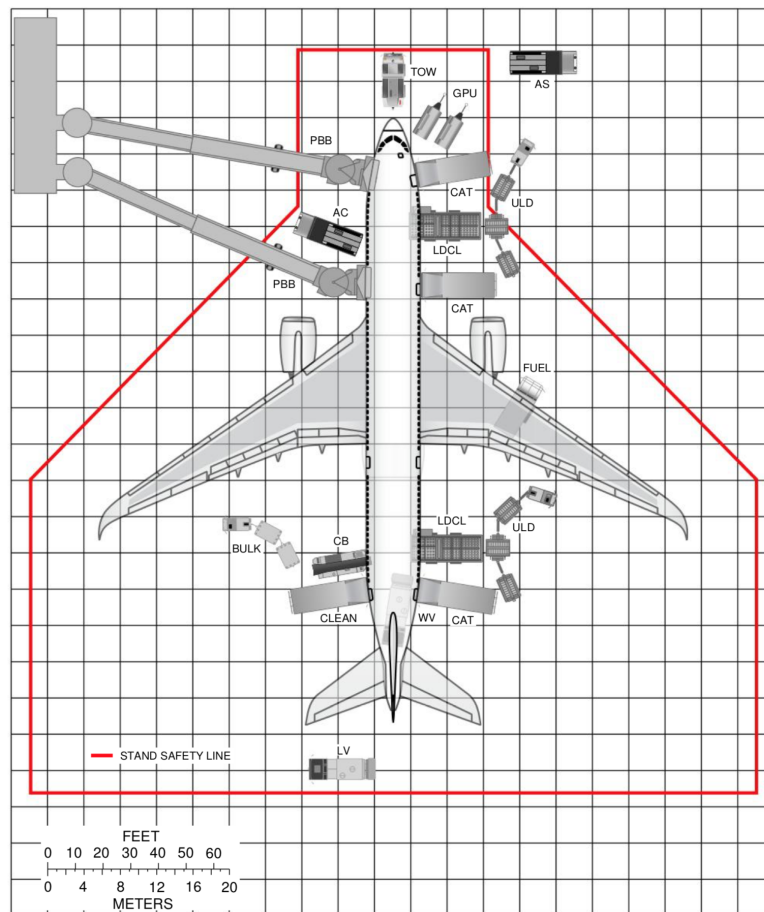


Abbildung 5.1: Typisches Layout der Abfertigung eines Langstreckenflugzeuges am Beispiel des Airbus A350-900 (Airbus, 2018 [17])

5.2 BOARDING UND DEBOARDING

Boarding und Deboarding bezeichnen die Ein- und Aussteigevorgänge der Passagiere. Sie bilden eine Klammer um die Prozesse, die nur ohne Passagiere an Bord durchgeführt werden (vgl. Abbildung 3.1). Die Boardingprozesse können entweder über direkt ans Terminal angeschlossene Fluggastbrücken vorgenommen werden oder durch Treppen. Die Fluggastbrücken oder Treppen sind während des Einrollens in die Parkposition weit genug vom Flugzeug entfernt. Sie werden in der Regel durch Motorenkraft an das Flugzeug herangefahren. Werden Treppen benutzt, so erfolgt der Transport der Passagiere zum und vom Terminal in der Regel durch Busse.

Das Boarding kann ein zeitkritischer Prozess sein. Für Großraum- und Schmalrumpfflugzeuge nimmt der Hersteller Airbus bei seinen Auslegungen verschiedene Ein- und Aussteigegegeschwindigkeiten an. Diese werden für die Turnaroundplanung genutzt.

Die Ein- und Aussteigeraten für die Flugzeuge fallen unterschiedlich aus. Es werden ebenfalls Randbedingungen von Airbus für die oben gegebenen Werte geliefert. Diese Werte werden unabhängig von der Verteilung der Bestuhlungsklassen verwendet [17]. Die beiden Flugzeuge unterscheiden sich in der Konfiguration der Passagiergänge. Der Airbus A350-900 hat zwei Passagiergänge, der A320-200 nur einen. Ein weiterer Faktor kann die Anzahl der Sitze pro Reihe und Gang sein. Diese fällt beim Airbus A350-900 sowohl in der Business Class als auch in der Economy Class niedriger aus als beim Airbus A320-200 [24] & [17].

Nicht alle Flugzeuge verfügen über Türen in denselben Höhen. Die Fluggastbrücken und Treppen sind in der Regel dafür ausgelegt. Die Modelle „Apron Drive“ der Firma Thyssenkrupp können beispielsweise alle Flugzeuge der Kategorien C-F⁹ abfertigen [25]. Hierdurch werden Gate Positionen flexibler. Bei einem Airbus A350-900 beträgt die Höhe der Türunterkante 5,04 Meter, bei einem Airbus A320-200 sind es 3,39 Meter¹⁰ [24]. Bei Kategorie C Flugzeugen wie beispielsweise der McDonnell Douglas MD-80 sind auch Höhen von zirka 2,3 Metern möglich [26].

Tabelle 5.1: Ein- und Aussteigeraten wie von Airbus angenommen [17] [24]

Aircraft	Deboarding Rate	Boarding Rate
Airbus A320-200 Door 1L	20 Pax/min per door	12 Pax/min per door
Airbus A350-900 Doors 1L & 2L	25 Pax/min per door	15 Pax/min per door

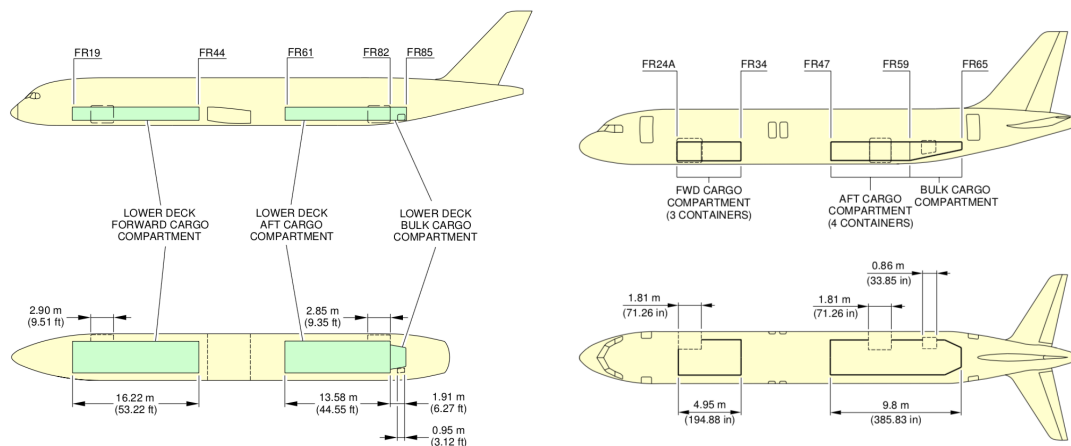
⁹(vgl. Tabelle 4.1)

¹⁰Die Werte sind vom Schwerpunkt und Beladungszustand abhängig.

5.3 BE- UND ENTLADUNG VON FRACHT

Passagierflugzeuge transportieren im Frachtraum nicht nur die Koffer der Gäste. Es ist durchaus üblich, dass auf normalen Linienflügen zusätzlich Fracht und Post transportiert werden [27]. Die gesamte Frachtverladung beruht auf einem Ladeplan. Für die Performance des Flugzeuges ist nicht nur die Gesamtmasse relevant, sondern auch deren Verteilung. Die Fracht ist ein relevanter Teil des Gesamtgewichtes eines Flugzeuges und beeinflusst somit den Schwerpunkt dessen. Zusätzlich gibt es für die jeweiligen Frachtböden zulässige Gesamt-, Laufend- und Flächenlasten [28, S.70]. Da die Prozesse analog und in umgekehrter Reihenfolge beim Entladen ablaufen, wird in den folgenden Absätzen nur von Beladen gesprochen.

Die Art der Frachtbeladung kann entweder lose, auch Bulk Cargo genannt, oder in Containern, bzw. auf Paletten stattfinden. Flugzeuge haben in der Regel für die unterschiedlichen Beladearten verschiedene Türen. Die Beladung mit Containern erfolgt mit sogenannten Unit Load Devices (ULDs). Diese Container sind speziell für die Nutzung sowohl in Großraum- als auch Schmalrumpfflugzeugen ausgelegt. In der Abbildung 5.2 sind die Beladeräume eines Kurz- und eines Langstreckenflugzeuges dargestellt.



(a) Frachtraumanordnung Airbus A350-900. (Airbus, 2018 [17]) (b) Frachtraumanordnung Airbus A320-200. (Airbus, 2018 [24])

Abbildung 5.2: Frachträume von Großraum- und Schmalrumpfflugzeugen im Vergleich

Die ULD sind standardisiert und somit für viele Flugzeuge anwendbar. Es gibt verschiedene Arten von ULD. Die Auslegung von Frachträumen neuerer Flugzeuge orientiert sich in der Regel an den Maßen dieser Container, denn es sind bereits ,um die 900.000 ULD im Einsatz, die einen Wiederbeschaffungswert von fast einer Milliarde US-Dollar darstellen‘ (Übersetzt nach: [29]). Die Etablierung eines neuen Containersystems ist aufgrund der damit einhergehenden Kosten unwahrscheinlich.

In Abbildung 5.3 ist der Querschnitt eines Großraumflugzeuges zu erkennen und die durch den Rumpf bedingte Frachtraumauslegung. Die hier gezeigten, als „LD3“ bezeichneten Container, nutzen diesen vorhandenen Platz trotz annähernd kubischer Form nahezu vollständig.

Die in Schmalrumpfflugzeugen häufig verwendeten Container nennen sich „LD3-45“ und füllen die kleineren Frachträume ähnlich aus. Die Maße von LD3 Containern betragen 1,56 Meter x 1,53 Meter x 1,63 Meter, wobei die Breite von 1,56 Metern im oberen Bereich auf 2,01 Meter vergrößert ist [30].

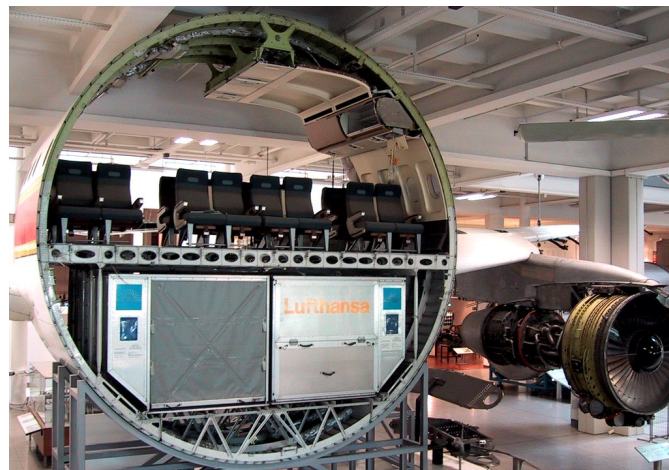


Abbildung 5.3: Fotografie des Rumpfquerschnittes eines Airbus A300 (Klaus Schnizel, 2009)

Die für die Beladung genutzten Paletten können den Platz im unteren Laderaum von Flugzeugen weniger effizient nutzen. Insbesondere jedoch beim Transport größerer Güter kann hieraus ein Vorteil entstehen. Diese Paletten sind ebenfalls in verschiedenen Flugzeugen einsetzbar.

Das Beladen mit Containern oder Paletten erfolgt über ein System von Hubwagen. Diese können über ein Rollensystem die Container auf die Hubbühne und in das Flugzeug laden. Die Transportfahrzeuge sind hierbei in der Regel auf die ULD zugeschnitten. Die Ladekantenhöhen der Flugzeuge müssen hier erreichbar sein. Die Hubwagen der Firma Trepel ermöglichen es beispielsweise, Flugzeuge mit Ladekantenhöhen bis zu 5,6 Meter zu beladen. Diese Höhen sind in der Regel jedoch reinen Frachtmaschinen vorbehalten, da hier das Hauptdeck ebenfalls für Fracht genutzt wird [31]. Ein Langstreckenflugzeug wie der Airbus A350-900 hat beispielsweise eine Container-Ladekantenhöhe von 3,1 Metern¹¹ [17, S.2-3-0]. Bei einem Kurzstreckenflugzeug wie dem Airbus A320-200 liegt dieser Wert im Bereich um 2 Meter [24, S.2-3-0].

¹¹Die Ladekantenhöhe ist abhängig von Schwerpunktlage und Gesamtmasse des Flugzeuges, da diese die Ruheposition der Fahrwerksdämpfer beeinflussen.



Abbildung 5.4: Beladung eines Airbus A321-200 mit Containern und Bulk Cargo
(Ingrid Friedl, Lufthansa, 2010)

Die Beladung von Bulk Cargo erfolgt über Gepäckbandwagen. Diese Fahrzeuge haben ein Förderband, welches die Gepäckstücke einzeln zwischen dem Transportfahrzeug und dem Flugzeuginnenraum transportiert. Das Bodenpersonal sortiert die Gepäckstücke händisch in Wagen beziehungsweise den Laderaum. Die Förderbandwagen der Firma Mulag bedienen Flugzeuge mit Bulk Cargo Ladeunterkanten im Bereich von 1,1 m bis 3,9 m [32]. Ein Langstreckenflugzeug wie der Airbus A350-900 hat eine Bulk Cargo-Ladekantenhöhe von 3,3 Metern [17, S.2-3-0]. Bei einem Kurzstreckenflugzeug wie dem Airbus A320-200 liegt dieser Wert im Bereich um 2,1 Meter [24, S.2-3-0]. Es ist bei Kurzstreckenflugzeugen durchaus üblich, den Hauptfrachtraum ebenfalls mit Bulk zu beladen [24, S.5-1-2]. Die Beladung mit Bulk statt ULD ist vor allem für Low-Cost Airlines eine gute Option, da die nötige Logistik mit Hebebühnen und leeren Containern an kleineren Flughäfen nicht immer gewährleistet ist. [33, S.23]

5.4 TANKPROZESS

Die Betankung von Verkehrsflugzeugen erfolgt mit Kerosin. Dieses wird von dem Flughafen entweder mittels Tankwagen zum Flugzeug gefahren oder, wie in Frankfurt am Main, mittels unterirdischer Pipelines zu Hydranten gebracht. An diesen Hydranten können Dispenser bzw. Pumpwagen angeschlossen werden, um das Kerosin aus dem bodenseitigen Anschluss in das Flugzeug pumpen [18, S. 51-52].

Dieser Prozess ist, trotz seiner physischen Trennung von der Kabine, nicht mit Passagieren an Bord durchzuführen. *„Nur in Absprache mit der Crew und mit spezieller Vorbereitung und Sicherheitsmaßnahmen wäre dies möglich.“* [19, S. 274]

Flugzeuge der heutigen Generation haben ihre Tanks in den Flügeln und in Teilen des Rumpfes bzw. bei Langstreckenflugzeugen teilweise auch in Form eines Trimm tanks im Leitwerk. Die Betankung erfolgt in der Regel an nur einem Anschluss und der Treibstoff wird durch interne Pumpen im gesamten Tanksystem verteilt.

Der Betankungsvorgang findet meistens unter Druck statt, da vor allem bei Langstreckenflugzeugen die zu tankenden Treibstoffmengen groß sind. Ein Airbus A350-900 hat ein nutzbares Tankvolumen von 138 000 Litern [17, S. 2-1-1]. Flugzeuge werden in der Regel nicht vollgetankt. Die Treibstoffmenge ist nach gesetzlichen Vorgaben reguliert und genau der Flugstrecke und den Gegebenheiten angepasst. Der Kapitän kann jederzeit mehr Treibstoff verlangen, wenn er dies für die sichere Durchführung des Fluges für notwendig hält, jedoch wird davon abgesehen unnötig viel Treibstoff mitzunehmen, da die höhere Masse des Flugzeuges den Treibstoffverbrauch erhöht.

Die Tankfahrzeuge verfügen über Hebebühnen, die es den Tankwagenfahrern ermöglichen, die Tankanschlüsse, die unter den Tragflächen in der Höhe liegen, zu erreichen [19, S.273]. Ein Hersteller dieser Fahrzeuge ist die Firma Esterer. Deren Dispenser Modell FHW-F 3.800 ist mit einer Höhe von 2,5 Metern niedrig genug, um unter Tragflächen zu parken und verfügt über eine Hebebühne [34]. Fließgeschwindigkeiten von bis zu 3800 Litern pro Minute werden hier ermöglicht [34]. Die Tankanschlüsse sind standardisiert [17, S.5-4-5]. Neben den eigentlichen Tankanschlüssen verfügen Flugzeuge zudem über ein von außen zu bedienendes Refueling Panel. Hier kann der Tankwart die korrekte Verteilung des Treibstoffes in die jeweiligen Tanks überprüfen und die Ventile zwischen den Tanks steuern [24, S.5-4-6] & [17, S.5-4-5].

Es ist durchaus üblich, nur auf einer Seite Tankzugänge zu positionieren. Beim Airbus A350-900 ist dies auf der rechten Seite¹² [17, S. 5-4-5]. Die Höhe dieses Tankanschlusses liegt bei 5,5 Metern¹³.

Anhand eines Beispielflugplanes ist in Tabelle 5.2 dargelegt, wie sich die endgültige Treibstoffmenge zusammensetzt.

¹²Auf der linken Seite sind Tankanschlüsse als Zusatzoption erwerbbar.

¹³Die Höhe ist vom Schwerpunkt und Beladungszustand abhängig.

Tabelle 5.2: Beispiel für die Treibstoffplanung bei Verkehrsflugzeugen mit Turbinenantrieb auf einem innereuropäischen Flug aus [35]

Art	Zeit (hh:mm)	Masse (kg)	Erläuterung
tripfuel	02:21	5280	Reiseflug Kraftstoff
+ contingency fuel	00:07	265	5% des Reiseflug Kraftstoffes oder 5 min Warteschleifenkraftstoff (das höhere zählt)
+ alternate fuel	00:22	785	Flug zum Ausweichflughafen gemäß Flugdurchführungsplan (1. Ausweichflughafen)
+ final reserve fuel	00:30	950	1/2 Stunde Warteschleifenkraftstoff in 450 Metern Höhe über dem Zielflughafen
+ additional fuel	00:00	-	z.B. für ETOPS-Flüge
= minimum take-off fuel	03:20	7280	Mindestkraftstoff an der Startposition
+ extra fuel	00:15	560	durch Kommandanten bestimmter Zusatzkraftstoff
= take-off fuel		7840	Addition der Mindest- und Zusatzkraftstoffmenge
+ taxi fuel		160	oft Fixiert je nach Flugzeugtyp und Airportgegebenheiten (keine Zeitangabe)
= block fuel	03:35	8000	Kraftstoff, auf den das Flugzeug aufgetankt wird und der vor Anlassen der Triebwerke im Tank vorhanden ist

5.5 CATERING

Das Catering beinhaltet das Entladen der Trolleys mit dem Abfall der Speisen und Getränken des vorhergehenden Fluges und das Beladen mit identischen Containern für den kommenden Flug. Zusätzlich werden die Aufgaben Sanitärartikel, Zeitschriften und Werbeartikel neu aufzustocken von diesen Dienstleistern übernommen [19, S.273]. Die Trolleys, auch Servierwagen genannt, sind genormt. Der größte Anteil besteht aus Trolleys nach den Normen der ATLAS-Gruppe bzw. KSSU-Gruppe [36]. Die Systeme sind sich durch ihre Maße sehr ähnlich, jedoch nicht kombinierbar [36]. Die Normen umfassen die Rollwagen, die zum Servieren genutzt werden, aber auch kleinere Einschübe für die Bordküchen. Für den zeitlichen Ablauf wird bei dem Hersteller Airbus mit Full Size Trolley Equivalents (FSTEs) gearbeitet.

Die Catering-Fahrzeuge nutzen beim Beladen üblicherweise die rechte Seite des Flugzeuges. Die hier befindlichen Türen werden, wie in Abbildung 5.1 zu sehen, nicht für das Boarding genutzt und bieten einen Zugang zu den „Galleys“ (Bordküchen). Je nach Konfiguration müssen die Trolleys hierbei durch die Gänge zwischen den Sitzreihen geschoben werden, oder können direkt in die Bordküchen gebracht werden, da oftmals die Galleys mittig zwischen den Türen links und rechts sind. Das Schmalrumpfflugzeug A320-200 hat im vorderen und hinteren Bereich je eine Galley [24]. Bei einem Großraumflugzeug wie dem Airbus A350-900 sind es insgesamt 3 Galleys [17].



Abbildung 5.5: Produktportfolio Catering-Fahrzeuge der Firma Doll (Doll, 2018)

Die Catering-Fahrzeuge sind Lastkraftwagen, die über eine Transportkabine mit Hubfunktion verfügen. Die Fahrzeuge der Firma Doll können hierbei Flugzeugtüren in Höhen von 1,4 Metern bis 8,3 Metern, je nach Modell, bedienen [37]. Oftmals werden für Großraum- und Schmalrumpfflugzeuge verschiedene Fahrzeuge eingesetzt, da Transportraum und Hubhöhe für die jeweiligen Flugzeuge angepasst sind [38].

5.6 CLEANING

Das Cleaning bezeichnet die Arbeit des Reinigungsteams, das den Innenraum des Flugzeuges säubert. Kabine und die Bordküchen sind inbegriffen sowie das Reinigen der Toiletten, soweit dies vom Innenraum aus möglich ist. [35, S.90] Für die Frisch- und Abwassertanks gibt es einen weiteren Dienst (siehe hierzu Abschnitt 5.7). Es wird ebenfalls die Entsorgung von Abfall aus der Kabine erledigt. Der Umfang wird durch die Airline bestimmt. Auch um den Austausch von Decken, Kissen oder Ähnlichem kann sich durch das Cleaning-Personal gekümmert werden. In Abbildung 5.1 ist ein Cleaning Hubwagen zu sehen. Das Betreten des Flugzeuges kann aber auch durch die normalen Fluggastbrücken geschehen, an welchen ebenfalls Treppen hierfür angebracht sind [39].

5.7 WATER AND WASTE

Wasser an Bord von Kurz- und Langstreckenflugzeugen lässt sich in zwei Tanksysteme aufteilen. Frischwasser und Sanitärabwasser. Je nach Flugzeugtyp sind ein oder mehrere Frischwassertanks sowie Abwassertanks installiert [24, S. 5-4-9 & 10] [17, S.5-4-8 & 9]. Der Service besteht beim Turnaround darin, dass das Frischwasser aufgefüllt und das Abwasser entleert wird. Die Abwassertanks verfügen zusätzlich über einen Spülwasseranschluss für die Reinigung und Desinfektion. Die Anschlüsse und Tanks befinden sich beim Airbus A350-900 im Heck des Flugzeugs [17]. Beim Frischwasseranschluss beträgt die Höhe über dem Boden 3,3 Meter. Bei den Abwasseranschlüssen sind es 3,7 Meter.

Die Fahrzeuge, welche hierfür genutzt werden, sind in der Regel Lastkraftwagen, welche die benötigten Wasserkapazitäten (beim Airbus A350-900 1230 Liter Abwasser und 1060 bis 1500 Liter Frischwasser [17]) transportieren können.

5.8 MAINTENANCE

Flugzeuge werden täglich auf ihre Lufttauglichkeit überprüft. Hierzu gehören der normale Preflight-Check vor jedem Flug durch die Piloten, bei dem auf äußerlich sichtbare Beschädigungen kontrolliert wird [19, S.205] sowie der Ramp-Check, bei dem weitergehend noch Reifendruck, Feuerlöscher und Ähnliches kontrolliert werden und Flüssigkeiten wie Wasser, Öl und Hydraulikflüssigkeit nachgefüllt werden [19, S.205].

Die Instandhaltung eines Flugzeuges lässt sich hierbei in die Gruppen „Line Maintenance“, auch Wartung genannt, und „Heavy Maintenance“, auch Überholung genannt, unterteilen [19, S.204].

Wartung beschreibt dabei die Art der Instandhaltung, bei der das Flugzeug im normalen Umlauf verbleibt und nicht abgezogen wird. Diese Wartungsarbeiten haben Abstände im Bereich von Tagen bis hin zu Monaten und werden meistens Nachts ausgeführt [19, S.204].

Überholung hingegen umfasst sehr umfangreiche Instandhaltungsarbeiten und Kontrollen, sodass das Flugzeug für einen längeren Zeitraum aus dem Umlauf gezogen werden muss [19, S.204].

Nachfolgend sind die verschiedenen Wartungs- und Überholungsarbeiten, die durch den Betrieb eines Linienflugzeuges nötig sind in Tabellenform dargestellt [19, S. 205-206].

Die Terminpläne einzelner Flugzeugtypen sind nicht identisch, jedoch sehr ähnlich [19, S.204].

Tabelle 5.3: Wartungsarbeiten und Intervalle (Maurer, 2006 [19, S. 205-206])

Ereignis	Intervall	Arbeitsumfang	Bodenzeit	Arbeitsstunden
Preflight-Check	vor jedem Flug	Überprüfung auf äußerlich sichtbare Beschädigungen	30 - 60 Minuten	1
Ramp-Check	täglich	Optische Überprüfung wie Preflight-Check plus Prüfung von Reifendruck, Bremsabnutzung, Feuerlöscher, Sauerstoffsystem; Nachfüllen von Wasser, Luft, Öl, Hydraulikflüssigkeit; Cockpit-Checks	2,5 - 5 Stunden	4 - 35
S-Check (Service-Check)	wöchentlich	Ramp-Check plus detaillierte Tests der Technik; Service von Reifen und Bremsen	2,5 - 5 Stunden	7 - 55
A-Check	350 - 650 Flugstunden	S-Check plus Überprüfung von Systemen, die für den Flugbetrieb wichtig sind, Triebwerks- und Funktionskontrollen	5 - 10 Stunden	25 - 145
B-Check	nach ca. 5 Monaten, 900 - 1000 Flugstunden	A-Check plus eingehende Kontrollen außen und innen, vermehrte Struktur- und Funktionskontrollen	9 - 28 Stunden	110 - 700
C-Check	nach 15 - 18 Monaten	B-Check plus detaillierte Kontrollen der Flugzeugstruktur, gründliche Systemtests; teilweise Freilegung der Verkleidungen für gründliche Prüfungen	40 - 48 Stunden	550 - 1350

Tabelle 5.4: Überholungsarbeiten und Intervalle (Maurer, 2006 [19, S.206])

Ereignis	Intervall	Arbeitsumfang	Bodenzeit	Arbeitsstunden
IL-Check (Intermediate Layouter; ent- fällt bei mo- dernsten Flugzeugen)	nach ca. 15000 Flug- stunden (ca. 5-6 Jahre)	C-Check plus spezielle Kontrollen aller Bauteile von Struktur, Rumpf und Flügeln, Komplettüberholung der Kabine, Einbau von Produkt- verbesserungen des Herstellers	ca. 2 Wochen	bis zu 20000
D-Check	nach ca. 30000 Flug- stunden (ca. 5-10 Jahre)	Generalüberholung: Detailkontrolle und Über- holung von Zelle, Kabine und Systemen. Wechsel von Großbauteilen, Erneuerung des Außenanstrichs, Einbau von Neuerungen, Ausbau und Ersatz aller Instrumente und Geräte	ca. 4 Wochen	bis zu 50000

5.9 EXTERNE ZUSATZGERÄTE

Das Flugzeug kann am Boden, insbesondere bei Turnaround-Operationen, weiterhin mit Strom, Druckluft und dem Klimatisierungssystem verbunden werden.

Beispiele für die einzelnen Energieträger:

- Strom: Benötigt, um beispielsweise die Flugzeugsysteme wie Funkgeräte, Bordcomputer oder Trägheitsnavigationssysteme, aber auch die Beleuchtung und elektrisch betriebene Ladetüren mit Energie zu versorgen und hierbei die Batterie nicht zu belasten.
- Klimatisierung: Flugzeugkabinen heizen sich durch das geringe Volumen, verglichen mit der Anzahl an Passagieren, schnell auf. Hierfür wird ein Preconditioned Air (PCA) Modul eingesetzt [40], welches klimatisierte Luft liefert.
- Druckluft: Das Anlassen moderner Fanjet-Flugzeugtriebwerke funktioniert meist durch die Nutzung von Druckluft. Sie wird dem Triebwerk zugeführt und bringt die Kompressoren bzw. Turbinen zum Drehen, bis durch die Verbrennung der Prozess selbstständig weiterlaufen kann.

Hierfür können entweder das flugzeugeigene Hilfstriebwerk Auxiliary Power Unit (APU), oder externe Bodengeräte genutzt werden. Die Wahl des Systems obliegt in der Regel dem Flugzeugbetreiber. Bei manchen Flughäfen kann jedoch auch eine Lärmschutzbestimmung den Betrieb der APU untersagen [40]. Hier müssen die Flugzeuge dann bodenseitig die benötigten Versorgungen erhalten.

5.9.1 APU

Wie oben erwähnt handelt es sich bei der APU um ein Hilfstriebwerk. Dieses Triebwerk nutzt die Verbrennung von Kerosin, um die, wie bereits im Text beschrieben, besprochenen Versorgung sicherzustellen. In der Regel ist die APU im Heck des Flugzeuges eingebaut.

Die APU basiert auf dem Prinzip einer Gasturbine und ist hierbei durch eine konstante optimale Drehzahl sehr effizient. Der Gebrauch der APU ersetzt externes Gerät, ist jedoch weniger effizient als die Nutzung von Bodengeräten. Der Flughafen Zürich gibt für seine Systeme an, dass die Kostenersparnis für ein Großraumflugzeug bei über 50 % liegt, wenn Strom und Klimaanlage über 3 Stunden durch Bodengeräte geliefert werden anstelle durch eine APU [41, S.23]. Auch die Lärmemissionen sind bei Bodengeräten meist geringer. Der Flughafen Hamburg schränkt im Rahmen von Lärmschutzmaßnahmen die Nutzung von APUs ein [40]. Die Nutzung der Externen Geräte wird vom Flughafen Hamburg weiterhin mit einer Kohlenstoffdioxideinsparung von 9 200 Tonnen beworben [42].



Abbildung 5.6: Hilfstriebwerk im Heck eines Airbus A380-800 (Liebich, Lufthansa Technik, 2014)

5.9.2 GROUND POWER UNIT

Der elektrische Strom kann am Boden von einem mobilen oder fest installierten Bodenstromaggregat, auch Ground Power Unit (GPU), geliefert werden. Die Anschlüsse hierfür sind an jedem modernen Verkehrsflugzeug vorhanden und standardisiert, sodass nicht immer eine spezielle GPU für den jeweiligen Flugzeugtyp vorhanden sein muss. Die Anzahl der benötigten Geräte und damit der vorhandenen Anschlüsse, kann jedoch variieren. Ein typisches Schmalrumpfflugzeug wie der Airbus A320-200 verfügt über einen Anschluss, ein Großraumflugzeug wie der Airbus A350-900 über zwei Anschlüsse. Die ähnlichen Positionen der Anschlussstellen ermöglichen es, die GPU in die Parkpositionen, beispielsweise in die Fluggastbrücken [41, S.5] oder in den Boden neben dem Bugfahrwerk, zu integrieren [19, S. 274].

5.9.3 AIR STARTER UNIT

Die Haupttriebwerke moderner Verkehrsflugzeuge werden in der Regel mit Druckluft gestartet. Abgesehen von der APU kann diese auch von einem Bodengerät geliefert werden. Diese Geräte werden als Air Starter Units (ASUs)[35, S.92] bezeichnet. Mit der APU lassen sich die Triebwerke zeitgleich mit dem Zurückstoßen starten. Dieser Vorgang spart Zeit und kann somit auch an einem Flughafen mit Beschränkungen bezüglich der Nutzung der APU gängig sein [40].

Eine ASU kann mit einer GPU kombiniert sein [20, S.19]. Es handelt sich bei den Geräten um kleine Anhänger oder Lastkraftwagen [20, S.121]. Die Anschlüsse am Flugzeug für die Versorgung mit Druckluft sind standardisiert [17, S. 5-6-4]. Bei den Flugzeugen Airbus A320-200 und Airbus A350-900 finden sich die Anschlüsse im Bereich der Flügel unterhalb des Rumpfes. Ein typisches Schmalrumpfflugzeug wie der Airbus A320-200 verfügt über einen Anschluss, ein Großraumflugzeug wie der Airbus A350-900 beispielsweise über zwei Anschlüsse.

5.9.4 AIR CONDITIONING

Die vom Boden bereitgestellte Luft betreibt nicht die flugzeugeigene Klimaanlage, sondern ist bereits auf die benötigte Temperatur gekühlt oder geheizt worden. Die ebenfalls standardisierten Anschlüsse für diese Luft liegen oft in der Nähe der Druckluftanschlüsse unter dem Rumpf im Bereich der Tragflächen. Die bodenseitigen Elemente und Anschlüsse können ebenfalls fest verbaut im Boden oder in den Fluggastbrücken unterkommen [41, S.10]. Es kommen auch mobile Einheiten auf Lastkraftwagen zum Einsatz. [41, S.14] Sie sind an manchen Flughäfen auch zentral gespeist, was die Effizienz des Gesamtsystems erhöht und den Schadstoffausstoß des Turnaround-Prozesses verringern kann [41, S.20].



Abbildung 5.7: Bodenseitiger Anschluss von Strom und klimatisierter Luft (Zürich Airport [41, S.12], 2013)

5.10 ZURÜCKSTOSSEN

An vielen europäischen Flughäfen wird häufig wie in Kapitel 4.3 die sogenannte „Taxi in Push Out“ Methode angewendet, bei der die Flugzeuge selbstständig in die Parkposition hinein mit der Nase zum Terminalgebäude rollen [21]. Das Ausparken beziehungsweise Zurückstoßen wird hier durch einen Schlepper ermöglicht [19, S. 275]. Es gibt ferner zwei verschiedene Arten von Schleppfahrzeugen. Einerseits die „Aircraft Tugs“, welche eine Schleppstange verwenden. Diese wird an das Bugfahrwerk angeschlossen und mithilfe dieser können die Flugzeuge auf ihren eigenen Rädern aus der Parkposition geschoben werden. Für jeden Flugzeugtyp wird hierbei eine spezielle Schleppstange benötigt [19, S. 275]. Als weitere Möglichkeit werden Plane Transport Systems (PTSs) genutzt. Diese Fahrzeuge haben die Möglichkeit, durch eine mittige Aussparung um das Bugfahrwerk zu fahren und dieses anzuheben. Das Flugzeug kann dann auf dem Hauptfahrwerk zurückgestoßen werden. Hierbei ist systembedingt keine Schleppstange vonnöten [19, S. 275].

Ungeachtet dessen, welches Modell für das Zurückstoßen genutzt wird, ist es vor allem bei großen Flugzeugen von Vorteil, wenn der Fahrer des Schleppers das Rollgeschehen hinter dem Flugzeug sehen kann. Die Kabinenhöhe eines für den Airbus A350-900 geeigneten Schleppers der Firma Nepean beträgt beispielsweise 1,65 Meter [43]. Verglichen mit der minimalen Unterbodenhöhe des Airbus A350-900 von zirka 1,96 Metern [17, S. 2-3-0] ermöglicht dies eine gute Sicht auf das Geschehen hinter dem Flugzeug. Einschränkungen entstehen lediglich durch die Fahrwerke und die Triebwerke, welche nur eine Bodenfreiheit von zirka 0,76 Metern aufweisen.

5.11 ENTEISUNG

Die Enteisung ist für die sichere Flugdurchführung im Winter unabdingbar. Es gilt, die Oberflächen des Flugzeuges vor dem Abflug von Vereisung zu befreien und vor neuem Ansatz zu schützen. Ein eventueller Strömungsabriss wird hierdurch vermieden [19, S. 274]. Die Enteisung wird in der Regel mithilfe einer Enteisungsflüssigkeit aus Glykol und Wasser vorgenommen. Hier gibt es verschiedene Typen mit unterschiedlichen Bezeichnungen, die für unterschiedliche Überbrückungszeiten Eisfreiheit garantieren [19, S. 274]. Aufgetragen werden sie in der Regel von Enteisungsfahrzeugen oder stationären Enteisungsstationen, die über einen Teleskoparm verfügen. Die Düse für den Ausstoß der Enteisungsflüssigkeit ist an diesem angebracht und somit können die benötigten Höhen, beispielsweise des vertikalen Leitwerks, erreicht werden.



Abbildung 5.8: Enteisungsfahrzeug vom Typ Safeaero 220 der Firma Textron an einem Großraumflugzeug vom Typ Boeing 777 (Textron, 2018)

Die Firma Textron entwickelt Fahrzeuge für diese Aufgaben. Das Modell Safeaero 220 (siehe Abbildung 5.8) ermöglicht es, die Düse bis zu 20 Meter über dem Boden über eine Breite von 14 Metern einzusetzen, ohne dass das Fahrzeug hierzu fahren muss [44]. Der Teleskoparm ist dabei zwischen 4 und 8,3 Metern lang [44]. Zusätzlich ist, wie in Abbildung 5.8 zu sehen, ein gewisser Überhang über dem Flugzeug möglich.

Von Maurer wird ebenfalls darauf hingewiesen, dass bei starker Vereisung bis in die Triebwerksschaufeln Heißluftgeräte zum Einsatz kommen, um diese vor dem Anlassen von Eis zu befreien [19, S. 274] .

Der Enteisungsprozess teilt sich in zwei Abschnitte. Das De-icing, bei dem die vorhandene Kontamination entfernt wird und das Anti-icing, bei welchem das Flugzeug vor neuer

Vereisung geschützt wird [35, S.100]. Je nach Art des genutzten Gemischs und nach Witterungsbedingungen bestimmt sich hier dann die oben genannte Überbrückungszeit, auch „holdovertime“ genannt [35, S.100]. Die ICAO hat empfohlen zentrale Enteisungspositionen einzurichten, sofern es Verzögerungen vermeidet und sinnvoll ist um die holdovertime nicht für lange Rollwege zu verbrauchen [21]. Dies ist eine Alternative zur Enteisung direkt an der Parkposition. Für diese zentralen Positionen sollte dann so geplant werden, dass ein Vorbeirollen anderer Flugzeuge bei Staubbildung möglich ist¹⁴ [21]. Des Weiteren werden solche zentralen Enteisungsstationen als förderlich für den Umweltschutz betrachtet, da ablaufende Flüssigkeiten zentral aufgefangen und entsorgt werden können [21]. Die Größe der Enteisungsfläche sollte sich an dem Flugzeug orientieren, welches den größten Platzanspruch hat und ausreichend Platz zum Rand bieten [21].

Beim Enteisen gibt es Vorgaben bezüglich der zu enteisenden Flächen. Airbus gibt für den A350-900 beispielsweise vor, die Oberseite der Flügel, des Rumpfes und des Höhenleitwerks, die Winglets, die Seiten des Seitenleitwerks und Teile der Triebwerksverkleidung und -aufhängung zu enteisen [17].

5.12 DER ZEITLICHE ABLAUF DES TURNAROUNDS

In den „Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning“ Veröffentlichungen erstellen Hersteller für Flughäfen Zusammenstellungen aller für die Flughafenplanung relevanten Eigenschaften des Flugzeuges. Neben Maßen und Kennwerten wird auch eine Basis für den zeitlichen Rahmen eines Turnaround-Prozesses geschaffen. Es gibt dabei verschiedene Herangehensweisen. Hier wird der klassische Turnaround mit dem Aussteigen und Einsteigen aller Passagiere besprochen und kein Transitprozess, bei dem ein Teil der Passagiere im Flugzeug verbleibt. Die Parkposition hierbei ist eine Terminalposition und keine freie auf dem Vorfeld.

¹⁴Die Auslegung solcher zentralen Positionen muss daher in Anlehnung an den Aerodrome Reference Code von einer gewissen Maximalspannweite ausgehen.

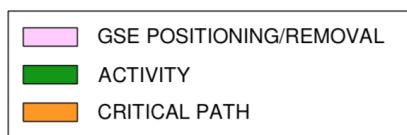
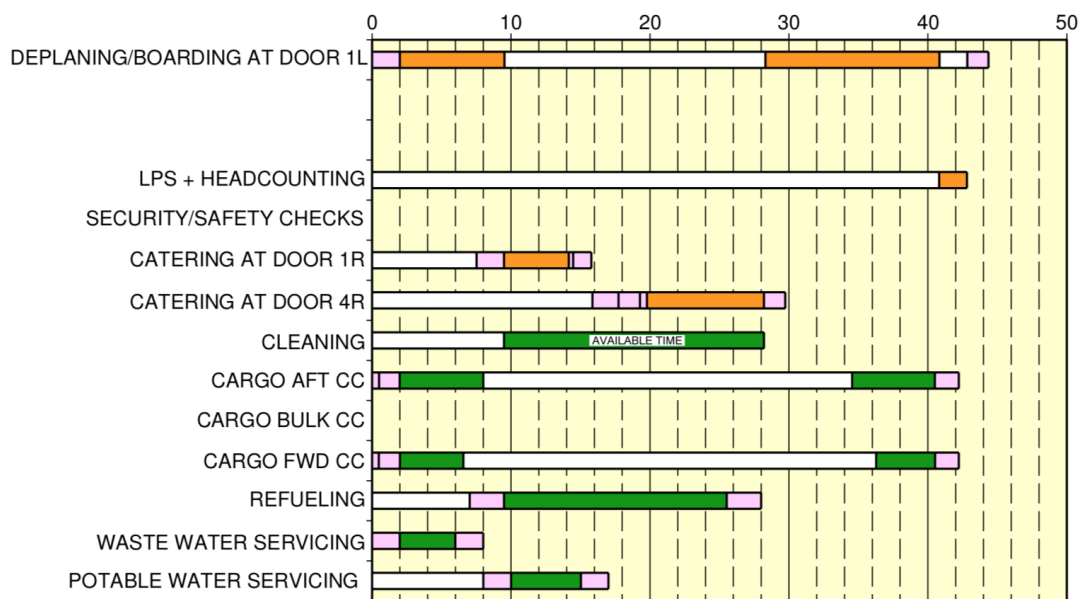


Abbildung 5.9: Von Airbus veranschlagte Zeiten für den Turnaround eines Airbus A320-200, Gesamtdauer: 44,2 Minuten (Airbus, 2018 [24])

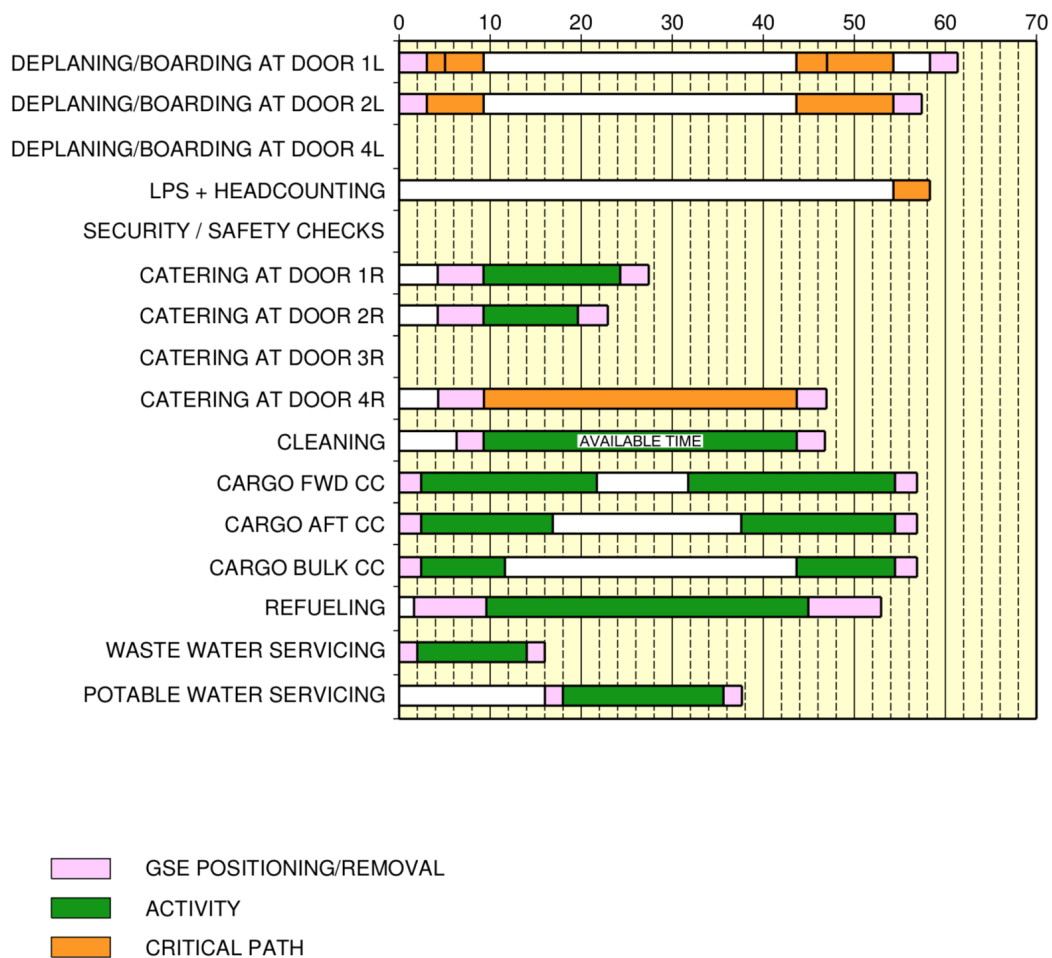


Abbildung 5.10: Von Airbus veranschlagte Zeiten für den Turnaround eines Airbus A350-900 Gesamtdauer: 61 Minuten (Airbus, 2018 [17])

Die dargestellten Turnaround-Zeiten basieren auf dem Modell des kritischen Pfades. Der Pfad, der die Mindestzeit für den Turnaround vorgibt, wird als kritischer Pfad bezeichnet [45, S.5]. Er entsteht, indem die Prozesse, die nicht gleichzeitig ablaufen können, aneinandergereiht werden, um somit die kürzeste Gesamtdauer festzustellen. Es gibt ferner für die einzelnen Prozesse von den Herstellern angesetzte Zeiten für Positionierung, Erledigung der Aufgaben und Abzug, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Flugzeug wieder frei von dem jeweiligen Gerät ist. Das Ergebnis ist, dass wie in den Abbildungen 5.9 und 5.10 dargestellt, die Prozesse Deboarding, Catering und Boarding den kritischen Pfad darstellen [46].

All diese Teilprozesse sind auf den folgenden Seiten dargestellt und auf das „Flying V“ angewandt. Der Gesamtprozess Turnaround wird letztlich ebenfalls für dieses Flugzeug im Hinblick auf Layout und zeitlichen Ablauf besprochen.

6 ANWENDUNG DES ABFERTIGUNGSVORGANGES AUF DAS „FLYING V“

Für die Anwendung auf das „Flying V“ wird zunächst die Geometrie des Flugzeuges analysiert. Um hier präzise und verwendbare Aussagen zu treffen, werden die von Benad in dem Report [10] und dem Artikel [13] dargestellten Grafiken analysiert und maßstabgetreue Vektorgrafiken erstellt. Diese Grafiken dienen als Grundlage für die Ermittlung von Maßen und sind in Kapitel 2 abgebildet.

6.1 START- UND LANDEBAHN

Wie in Kapitel 4.1 besprochen gibt es bei Start- und Landebahnen mehrere Kriterien zu beachten.

Für die Analyse der Belastung des Untergrundes muss auch bei dieser neuen Konfiguration die ACN in Betracht gezogen werden. In seiner Auslegung hat Benad dargelegt, dass das „Operation Weight Empty“¹⁵ der Konfiguration voraussichtlich um 2 % leichter sein wird als das des Referenzflugzeuges Airbus A350-900. Des Weiteren wurde eine Konfiguration mit einem Fahrwerk bestehend aus zwei Hauptfahrwerken und einem Bugfahrwerk gewählt. Das Fahrwerk wurde in Dimensionierung und Auslegung an dem des Airbus A350-900 orientiert [13]. Diese Auslegung, unter der Beachtung des Referenzflugzeuges, führt zu dem Schluss, dass bei gleichem Reifeninnendruck das „Flying V“ an denselben Flughäfen wie der Airbus A350-900 verwendet werden kann, zumindest die ACN betrachtend.

Der äußere Abstand der Hauptfahrwerke ist, wie in Abbildung 2.1 zu sehen, 12,54 Meter. Beim Referenzflugzeug Airbus A350-900 sind es 12,87 Meter. Die Spannweite ist, den Aerodrome Reference Code beachtend, identisch mit der des Referenzflugzeuges gewählt worden. Das „Flying V“ ist demnach ebenfalls auf Pisten an Flughäfen mit dem Codebuchstaben E nutzbar.

Die Reference Field Length für den Airbus A350-900 liegt bei über 1800 Metern. Für das „Flying V“ ist eine genaue Berechnung für Start und Landung bisher nicht durchgeführt worden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit der von Benad [13] angenommenen Geschwindigkeit für den Start und der mit dem Airbus A350-900 vergleichbaren Triebwerksleistung die Startstrecke ähnlich ausfallen wird. Es ist hier anzumerken, dass sämtliche Großraumflugzeuge der Firma Airbus derzeit nach dem Aerodrome Reference Code einen Flughafen der Codezahl 4 benötigen.

¹⁵Flugzeugmasse betriebsbereit, aber ohne Passagiere, Cargo und Treibstoff

6.2 ROLLWEGE

Grundsätzlich kann durch die Geometrie des Flugzeuges davon ausgegangen werden, dass ein Betrieb an einem Flughafen der Kategorie E nach dem Aerodrome Reference Code möglich ist. Sowohl der Außenabstand der Hauptfahrwerke als auch die Spannweite ermöglichen somit ein Rollen auf diesen Flughäfen.

Ebenfalls kann davon ausgegangen werden, dass durch den kürzeren Radstand des „Flying V“ die möglichen Kurvenradien enger werden und die Ausmaße des Versatzes der Hinterradspuren ebenfalls geringer ausfallen werden, verglichen mit dem Airbus A350-900.

Letztlich ist zu erwarten, dass der Fokus bei Rollwegen und neuen Flugzeugkonfigurationen eher auf neuen Ortungstechnologien und Rollweg-Managementsystemen liegen wird und geringere Abweichungen der Geometrie von bisherigen Standards in den Hintergrund rücken werden [15].

6.3 DIE PARKPOSITION

Da das „Flying V“ unter Beachtung des Aerodrome Reference Codes entwickelt wurde, ist die Grundlage für die Abfertigung in eine für Flugzeuge mit dem Codebuchstaben E zugelassene Parkposition geschaffen. Ein direkter Vergleich der Aircraft Safety Line des „Flying V“ zeigt jedoch, dass die Abfertigung nicht nur in jeder Airbus A350-900 geeigneten Position ermöglicht wird, sondern auch, dass die Abfertigung in um mindestens 15,7 Meter kürzeren Parkpositionen ebenfalls möglich ist. Dieser Wert liegt unter der Längendifferenz der Flugzeuge von 23,93 Metern. Dies zieht in Betracht, dass heutige Parkpositionen Hindernisse im Bereich des vorderen Rumpfes aufweisen könnten. Diese würden bei dem „Flying V“ innerhalb der Aircraft Safety Line liegen, wenn es bis auf die minimale Distanz an den Terminal heranrollen würde. Die komplette Stand Safety Line des „Flying V“ innerhalb der des Airbus A350-900 unterzubringen hat zudem den Vorteil, dass bestehende Gate Positionen keine neue Stand Safety Line ausweisen müssen, sondern lediglich die Stop Line des „Flying V“ hinzugefügt werden muss.

Durch die weiter hinten liegende Parkposition kann es, bedingt durch die maximale Länge der Fluggastbrücke, zu Problemen kommen. Die Fluggastbrücke könnte bei der nach hinten versetzten Halteposition des „Flying V“ die Türen des Flugzeuges gegebenenfalls nicht mehr erreichen. Da Fluggastbrücken an unterschiedlichen Parkpositionen unterschiedliche Längen aufweisen können[47], müssen hier die Parkpositionen der Flughäfen individuell überprüft werden.

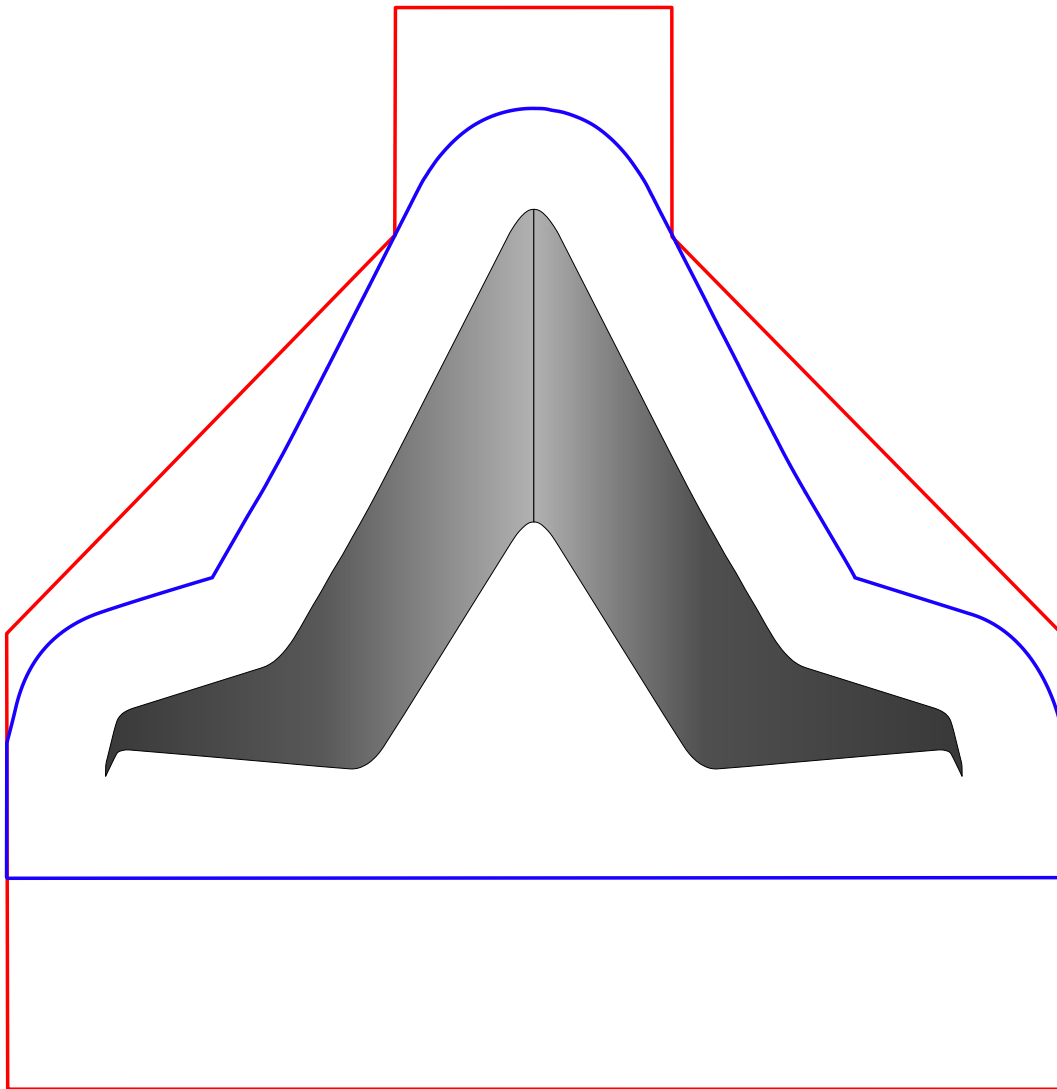


Abbildung 6.1: Vergleich der Stand Safety Line des Airbus A350-900 (vgl. Abbildung 5.1) mit der des Flying V (eigene Darstellung)

6.4 BOARDING UND DEBOARDING

Die grundsätzlichen Voraussetzungen für die Nutzung der bestehenden Fluggastbrücken hängen von der Höhe der Passagiertüren ab. Die Unterkante der Türen werden bei der von Benad in [10] vorgeschlagenen Kabinenform 1,11 Meter über der Rumpfunterkante und damit 2,46 Meter über dem Boden liegen. Dieser Wert liegt unter dem des Referenzflugzeuges. Diese Höhe ist grundsätzlich von Fluggastbrücken zu erreichen, jedoch müssen die jeweiligen Modelle der Flughäfen überprüft werden, um eine exakte Aussage über die Möglichkeiten der Abfertigung treffen zu können.

Der Turnaround ist wie oben besprochen ein zeitkritischer Prozess. Insbesondere bei größeren Passagierzahlen, wie beispielsweise der 420 Passagiere in der Einklassenbestuhlung des „Flying V“ und des Airbus A350-900 [10] oder der Zweiklassenbestuhlung mit insgesamt 315 Passagieren, können hier Verzögerungen auftreten.

Tabelle 6.1: Ein- und Aussteigeraten des Referenzflugzeuges und des Airbus A320-200 [17] [24] im Vergleich mit der Annahme für das „Flying V“

Aircraft	Deboarding Rate	Boarding Rate
Airbus A320-200 Door 1L	20 Pax/min per door	12 Pax/min per door
Airbus A350-900 Doors 1L & 2L	25 Pax/min per door	15 Pax/min per door
Flying V Assumption Doors 1L & 2L	20 Pax/min per door	12 Pax/min per door

Da die Passagierzellen des „Flying V“ jeweils nur einen Gang haben, wird als Anhaltspunkt die Annahme der Abläufe bei den Ein- und Aussteigevorgängen des Airbus A320-200 gewählt. Die oben erwähnte Anzahl von Sitzen pro Gang ist identisch mit der des Airbus A320-200 was ebenfalls für die getroffene Annahme spricht [24] [17].

Aus den genannten Anhaltspunkten ergibt sich, dass die Ein- und Aussteigevorgänge voraussichtlich 20 % langsamer sein werden als bei einem konventionellen Flugzeug mit vergleichbarer Sitzkapazität.

Aufgrund der bereits niedriger zu erwartenden Rate beim Ein- und Aussteigen wird vom Autor empfohlen, das Ein- und Aussteigen über zwei Türen vorzunehmen. Die Position der Türen ist jedoch unter anderem auch für die Verteilung der Notausgänge relevant und kann hier nicht abschließend geklärt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass an den Rumpfaußenseiten jeweils 3 Türen angebracht werden müssen, um die entsprechenden Evakuierungszeiten einhalten zu können ¹⁶. Ein Airbus A320-200 hat bei ähnlicher Bestuhlung beispielsweise zusätzlich zu der vorderen und hinteren Tür noch 2 kleinere Notausgänge über den Tragflächen [24].

¹⁶Die heutigen Anforderungen verlangen eine vollständige Evakuierung bei Dunkelheit über nur eine Seite innerhalb von 90 Sekunden ([20, S.75]). Benad hat bereits erwähnt, dass aufgrund der neuartigen Konfiguration dieses Zulassungskriterium für Nurglügler eventuell überarbeitet werden muss.

Der Boardingvorgang würde von einer Aufteilung der Passagiere vor dem Einsteigen in das Flugzeug profitieren. So würde die Rechte Passagieröhre vornehmlich durch die vordere, und die linke Passagieröhre durch die hintere Tür geboarded. Von dieser Technik des Zonenboardings kann auch der Airbus A380-800 profitieren. Dieses Flugzeug verfügt über zwei Passagierdecks, die durch unterschiedliche Fluggastbrücken geboarded werden können. Die Passagiere müssen sich hierzu anhand ihrer Sitzreihe aufteilen. Die Simulation und Entwicklung eines effizienten Boarding Modells wird für zukünftige Arbeiten vorgeschlagen. Auch ein effizientes Kabinenlayout könnte so erarbeitet werden.

6.5 BE- UND ENTLADUNG VON FRACHT

Die nachfolgenden Erläuterungen und Nachforschungen werden hauptsächlich auf Basis der in Abschnitt 5.3 beschriebenen LD3 Container durchgeführt. Diese Überlegungen unterscheiden sich von den Annahmen, welche Benad in [10] trifft, bei denen der Laderaum Ausmaße für Container der Größe 1,9 x 1,9 Meter liefert. Grund hierfür ist die vorhandene Infrastruktur der ULD-Container sowie die Tatsache, dass ein für ULD Container ausgelegter Frachtraum auch Standardpaletten aufnehmen kann. Wie in Abschnitt 5.3 besprochen, stellen die vorhandenen Container einen umfangreichen Marktwert dar und ermöglichen es zudem, die Container bei Transferverbindungen vollständig in andere Flugzeuge umzuladen.

Die Laderaumlänge ist von Benad mit 24 Metern ausgelegt worden [13, S.32]. Die Grundlagen hierfür waren ein Frachtvolumen des Airbus A350-900 von 175 Kubikmetern. Dieses wurde aus der Information gewonnen, dass der Airbus A350-900 36 Standard LD3 Container laden kann.

Die Beladung mit Standardcontainern nach dem LD3 Format würde in einem 24 Meter langen Frachtraum insgesamt für 30 Container pro Reihe Platz bieten. Eine genaue Analyse bezüglich der maximalen Laderaumlänge ist aufgrund fehlender Daten zum exakten Profil nicht möglich. Anhand der dargestellten Abbildung 6.2 lässt sich jedoch erkennen, dass in dem von Benad vorgeschlagenen Profil durchaus Raum vorhanden wäre, um eine klassische Anordnung von zwei LD3 Containern zu ermöglichen.

Eine Anordnung, vergleichbar mit der von Frachtflugzeugen, würde ebenfalls durch einen breiteren Rumpf, der die gesamte Hecksektion für Fracht nutzt und die Passagiere nur im vorderen Teil befördert, durch den Vorschlag von Faggiano ermöglicht werden [10]. Da Benad jedoch aufgrund des Problems einer Evakuierung explizit eine Konfiguration mit rundem Querschnitt und vielen Plätzen direkt an den außen liegenden Wänden für die Auslegung des „Flying V“ in Betracht gezogen hat, wird hier die ursprüngliche Auslegung betrachtet.

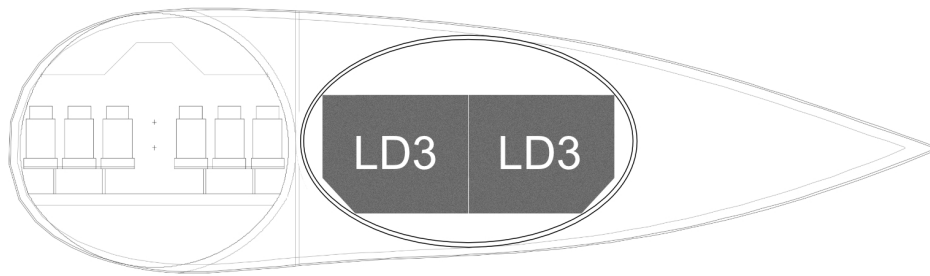


Abbildung 6.2: Mögliche Konfiguration eines ovalen Frachtraumes mit Platz für zwei LD3 Container (Darstellung bearbeitet nach Benad [10])

Mit der in Abbildung 6.2 gezeigten Auslegung wäre rein rechnerisch eine Kapazität von 60 Containern möglich. Gegebenenfalls kann es strukturell empfehlenswert sein, die Länge oder Aufteilung des Frachtraumes noch anzupassen. Auch die Form wird, aufgrund der Tatsache, dass der Frachtraum ebenfalls unter Druck steht, weiter angepasst werden. Hier wird empfohlen, insbesondere auf eine massensparende Bauweise zu achten. In dem Vorentwurf wurde von Benad die Möglichkeit der Evakuierung durch die Frachträume nach hinten hinaus besprochen, um bei versperrem Ausgang an den Flügelvorderkanten die Passagiere in Sicherheit zu bringen. Die parallele Anordnung von Standard Containern ermöglicht ebenfalls, bei vergleichbarer Container Kapazität wie bei dem Airbus A350-900, die Evakuierungswege frei zu lassen. Besondere Container mit Evakuierungswegen könnten an den richtigen Positionen zwischengeladen werden.

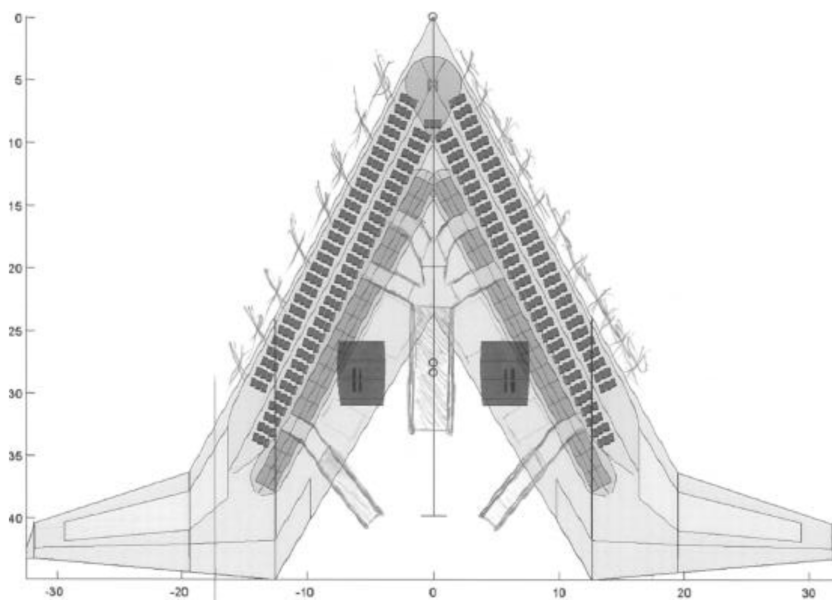


Abbildung 6.3: Gedanken von Benad zu möglichen Evakuierungswegen bei versperreter Front (Benad [10], 2014)

Zusätzlich zur Frachtraumauslegung muss noch die Positionierung der Beladefahrzeuge und der Öffnungen, beziehungsweise Rampen der Frachträume, besprochen werden. Anhand der Abbildung 6.2 ist zu erkennen, dass die Container auf Höhe der Flügelhinterkante liegen. Eine Beladung bei der ein Fahrzeug mit Hebebühne die Container direkt auf die Höhe des Frachtraumbodens hebt, ist somit vermutlich kompliziert, da große Türen für den nötigen Raum entwickelt werden müssten. Das bereits von Benad angesprochene Konzept, Rampen zu nutzen, wird auch vom Autor als vielversprechend eingeschätzt. Am Ende der Cargo-Sektion könnte eine Rampe die Container von dem Punkt, an dem ein Loader sie übergibt, bis in den Frachtraum transportieren. Ein Rollensystem auf der Rampe oder eine Rampe mit eigenem Hubsystem, welches die Container waagrecht in den Frachtraum hebt, sind Möglichkeiten dies zu realisieren. Beide wären im Vergleich mit heutigen Konfigurationen vergleichsweise schwer, würden jedoch die Anschaffung neuen Gerätes für die Abfertigung vermeiden.

Die Rampe am Ende der Frachtraumröhre könnte in vergleichbarer Konstruktion wie die Passagiertreppe der Boeing 727 angefertigt werden. Diese Art der Konstruktion ist bereits genutzt worden und verspricht bei mit Druck beaufschlagten Kabinen einsetzbar zu sein.



Abbildung 6.4: Hintere Passagiertreppe einer Boeing B727 (P. Chesi, 1975)

Es ist nicht immer praktikabel, das Gepäck in Container zu verladen und, um die nötige operationelle Freiheit zu gewährleisten, wird das „Flying V“ ebenfalls über ein Bulk Cargo Compartment verfügen müssen. Eine Lösung wäre es, die Bulk Cargo Compartments unterhalb der Passagiere anzuordnen. Ähnlich wie beim Airbus A320-200 (oder

Airbus A321-200, vgl. Abbildung 5.4) könnte an den Enden der Rumpfssegmente Platz hierfür geschaffen werden. Aufgrund der Abwesenheit von Türen für Container ist jedoch auch eine Anbringung im vorderen oder mittleren Bereich möglich. Es sollte darauf geachtet werden, dass ausreichend Abstand zu den Kabinentüren und zum Tankanschluss gelassen wird, um hier ein reibungsloses Arbeiten zu gewährleisten.

6.6 TANKPROZESS

Der Tankprozess wird bei dem „Flying V“ ähnlich wie bei einem modernen Verkehrsflugzeug zu realisieren sein. Die Anordnung der Tanks im Flugzeug selber ist kein Teil dieser Arbeit, da die Betankungszugänge hiervon nicht betroffen sein müssen.

Ein Anschluss unterhalb der Rumpfröhren scheint aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Höhe wenig praktikabel. Zudem müsste für eine Betankung am Rumpf die mit Druck beaufschlagte Struktur durchbrochen werden, was entsprechend des Entwurfes von Benad die Struktur komplexer gestalten würde.

Es wird daher vorgeschlagen, den Betankungszugang unterhalb der hinteren Flügel anzubringen. Die maximale Höhe liegt hier bei zirka 5,5 Metern¹⁷, was in etwa der Höhe des Tankanschlusses eines Airbus A350-900 entspricht und somit eine ähnliche Positionierung und Ausrichtung des Tankwagens oder Dispensers ermöglicht. Zudem wird hierdurch ausreichend Abstand zu den in Abschnitt 6.5 vorgeschlagenen Positionen der Containerfahrzeuge gelassen. Einen Vorschlag für die Position des Tankwagens ist in Abschnitt 6.14 zu sehen.

Der zeitliche Ablauf des Betankungsvorganges wird als nur geringfügig abweichend von dem eines Airbus A350-900 erwartet. In seinen Auslegungen hat Benad in [10] die Annahme getroffen, dass das „Flying V“ mit derselben Masse an Treibstoff ausgestattet wird. Die Positionen der Treibstofftanks sind hierbei sowohl zentral als auch in den Flügelspitzen vorgesehen.

6.7 CATERING

Für das Catering ist die Anordnung der Galleys relevant. Da die Passagierzellen ähnlich lang sind wie die eines Airbus A320-200 und ein vergleichbares Kabinenlayout aufweisen, ist zu erwarten, dass eine vergleichbare Verteilung der Galleys optimal wäre. In diesem Konzept würde jeweils eine kleinere Galley am Ende einer jeden Passagierzelle und eine größere im vorderen Bereich angeordnet werden. Der bordseitige und operationelle Ablauf ist nicht Teil dieser Arbeit. Für die weitere Betrachtung wird diese Einrichtung zugrunde gelegt. Diese Anordnung deckt sich mit der Auslegung von Benad in [10].

¹⁷vor Beginn der Winglets

Für das Catering müssten hier insgesamt drei Fahrzeuge genutzt werden. Dies ist, wie in Abbildung 5.1 zu sehen, die gleiche Anzahl der beim Airbus A350-900 genutzten Fahrzeuge. Die Höhen der Türunterkanten wurden bereits in Abschnitt 6.4 ermittelt und betragen 2,46 Meter. Verglichen mit den möglichen Höhen aus dem Abschnitt 5.5 zeigt sich, dass die bestehenden Fahrzeuge genutzt werden können. Die Fahrzeuge würden an der hinteren linken sowie der vorderen und hinteren rechten Tür platziert werden. Im Abschnitt 6.14 ist dies dargestellt.

Da der Umfang des Caterings und die Anzahl der Galleys und der verwendeten Fahrzeuge identisch mit denen des Airbus A350-900 ist, wird der zeitliche Aufwand hier als ähnlich angenommen. Ein Vergleich mit dem zeitlichen Aufwand bei einem Airbus A320-200 erscheint nicht sinnvoll, da der Umfang des Caterings bei einem Schmalrumpfflugzeug durch die Nutzung auf Kurz- und Mittelstrecken anders (in der Regel geringer) ausfällt.

6.8 CLEANING

Das Cleaning ist flughafenseitig bei dem Flying V unproblematisch. Das Reinigungspersonal kann sowohl durch die in Abschnitt 6.4 als verwendbar dargestellten Fluggastbrücken, als auch mithilfe eines eigenen Fahrzeuges an das Flugzeug heranzufahren. Für das eigene Fahrzeug müsste die mittlere rechte Tür verwendet werden. Die Laufwege des Reinigungspersonals wären somit in die linke Passagierkabine länger, doch da es sich beim Cleaning üblicherweise um einen nicht zeitkritischen Prozess handelt ¹⁸, wird dies wie genannt als unproblematisch eingeschätzt.

6.9 WATER AND WASTE

Die in Abschnitt 5.7 besprochenen Frisch- und Abwasserbehälter müssen in mit dem Airbus A350-900 vergleichbarer Anzahl und Größe ebenfalls im „Flying V“ untergebracht werden. Dies ist durch das Einsatzspektrum (Anzahl Passagiere und Reichweite) bestimmt, welches wie in Kapitel 2 besprochen als Grundlage der Entwicklung gesetzt wurde.

Das Gesamtgewicht der gefüllten Tanks ist aufgrund deren unbekannter Eigenmasse schwer abzuschätzen. Die insgesamt bis zu 2700 Liter Flüssigkeiten und deren Masse sprechen jedoch für eine zentrale Anordnung. Ein getrenntes System für jeweils eine der Passagierzellen hält der Autor für nicht sinnvoll, da hierbei Abfertigungsprozesse deutlich verlängert würden und einen operationellen Nachteil gegenüber bestehenden Flugzeugkonfigurationen darstellen würde. Außerdem würden Wartungskosten und -umfang bei zwei getrennten Systemen vermutlich höher sein als bei nur einem. Durch eine zentrale Anordnung werden die Leitungswege für das Wasser der jeweiligen Passagierkabine kürzer. Die Position der Serviceanschlüsse in der Nähe der Tanks erscheint aufgrund kürzerer Leitungen ebenfalls sinnvoll. Hier muss beachtet werden, dass der Anfahrweg für

¹⁸Der Prozess des Cleanings kann durchaus einen zeitkritischen Abschnitt darstellen [15]. Diese Annahme wird jedoch von Airbus beispielsweise für den Airbus A350-900 nicht in Betracht gezogen und lediglich mit der „verfügbaren Zeit“ für das Cleaning gearbeitet [17]. (vgl. Abschnitt 5.12)

die Wasserwagen nicht durch die Be- und Entladung von Containern gestört wird.

Eine zentrale Position der Anschlüsse am Heck wird wie in Abbildung 6.7 zu erkennen die Frachtbeladung nicht stören, sofern ein wie in Abschnitt 6.5 besprochenes System mit Rampen am Ende der Frachträume zum Einsatz kommt.

6.10 MAINTENANCE

Die Kontrolle des Flugzeuges vor jedem Flug und Tag ist beim „Flying V“ in Umfang und Art wie bei bestehenden Flugzeugen durchzuführen. Insbesondere können Probleme bei dem Überprüfen der Triebwerke oder dem Nachfüllen von Triebwerksöl auftreten, da diese oberhalb des Rumpfes angeordnet sind. Bei Flugzeugen wie der McDonnell Douglas MD11 ist dies ebenfalls der Fall [48, S.208], sodass dies keineswegs als unlösbar dargestellt wird, bei der weiteren Auslegung jedoch mit in Betracht gezogen werden sollte.

Insbesondere im Bereich der Überholung kann es aufgrund der neuartigen Struktur Unterschiede bei der Kontrolle dieser geben. Ob die geringeren Biegemomente einen direkten Einfluss auf den Umfang der Kontrollen haben, oder durch Material- und Gewichtseinsparungen kompensiert werden wird im Laufe der weiteren Entwicklung des „Flying V“ geklärt werden müssen, ist jedoch kein Bestandteil dieser Arbeit.

6.11 EXTERNE ZUSATZGERÄTE

Bevor in den nachfolgenden Abschnitten die einzelnen Zusatzgeräte angesprochen werden, soll kurz eine Überlegung bezüglich der APU angestellt werden. Die Dimensionierung der APU wird, aufgrund von vergleichbarer Passagierkapazität und Triebwerksgröße, voraussichtlich der eines Airbus A350-900 entsprechen. Die Anbringung dieser wird ebenfalls eine Auswirkung auf die Massenverteilung entlang der Querachse haben. Die Position der APU kann entweder, wie bei konventionellen Passagierflugzeugen im Heck, hinter einer der beiden Passagierkabinen oder mittig zwischen ihnen, angebracht werden. Eine mittige Positionierung scheint insbesondere aufgrund der Einsparungsmöglichkeiten von Leitungen¹⁹ und aufgrund der gleichmäßigen Gewichtsverteilung sinnvoll. Um die Bodenabfertigung nicht einzuschränken, wird empfohlen, den Auslass der APU in ausreichender Höhe oder nach oben gerichtet anzubringen, sodass die heißen Abgase den Betrieb nicht stören.

In den nachfolgenden Abschnitten wird nur auf die Positionierung der einzelnen Anschlüsse eingegangen. Es wurden bei der Recherche keine Gründe gefunden, von den Standard-Anschlüssen abzuweichen und somit wird empfohlen, alle Anschlüsse für Bodenequipment dem Standard des Airbus A350-900 entsprechen zu lassen.

¹⁹Beispielsweise Druckluftleitungen zu den Haupttriebwerken und elektrische Leitungen für die Versorgung der Flugzeugsysteme und Beleuchtungen

Diese Standards sind²⁰ [17]:

- *External Power Receptacle: Two standard ISO 461 Style3 – 90 kVA each*
- *Low Pressure Connecors: Two standard 8 in. SAE AS4262 type B connections*
- *High Pressure Connectors: Two standard 3 in. ISO 2026 connections*

6.11.1 ELECTRICAL GROUND POWER

Der Anschluss der Versorgung mit elektrischem Strom sollte am Bug in der Nähe des vorderen Fahrwerkes gewählt werden. Dies entspricht der Positionierung am Airbus A350-900 und verspricht somit, ohne Änderungen an der bestehenden Kabelauführung, die Verbindung an bestehenden Stromversorgern zu ermöglichen. Aufgrund der niedrigen Höhe des Rumpfes an dieser Stelle scheint eine versetzte Anbringung zur Seite ebenfalls sinnvoll. Dies würde dem Bodenpersonal das Anschließen erleichtern und somit Zeit sparen. Beim Airbus A350-900 ist der Anschluss um 0,91 Meter nach rechts von der Symmetrielinie versetzt [17]. Für das „Flying V“ wird daher ein Versatz auf die rechte Seite ebenfalls vorgeschlagen.

6.11.2 AIR STARTER UNIT

Die Hochdruck Luftanschlüsse („High Pressure Air Connecors“⁴) der ASU werden wie in Abschnitt 5.9.3 genannt durch mobile Einheiten bedient. Ein Anschluss unterhalb des Rumpfes auf einer der beiden Seiten wird daher empfohlen. Die Positionierung sollte hierbei mittig zwischen zwei Türen sein, um die anderen hier benötigten Fahrzeuge nicht zu behindern. Hierdurch wird die Länge der Hochdruckleitungen zu einem der Triebwerke steigen, dies scheint jedoch im Rahmen der restlichen Auslegung vernachlässigt werden zu können. Ein Anschluss mittig unterhalb des Flugzeuges würde zwar Leitungsmasse sparen, verursacht jedoch für den Betrieb Probleme, da die Rumpfelemente, wie in Abschnitt 6.4 beschrieben, lediglich 1,35 Meter über dem Boden liegen und somit ein Unterlaufen des Bodenpersonals behindern.

6.11.3 GROUND AIR CONDITIONING

Die Anschlüsse für klimatisierte Luft werden voraussichtlich in der Nähe der Triebwerke sein, da sich hier wie beim Airbus A350-900 zum Beispiel die bordeigenen Klimaanlage und somit auch die nötigen Leitungen befinden. Ein Anschluss auf der linken Seite des Flugzeuges wird ebenfalls als sinnvoll erachtet, da wie in Abbildung 5.7 zu sehen bei festen Anlagen diese üblicherweise auf der linken Seite des Flugzeuges positioniert werden. Die Leitungen vom Bodenpersonal unter dem Rumpf auf die andere Seite zu bewegen, ist wie in Abschnitt 6.11.2 angesprochen nicht praktikabel.

²⁰Low Pressure bezeichnet den Anschluss für die Klimaanlage und High Pressure für das ASU

6.12 ZURÜCKSTOSSEN

Für das Zurückstoßen des „Flying V“ wird wie für den Airbus A350-900 vermutlich ein Bugfahrwerk mit Anschluss für eine Schleppstange, sowie der Möglichkeit für die Nutzung eines PTS zum Einsatz kommen. Die genaue Auslegung obliegt dem Hersteller. Aufgrund des antizipierten maximalen Startgewichts [10, S.39] kann davon ausgegangen werden, dass bestehende Schleppfahrzeuge ausreichend motorisiert sind, um das „Flying V“ zu schieben, sofern sie für Flugzeuge der Größe eines Airbus A350-900 ausgelegt sind. Die geringe Höhe des Flugzeuges kann jedoch die Sicht beim Zurückstoßen einschränken. Es kann daher nötig sein, bei mehr Vorgängen als üblich sogenannte Wingwalker²¹ einzusetzen.

6.13 ENTEISUNG

Für die Enteisung des „Flying V“ wird der Hersteller ebenfalls in Versuchen und Berechnungen ermitteln, welche Flächen behandelt werden müssen. Zunächst wird hier die Annahme getroffen, dass nach dem Schema eines Airbus A350-900 als Referenzflugzeug vorgegangen wird.

Nachfolgend dargestellt sind die Bereiche, die von dem in Abschnitt 5.11 besprochenen Enteisungsfahrzeug bei einer Armlänge von 8,3 Metern erreicht werden können, ohne dass die Kabine selbst weiter als mit ihrem Mittelpunkt über das Flugzeug hängt. Genaue Angaben zu erlaubten Überhängen wurden nicht gefunden, jedoch soll darauf hingewiesen werden, dass ein weiterer Überhang, wie in Abschnitt 5.11 bereits erwähnt, zumindest theoretisch möglich ist.

Ein Sicherheitsbereich wurde hier dargestellt, in dem sich der Enteiser aufgrund der auch bei Leerlauf hohen Austrittsgeschwindigkeiten der Triebwerke nicht aufhalten sollte²². Diese Maßnahme ist theoretischer Natur und hängt von der finalen Konfiguration der Triebwerke ab. Für den Sicherheitsbereich wurden die von Airbus für den Airbus A350-900 Vorlagen als Grundlage verwendet [17], da für das „Flying V“ voraussichtlich ähnlich dimensionierte Triebwerke zum Einsatz kommen werden.

Anhand der angefertigten Zeichnung ist zu erkennen, dass von oben, ohne Überhang der Fahrerkabine, nicht zu erreichende Bereiche vorhanden sind. Da hiervon Bereiche des Tragflügels und der Triebwerke betroffen sind, ist davon auszugehen, dass dies nicht alle zu enteisenden Bereiche abdeckt. Eine einfache Lösung ist das Erarbeiten einer Vorgehensweise, nach der eine Annäherung mit Überhang möglich ist.

Es ist anzumerken, dass die Enteisung untenliegender Flächen aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Bodenfreiheit eingeschränkt wird, sollte sie notwendig sein.

²¹Bodenpersonal das üblicherweise dafür eingesetzt wird, darauf zu achten, dass die Flügelspitzen beim Einrollen oder Zurückstoßen keine Hindernisse treffen [49, Abschnitt 5.1].

²²Eine Erläuterung der Konturen der Austrittsgeschwindigkeiten ist in Abschnitt 6.16 zu finden.

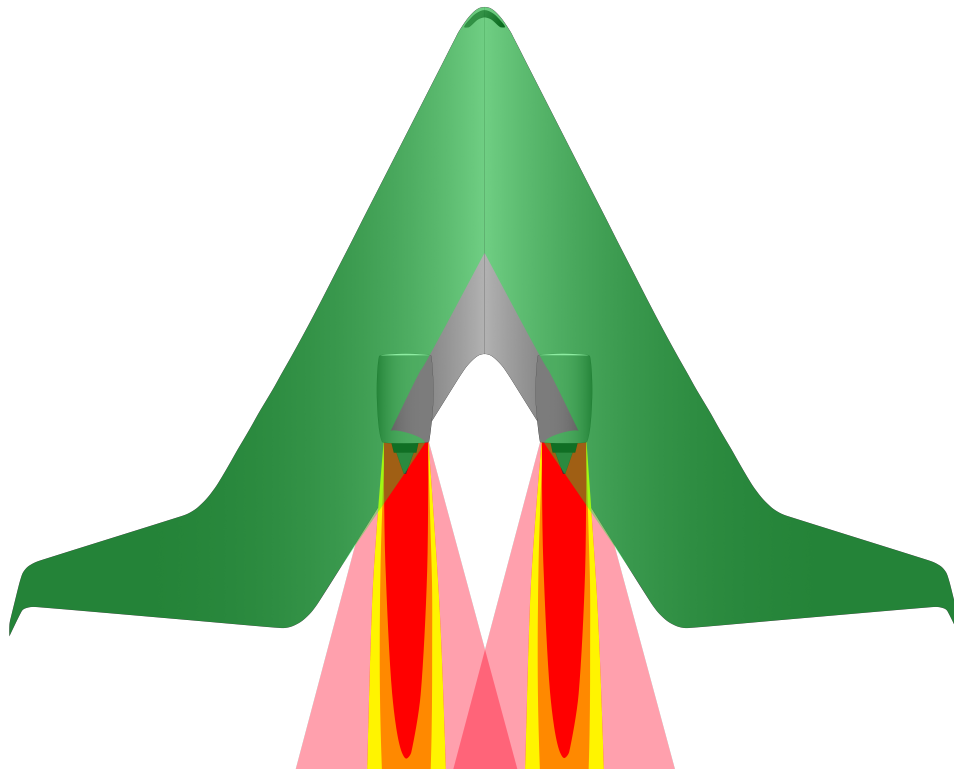


Abbildung 6.5: In Grün die vom Beispiel-Enteisungsfahrzeug zu erreichenden Flächen auf der Oberseite des „Flying V“. In Rot der nicht zu befahrende Sicherheitsbereich aufgrund der Triebwerke. (eigene Darstellung)

Auch die besprochene Enteisung der Triebwerksschaufeln bei Vereisung kann problematisch werden, jedoch ist dies nicht neu, denn, wie in Abschnitt 6.10 besprochen, ist diese Konfiguration nicht die erste mit Triebwerken in vergleichbarer Höhe vom Boden.

6.14 DAS LAYOUT

Das Layout für die Abfertigung des „Flying V“ basiert auf der Annahme, dass die Türen zunächst dort an den Passagierzellen sind, wo sie bereits von Benad in der Visualisierung geplant wurden. Es ist anzumerken, dass bei der Auslegung darauf geachtet wurde, dass die Umsetzbarkeit durch kleinere Verschiebungen der Passagiertüren nicht weiter beeinflusst wird. Ebenfalls anzumerken ist, dass insbesondere das Heck des Flugzeuges Platz für viele verschiedene Fahrzeuge bieten muss. Im Rahmen dieser Planung ist es gelungen, die entsprechenden Fahrzeuge so anzuordnen, dass hierbei keine Probleme entstehen, jedoch sollte insbesondere bei einer zukünftigen Ablaufplanung an einem Flughafen die genaue Anordnung der jeweiligen verfügbaren Fahrzeuge geprüft werden.

Das vom Autor vorgeschlagene Layout für die Abfertigung des „Flying V“ basiert auf dem von Airbus für den A350-900 angenommenen Gerät für die Abfertigung. Dieses wird aufgrund der Tatsache, dass der Hersteller Airbus diese Ausmaße der Geräte für die Flughafenplanung vorschlägt, als für viele Flughäfen geltende Grundlage eingeschätzt. Im Umfang wurde ein weiteres Bandfahrzeug für das Beladen von Bulk Cargo, sowie eines für die Anlieferung dessen hinzugefügt, da es nach den Überlegungen des Autors zwei Bulk Cargo Räume geben wird. Es ist nicht nötig zwei Fahrzeuge hierfür zu verwenden, da wie in Abbildung 6.7 zu sehen im Ent- und Beladevorgang des Bulk Cargos ausreichend Zeit für eine Umpositionierung vorhanden ist.

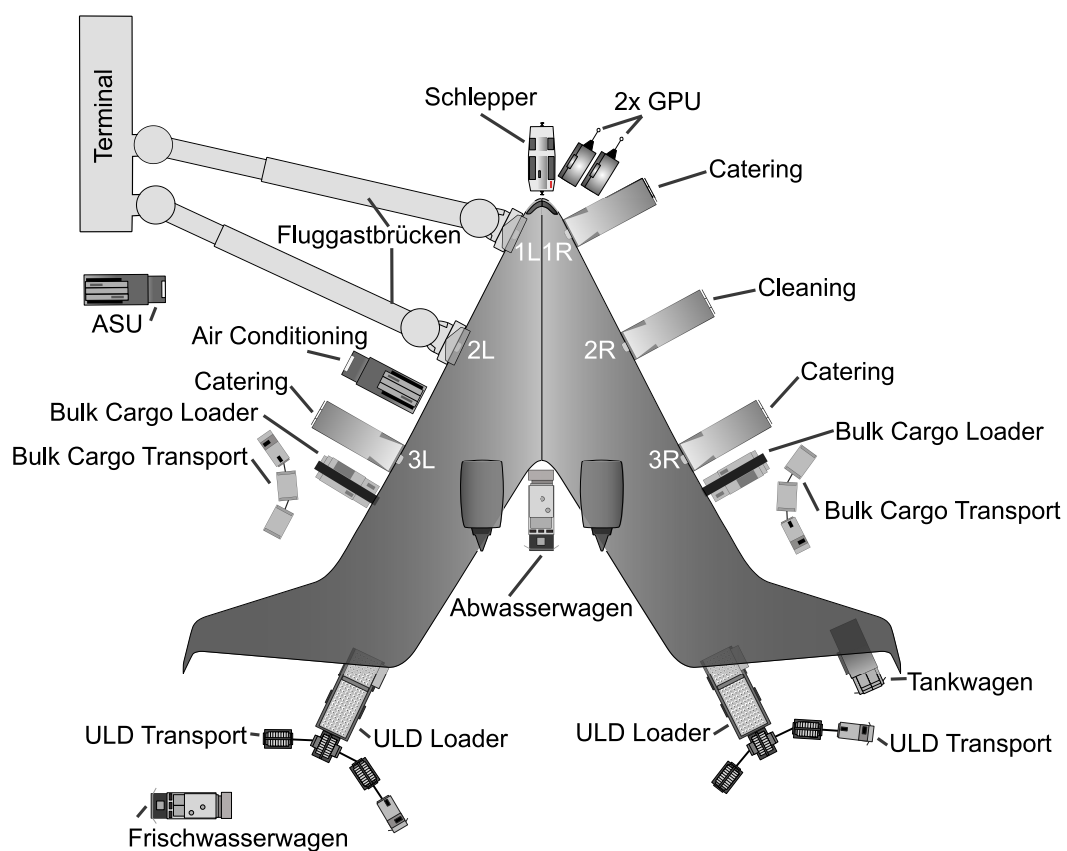


Abbildung 6.6: Layout der Bodenfahrzeuge und Geräte bei der Abfertigung des „Flying V“ an einer Gate Position (eigene Darstellung)

6.15 DER ZEITLICHE ABLAUF DES TURNAROUNDS

Für den zeitlichen Ablauf wurde sich an den Angaben von Airbus für den A320-200 und den A350-900 orientiert. In Tabelle 6.3 sind die einzelnen Prozesse für alle drei Flugzeuge aufgelistet und die Annahme für das „Flying V“ ggf. erläutert.

Der Cargo Prozess ist in der Tabelle nicht enthalten, zur Erläuterung jedoch Folgendes [17] :

- Der Umfang an Fracht ist mit dem A350-900 identisch gehalten
 - 12 LD3 Container in den Hauptfrachträumen
 - 8 96 Zoll Paletten in den Hauptfrachträumen
 - 1000 kg Bulk Cargo in einem Bulk Cargo Frachtraum
- Die Ladezeiten wurden ebenfalls als identisch angenommen
 - 1.2 min/Container Ausladen
 - 1.4 min/Container Einladen
 - 2.4 min/Palette Ausladen
 - 2.8 min/Palette Einladen
 - 110 kg/min Bulk Cargo Ausladen
 - 95 kg/min Bulk Cargo Einladen

Die Annahme, dass beim Boarden noch getankt werden darf, wird von Airbus in dem „Aircraft Characteristics - Airport and Maintenance Planning Manual“, entgegen Maurer, ebenfalls getroffen und wurde daher übernommen[24][17].

Durch die veränderte Aufteilung des Umfanges beim Catering werden die verlängerten Ein- und Aussteigezeiten des „Flying V“, verglichen mit dem Airbus A350-900, kompensiert. Diese Annahme wird als konservativ eingeschätzt, da ein möglicher Grund für den großen Catering Umfang an der Tür 4R beim Airbus A350-900 sein kann, dass diese Galley einen Großteil der Economy-Class-Passagiere versorgt. Beim „Flying V“ ließe sich dieser große Umfang auf die beiden hinteren Galleys und somit auch auf zwei Wagen aufteilen, wodurch die Turnaround Zeit sogar noch verkürzt werden könnte. In der aktuellen Annahme beträgt die Full Service Turnaround-Zeit 61 Minuten.

Nachfolgend ist für den Vergleich zu den genutzten Beispielflugzeugen die gesamt Turnaround-Zeit erneut angegeben. Es ist zu beachten, dass das „Flying V“ von seiner Auslegung für vergleichbare Langstreckenoperationen wie der Airbus A350-900 konzipiert wurde.

Tabelle 6.2: Vergleich der Zeiten für einen Full Service Turnaround der in dieser Arbeit besprochenen Flugzeuge

Airbus A320-200	Airbus A350-900	Flying V
44,2 Minuten	61 Minuten	61 Minuten

Tabelle 6.3: Vergleich der Prozesse beim Airbus A320-200 und A350-900 sowie die Annahmen für das „Flying V“ [24][17]

Prozess	Airbus A320-200	Airbus A350-900	„Flying V“	Erläuterung
Deboarding	1 Door used	2 Doors used	2 Doors used	siehe Abschnitt 6.4
	2 min Equipment Position & opening door	3 min Equipment Position & opening door	3 min Equipment Position & opening door	
	20 pax/min & Door	25 pax/min & Door	20 pax/min & Door	
Boarding	12 pax/min & Door	15 pax/min & Door	12 pax/min & Door	siehe Abschnitt 6.4
	2 min LPS & headcounting	4 min LPS & headcounting	4 min LPS & headcounting	
	1,5 min Equipment removal & closing door	3 min Equipment removal & closing door	3 min Equipment removal & closing door	
Refuelling	2,5 min Truck positioning & connection	8 min Hydrant positioning & connection	8 min Hydrant positioning & connection	Menge und Anschlüsse identisch zum Airbus A350-900
	16 min fuelling (20 000L, 50psig, 1 hose)	36 min fuelling (100 000L, 40psi, 2 hoses)	36 min fuelling (100 000L, 40psi, 2 hoses)	
	2,5 min disconnecting equipment	8 min disconnection & Hydrant removal	8 min disconnection & Hydrant removal	
Cleaning	available Time	available Time	available Time	-
Catering	1 Truck used	3 Trucks used	3 Trucks used	Geschwindigkeiten sowie Menge voraussichtlich vergleichbar mit dem Airbus A350-900
	2 min Equipment Position & opening door	5 min Equipment Position & opening door	5 min Equipment Position & opening door	
	4,8 min 4 FSTE at door 1R	15 min 10 FSTE at door 1R	30 min 20 FSTE at Door 1R	
	8,4 min 7 FSTE at door 4R	10,5 min 7 FSTE at door 2R	15 min 10 FSTE at Door 3R	
	1,5 min Equipment removal & closing door	34,5 min 23 FSTE at door 4R	15 min 10 FSTE at Door 3L	
Waste Water Servicing	2 min drive from door to door	3 min Equipment removal & closing door	3 min Equipment removal & closing door	Menge vergleichbar mit dem Airbus A350-900
	2 min Equipment position & connecting	2 min Equipment position & connecting	2 min Equipment position & connecting	
	4 min draining and rinsing	12 min draining and rinsing	12 min draining and rinsing	
Portable Water Servicing	2 min disconnecting Equipment	2 min disconnecting Equipment	2 min disconnecting Equipment	Menge vergleichbar mit dem Airbus A350-900
	2 min Equipment position & connecting	2 min Equipment position & connecting	2 min Equipment position & connecting	
	5 min filling	18 min filling	18 min filling	
	2 min disconnecting Equipment	2 min disconnecting Equipment	2 min disconnecting Equipment	

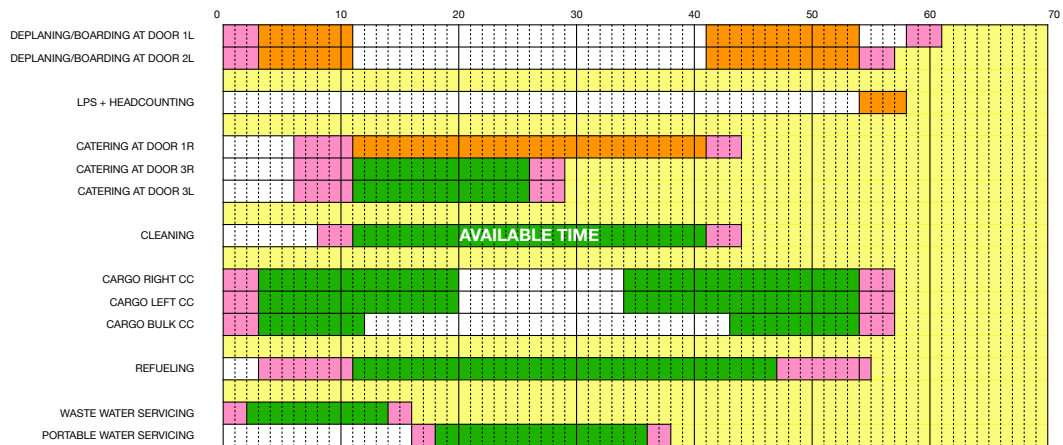


Abbildung 6.7: Annahme für eine Full Service Turnaround-Zeit des „Flying V“ (eigene Darstellung)

6.16 WEITERE ASPEKTE

Bei der Recherche zur vorliegenden Arbeit fiel auf, dass die Anordnung der Triebwerke auf dem Rollfeld einen signifikanten Vorteil gegenüber heutigen Konfigurationen bietet. In nachstehender Abbildung dargestellt ist das Heck des „Flying V“, erweitert um die Geschwindigkeitskonturen der Luft aus den Triebwerken im Leerlauf. Airbus hat diese für den A350-900 veröffentlicht und, aufgrund ähnlicher zu erwartender Dimensionierung der Triebwerke, wurden diese übernommen. Davon ausgehend, dass die Triebwerke horizontal verbaut werden, ergibt sich ein von nur vergleichsweise niedrigen Luftgeschwindigkeiten betroffener Bereich unter dem farblich Gekennzeichneten. Die Höhe dieses Bereiches würde zirka 3,15 Meter betragen und die Arbeit laufenden Bodenpersonals sowie fahrender Fahrzeuge ohne größere Aufbauten erleichtern.

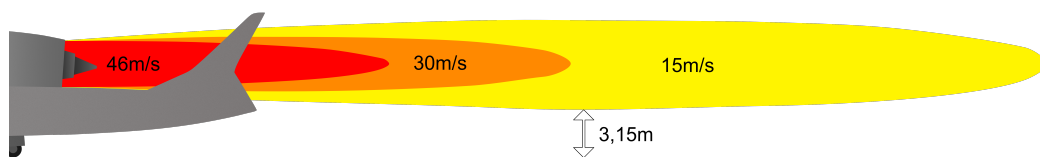


Abbildung 6.8: Beispieldarstellung der Abgasgeschwindigkeiten des „Flying V“ unter der Annahme horizontal verbauter Triebwerke (eigene Darstellung)

7 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Abfertigungsaspekte einer Nurflüglerkonfiguration besprochen. Der Fokus lag hierbei insbesondere auf dem Turnaroundprozess und damit auf den Aktivitäten, die vom Bodenpersonal am Flugzeug durchgeführt werden. Nach der Aufstellung aller Prozesse wurde eine Analyse anhand der zum Flugzeug vorliegenden Daten aus der ursprünglichen Arbeit von Benad durchgeführt. Nachfolgend sind die analysierten Punkte und Ergebnisse dargestellt.

Diese folgt in einer tabellarischen Auflistung. Hier kann anhand des nachfolgend erläuterten Farbcodes die grundsätzliche Nutzbarkeit bestehender Systeme und Infrastruktur unterschieden werden. Eine kurze Beschreibung der Ergebnisse der einzelnen Kapitel folgt hierauf.

Tabelle 7.1: Farbkodierung der Nachfolgenden Tabelle mit den Teilprozessen

	Ohne Einschränkungen/ Anpassungen umsetzbar	Mit Einschränkungen/ Anpassung umsetzbar	Nicht umsetzbar
Farbcode			

Tabelle 7.2: Übersicht der behandelten Aspekte mit Kategorisierung der Durchführbarkeit beziehungsweise Möglichkeit der Nutzung nach dem in Tabelle 7.1 dargestellten Farbcode

Prozess/ Infrastruktur	Durchführbarkeit/ Möglichkeit der Nutzung	Bemerkung
Start- und Landebahn		-
Rollwege		Es werden weitergehende Untersuchungen bezüglich genauer Schleppkurven empfohlen
Parkposition		Der Platzbedarf des „Flying V“ fällt geringer aus, als bei konventionellen Flugzeugen vergleichbarer Kapazität.
Boarding/ Deboarding		Dauer des Boardings/Deboardings voraussichtlich länger, als bei konventionellen Flugzeugen vergleichbarer Kapazität
Fracht		Entwicklung von Beladerampen nötig. Ebenso abschließende Auslegung der Frachträume
Tankprozess		-
Catering		Bedingt durch eine andere Verteilung der Bordküchen gegenüber konventionellen Flugzeugen wird es neue Positionen für Catering-Fahrzeuge geben.
Cleaning		-
Water and Waste		-
Maintenance		Die Position der Triebwerke kann zu längeren Wartungszeiten führen, verglichen mit einer konventionellen Konfiguration wie beispielsweise dem Airbus A350-900.
Externe Zusatzgeräte		-
Zurückstoßen		Es kann zu Sichtbehinderungen für den Fahrer des Schleppfahrzeuges kommen.
Enteisung		Eine Anpassung von Verfahren ist vermutlich nötig, um sämtliche Bereiche des Flugzeuges enteisen zu können.
Zeitlicher Ablauf		-

Die hier aufgeführten, in dieser Arbeit behandelten, Aspekte sind nachfolgend, inhaltlich zusammengefasst, aufgeführt.

START UND LANDEBAHN: Es hat sich gezeigt, dass die Auslegung des „Flying V“ den uneingeschränkten Betrieb auf Start- und Landebahnen, die für Flugzeuge ähnlicher Passagierkapazität ausgelegt sind, ermöglicht. Die Grundlagen hierfür sind durch die Spannweite und Hauptfahrwerksbreite gegeben und werden durch eine als wettbewerbsfähig anzunehmende Performance unterstützt.

ROLLWEGE: Die Auslegung der Rollwege im Genauen wird vom Hersteller wie für jedes andere Flugzeug im Rahmen eines „Airplane Characteristics for Airport and Maintenance Planning“-Manuals zur Verfügung gestellt werden. Jedoch konnte anhand der Maße bereits ermittelt werden, dass geringere Verbreiterungen von Kurven nötig sein werden und Kurvenradien geringer ausfallen werden, als beispielsweise beim Referenzflugzeug Airbus A350-900.

PARKPOSITION: Die Untersuchungen des „Flying V“ haben bezüglich der Parkposition ergeben, dass eine Nutzung bestehender Infrastruktur möglich sein wird. Heutige Parkpositionen für vergleichbare Langstreckenflugzeuge sind ausreichend groß, um dem „Flying V“ Platz nach geltenden Empfehlungen zu gewähren. Es wurde ebenfalls ein Vorteil bezüglich der Länge der Parkpositionen ermittelt. Sollte sich diese Art der Konfiguration durchsetzen, könnte an zukünftigen Flughäfen und Terminals Platz gespart werden.

BOARDING UND DEBOARDING: Das „Flying V“ wird vom Autor als unproblematisch eingeschätzt, was den Boardingvorgang von der Flughafenseite aus angeht. Die Geschwindigkeit des Boardings dürfte jedoch geringer ausfallen, als bei Flugzeugen vergleichbarer Größe. Es zeigte sich jedoch im weiteren Verlauf, dass dieser Nachteil den Turnaround Prozess nicht zwingend verlängern muss und voraussichtlich mehr als nur kompensiert werden kann.

BE- UND ENTLADUNG VON FRACHT: Die Be- und Entladung von Fracht ist einer der Prozesse, der am untypischsten im Vergleich zu heutigen Konfigurationen durchzuführen sein wird. Die Fachräume des „Flying V“ werden voraussichtlich von hinten beladen werden, was die Entwicklung einer Laderampe fordert. Diese Rampe wäre im Flugzeug integriert und würde somit die Notwendigkeit für die Entwicklung zusätzlichen Abfertigungsgeräts umgehen.

TANKPROZESS: Dies ließ sich ebenfalls als unkritisch herausstellen. Das „Flying V“ verfügt über ausreichend günstige Positionen in ähnlichen Höhen wie vergleichbare Flugzeuge und verspricht somit, sofern es mit konventionellem Antrieb betrieben wird, auch hier ohne Änderungen an bestehenden Fahrzeugen auszukommen.

CATERING: Die Be- und Entladung von Speise- und Getränkewagen wird in gleichem Umfang wie bei konventionellen Flugzeugen möglich sein. Durch die Anordnung der Passagierzellen wird hierfür die linke Seite des Flugzeuges mitbenutzt, was zwar untypisch ist, jedoch technisch ohne Probleme durchführbar sein wird.

CLEANING: Das Cleaning als Teilprozess des Turnarounds wird als unkritisch angenommen. Es konnten keine Hinweise darauf gefunden werden, dass es hier durch die Konfiguration Probleme geben wird.

WATER AND WASTE: Es wurden für die Anschlüsse und Positionierung der Frisch- und Abwassertanks Überlegungen angestellt, mit dem Ergebnis, dass eine zentrale Anordnung vorteilhaft ist. Der Prozess selbst ist von der Positionierung der Anschlüsse abhängig, wird jedoch im Rahmen der gemachten Vorschläge ebenfalls als unkritisch eingeschätzt.

MAINTENANCE: Die Konfiguration der Triebwerke auf den Flügelflächen wird vermutlich die Wartungszeit verlängern und mehr technisches Gerät, wie Treppen oder Hebebühnen, verlangen als das Referenzflugzeug Airbus A350-900.

EXTERNE ZUSATZGERÄTE Die Anschlüsse für benötigtes externes Gerät wurden analysiert. Bei den Anschlüssen selbst wurden Standards vorgeschlagen und Vorschläge bezüglich ihrer Positionierung gemacht.

ZURÜCKSTOSSEN: Das Zurückstoßen des „Flying V“ wird je nach finaler Konfiguration der Fahrwerke zusätzliches Bodenpersonal für die Sicherstellung von Sicherheitsabständen verlangen. Die technische Umsetzung wurde jedoch ebenfalls als ohne Mehraufwand möglich dargelegt.

ENTEISUNG: Die Untersuchung hat gezeigt, dass bis auf kleinere Bereiche das „Flying V“ von bestehendem Gerät enteist werden kann. Auch diese Bereiche sind mit verschiedenen Modellen zumindest technisch zu erreichen, hier kann es jedoch nötig sein, neue Prozeduren und Vorgehensweisen zu erarbeiten.

WEITERES: Es wurde ein Layout für die Abfertigung des „Flying V“ erstellt. Dieses zieht sowohl die voraussichtlich benötigte Anzahl von Türen als auch nicht regelmäßig gebrauchtes Service-Equipment in Betracht. Die Darstellung dessen ist in Abschnitt 6.14 zu finden. Der zeitliche Ablauf wurde ebenfalls analysiert und eine mit heutigen Flugzeugen vergleichbare Zeit für den Turnaround-Prozess festgestellt.

Neben den genannten Aspekten ist ebenfalls auf mögliche Vorteile der Konfiguration im Hinblick auf die Austrittsgeschwindigkeiten der Triebwerke eingegangen worden. Es zeigte sich, dass durch die hoch angebrachten Triebwerke möglicherweise ein Vorteil für fahrende Bodenfahrzeuge entstehen wird.

Wie bereits im Absatz zum Boarding besprochen, wurde ebenfalls für den zeitlichen Ablauf eine Prognose erstellt. Es zeigte sich, dass das „Flying V“ voraussichtlich in derselben Zeit wie ein Airbus A350-900 abgefertigt werden kann. Es wurden ebenfalls Indizien gefunden, die darauf hindeuten, dass das „Flying V“ voraussichtlich in kürzerer Zeit als ein Airbus A350-900 abgefertigt werden kann.

8 FAZIT UND AUSBLICK

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Abfertigungsaspekte des „Flying V“ zu untersuchen und die mögliche Umsetzung in der Zukunft darzustellen. Im Rahmen der Recherche zu dieser Arbeit fiel auf, dass die Abfertigung an sich doch vergleichsweise flughafenspezifisch ist und der Markt für Abfertigungsgeräte und -fahrzeuge so groß ist, dass sich in vielen Bereichen auf Beispiele beschränkt werden musste. Dennoch war es möglich die Prozesse des Turnarounds darzustellen und Ergebnisse bezüglich der Durchführbarkeit zu erarbeiten.

Es konnte gezeigt werden, dass das „Flying V“ nur wenige Änderungen im Ablauf des Gesamtprozesses an bestehenden Flughäfen verursachen wird, wenngleich Flughafenfahrzeuge nicht immer identisch sind und eine produkt- beziehungsweise Herstellerpalette vorhanden ist. So wurde anhand der gewählten Beispiele dargestellt, dass die für die Abfertigung eines Nurflüglers wie dem „Flying V“ nötigen Fahrzeuge bereits vorhanden sind. Es müssen keine neuen Fahrzeuge entwickelt oder Infrastrukturen in größerem Maße angepasst werden, als sie es für ein konventionelles Flugzeug müssten.

Durch die vorliegende Arbeit konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Änderungen im Bereich der Strukturen an heutigen Flughäfen für die Abfertigung eines Flugzeuges wie dem „Flying V“ gering ausfallen. Dies unterstreicht die Überlegungen von Benad und der Einleitung, dass es sich bei diesem Modell um ein geeignetes Modell für eine zukünftige Effizienzsteigerung im zivilen Luftverkehr handelt.

Die Untersuchung als Gesamtheit hat jedoch bestätigt, dass das „Flying V“ kein fertig entwickeltes Flugzeug ist, bei dem jedes Thema bereits behandelt wurde. Auch in Zukunft müssen weitere Aspekte genauer untersucht werden, um die weitere Durchführbarkeit zu bestätigen. Insbesondere sind folgende Punkte im Rahmen der Arbeit aufgefallen:

- Rollwegauslegung und Schleppkurvenanalyse: Die Geometrie der Fahrwerkspositionen verspricht aufgrund eines kürzeren Radstandes mit schmaleren Rollwegen in Kurven auszukommen. Es müssten jedoch für eine genaue Aussage die Schleppkurven analysiert werden.
- Evakuierungswege und -simulationen: Die Evakuierung ist wie besprochen ein wichtiger Bestandteil der Flugzeugzulassung. Die von Benad erwähnte Idee zur Evakuierung durch die Frachträume wurden bereits aufgegriffen. Die Entwicklung eines Modells war jedoch nicht Teil dieser Arbeit.
- Entwicklung einer Frachtrampenkonstruktion und Analyse über deren Einfluss auf das Gesamtgewicht mit Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit des „Flying V“ sowie einer Betrachtung eventueller Schwerpunkt-Probleme, welche diese Art der Be- und Entladung von Fracht erschweren.
- Konzeptentwicklung für die Boarding und Deboarding Vorgänge: Erarbeitung eines Systems, mit dem das „Flying V“ im Hinblick auf die Ein- und Aussteigeraten mit

konventionellen Konfigurationen konkurrieren kann.

- Entwicklung eines Enteisungskonzeptes: Genaue Analyse der bestehenden Enteisungsprozeduren und zu enteisenden Bereiche des „Flying V“, mit Entwicklung einer Prozedur, durch welche die bisher nicht zu erreichenden Bereiche ebenfalls abgedeckt werden können.

Neben diesen Punkten gibt es noch weitere Aspekte aus anderen Bereichen, die behandelt werden müssen um das „Flying V“ auf seine Nutzbarkeit in der Zukunft zu prüfen.

So wird es im Laufe eines Linienfluges eine Abfolge von Bedingungen an das „Flying V“ geben. Eine genaue Berechnung der Performance wird nötig sein, um die Endgültige Nutzbarkeit auf bestehenden Start- und Landebahnen zu bestätigen.

Abflüge an Verkehrsflughäfen erfolgen zudem gestaffelt, um leichte Flugzeuge vor den Wirbelschleppen größerer zu schützen[15]. Hier müsste durch genauere Berechnungen der Aerodynamik überprüft werden, ob das „Flying V“ in die selben Kategorien eingeordnet werden kann, oder ob aufgrund der Konfiguration neue Limits nötig sind.

Nach dem Abflug wird sich das Flugzeug in einem Luftraum mit größtenteils konventionellen Flugzeugen bewegen. Hier muss vor der Einführung geklärt werden, ob und wie bestehende Überwachungssysteme mit dieser Konfiguration nutzbar sein werden.

Auch ob die als besser beschriebene Aerodynamik, insbesondere bei Sinkflügen bestehende Abstände und Sinkprofile einhalten kann, oder ob hier zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen wird ebenfalls vor Einführung geklärt werden müssen.

Im Rahmen des Anfluges muss erneut auf die bereits erwähnten Staffellungen aufgrund der Wirbelschleppen eingegangen werden.

Die hier angesprochenen Aspekte decken nur einen Teil der möglichen Probleme beziehungsweise Hürden auf, die beim „Flying V“ noch erarbeitet werden müssen. Die Analyse dieser Aspekte kann nicht nur bei diesem Modell, sondern auch bei anderen BWB- oder Nurflüglerkonfigurationen Anwendung finden und somit zu der Modernisierung und Effizienzsteigerung im zivilen Luftverkehr beitragen.

GLOSSAR

Aeronautical Information Publication

Deutsch: Luftfahrthandbuch [20, S.9], Ein standardisiertes Handbuch, dass für jeden ICAO Mitgliedsstaat nach den Regeln der ICAO herausgegeben wird. [20, S.166]

ATLAS-Gruppe

Zusammenschluss der Airlines Air France (A), UTA (T), Lufthansa (L), Alitalia (A) und Sabena (S), (später ohne UTA, aber mit Iberia) mit dem Ziel der Zusammenarbeit bei u.a. Indienststellung, Betrieb und Überholung von Großraumflugzeugen. [50]

Bulk Cargo

Lose Gepäckstücke, die ohne vorher in einem Container oder auf einer Palette platziert wurden einzeln in das Flugzeug eingeladen werden. [18, S.108]

KSSU-Gruppe

Fluggesellschaften KLM (K), SAS (S), Swissair (S) (bereits zuvor die KSS-Gruppe) sowie aus der UTA (U), vergleichbar mit der ATLAS-Gruppe. [50]

Standards and Recommended Practices

Richtlinien und Empfehlungen für Mitgliedsstaaten der ICAO, Mitglieder müssen sich, sofern sie dies nicht in der Aeronautical Information Publication ausweisen und die ICAO darüber informieren, an die vorgegebenen Standards halten.

Turnaround

Fachbegriff in der Fliegerei, der Prozesse des Bodenabfertigungsdienstes zwischen Ankunft und Abflug eines Passagierflugzeuges beschreibt [20, S.288]. Er beinhaltet die in Abschnitt 3.1 behandelten Prozesse.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1.1	Prognose der Schadstoffentwicklung und nötiger Gegenmaßnahmen (ICAO, 2018)	1
1.2	Vergleich der ersten 44 Jahre Flugzeugentwicklung mit den darauffolgenden 45 Jahren (Liebeck, 2004)	2
1.3	Vergleich Gewichtskraft und Auftrieb eines klassischen Flugzeuges und eines BWB (Liebeck, 2004 [8])	4
1.4	Darstellung des X-48 und des „Flying V“	4
2.1	Ausmaße des „Flying V“ abgeleitet aus [10] und [13] (eigene Darstellung) .	8
2.2	Ausmaße des Referenzflugzeugs Airbus A350-900 (Airbus, 2018 [17]) . . .	9
3.1	Ablauf eines Turnaround-Prozesses (eigene Darstellung)	11
4.1	Beispieldarstellung einer Parkposition mit alternativer Nutzungsmöglichkeit bearbeitet nach Bild von Sam Chui, 2013	16
5.1	Typisches Layout der Abfertigung eines Langstreckenflugzeuges am Beispiel des Airbus A350-900 (Airbus, 2018 [17])	18
5.2	Frachträume von Großraum- und Schmalrumpfflugzeugen im Vergleich . .	20
5.3	Fotografie des Rumpfqerschnittes eines Airbus A300 (Klaus Schnizel, 2009)	21
5.4	Beladung eines Airbus A321-200 mit Containern und Bulk Cargo (Ingrid Friedl, Lufthansa, 2010)	22
5.5	Produktportfolio Catering-Fahrzeuge der Firma Doll (Doll, 2018)	25
5.6	Hilfstriebwerk im Heck eines Airbus A380-800 (Liebich, Lufthansa Technik, 2014)	29
5.7	Bodenseitiger Anschluss von Strom und klimatisierter Luft (Zürich Airport [41, S.12], 2013)	31
5.8	Enteisungsfahrzeug vom Typ Safeaero 220 der Firma Textron an einem Großraumflugzeug vom Typ Boeing 777 (Textron, 2018)	32
5.9	Von Airbus veranschlagte Zeiten für den Turnaround eines Airbus A320-200, Gesamtdauer: 44,2 Minuten (Airbus, 2018 [24])	34
5.10	Von Airbus veranschlagte Zeiten für den Turnaround eines Airbus A350-900 Gesamtdauer: 61 Minuten (Airbus, 2018 [17])	35
6.1	Vergleich der Stand Safety Line des Airbus A350-900 (vgl. Abbildung 5.1) mit der des Flying V (eigene Darstellung)	38
6.2	Mögliche Konfiguration eines ovalen Frachtraumes mit Platz für zwei LD3 Container (Darstellung bearbeitet nach Benad [10])	41
6.3	Gedanken von Benad zu möglichen Evakuierungswegen bei versperrter Front (Benad [10], 2014)	41
6.4	Hintere Passagiertreppe einer Boeing B727 (P. Chesi, 1975)	42
6.5	In Grün die vom Beispiel-Enteisungsfahrzeug zu erreichenden Flächen auf der Oberseite des „Flying V“. In Rot der nicht zu befahrende Sicherheitsbereich aufgrund der Triebwerke. (eigene Darstellung)	48
6.6	Layout der Bodenfahrzeuge und Geräte bei der Abfertigung des „Flying V“ an einer Gate Position (eigene Darstellung)	49
6.7	Annahme für eine Full Service Turnaround-Zeit des „Flying V“ (eigene Darstellung)	52

6.8 Beispieldarstellung der Abgasgeschwindigkeiten des „Flying V“ unter der
Annahme horizontal verbauter Triebwerke (eigene Darstellung) 52

TABELLENVERZEICHNIS

4.1	Aerodrome Reference Code nach ICAO [21]	13
4.2	Start- und Landebahnbreiten nach ICAO [21]	13
4.3	Auszug aus den Design-Kriterien für Rollwege [21]	15
4.4	Nach ICAO [21] empfohlene Abstände zwischen Flugzeug und Hindernissen	15
4.5	Nach ICAO [21] empfohlene Abstände zwischen einem Flugzeug in einer Parkposition und der Mittellinie des Rollweges (entweder der Parkpositions- Mittellinie oder der Rollweg-Mittellinie)	17
5.1	Ein- und Aussteigeraten wie von Airbus angenommen [17] [24]	19
5.2	Beispiel für die Treibstoffplanung bei Verkehrsflugzeugen mit Turbinenan- trieb auf einem innereuropäischen Flug aus [35]	24
5.3	Wartungsarbeiten und Intervalle (Maurer, 2006 [19, S. 205-206])	27
5.4	Überholungsarbeiten und Intervalle (Maurer, 2006 [19, S.206])	28
6.1	Ein- und Aussteigeraten des Referenzflugzeuges und des Airbus A320-200 [17] [24] im Vergleich mit der Annahme für das „Flying V“	39
6.2	Vergleich der Zeiten für einen Full Service Turnaround der in dieser Arbeit besprochenen Flugzeuge	50
6.3	Vergleich der Prozesse beim Airbus A320-200 und A350-900 sowie die An- nahmen für das „Flying V“ [24][17]	51
7.1	Farbkodierung der Nachfolgenden Tabelle mit den Teilprozessen	53
7.2	Übersicht der behandelten Aspekte mit Kategorisierung der Durchführ- barkeit beziehungsweise Möglichkeit der Nutzung nach dem in Tabelle 7.1 dargestellten Farbcode	54

LITERATUR

- [1] BR. Zwei Brüder heben ab, 2013. <https://www.br.de/themen/wissen/orville-wilbur-wright-motorflug-100.html> Aufgerufen am 13.09.2018.
- [2] Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft. Bedeutung des Luftverkehrs, 2018. <https://www.bdl.aero/de/themen-positionen/wirtschaft/bedeutung-des-luftverkehrs/> Aufgerufen am 16.09.2018.
- [3] BMVI. Luftverkehrskonzept des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017.
- [4] Bundesverband der Deutschen Verkehrsluftfahrt e.V. Report 2016 Luftfahrt und Wirtschaft, 2016.
- [5] IATA. IATA Fact Sheet Industry Statistics, 2018. https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-industry-facts.pdf Aufgerufen am: 15.09.2018.
- [6] IATA. IATA Fact Sheet Climate Change & CORSIA, 2018. https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-climate-change.pdf Aufgerufen am: 16.09.2018.
- [7] ICAO. Climate Change: Climate Neutral Initiative, 2018. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/climate-neutral-initiative.aspx> Aufgerufen am: 16.09.2018.
- [8] R.H. Liebeck. Design of the Blended Wing Body Subsonic Transport. *Journal of Aircraft*, 41(1):10–25, 2004.
- [9] Egbert Thorenbeek. *Advanced Aircraft Design*. Wiley, 2013.
- [10] Justus Benad. Design of a commercial aircraft for high-subsonic speed as a flying wing configuration. resreport, Airbus, 2015.
- [11] Howard Smith Paul Okonowo. Review of evolving trends in blended wing body aircraft design. *Progress in Aerospace Sciences*, 82:1–23, 2016.
- [12] R. Vos & F.J.J.M.M. Geuskens & M.F.M. Hoogreef. A New Structural Design Concept for Blended Wing Body Cabins. *Structural Dynamics and Materials Conference*, 2012.
- [13] Justus Benad. The Flying V - A new aircraft configuration for commercial passenger transport. *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress*, 2015.
- [14] F. Faggiano. Aerodynamic Design Optimization of a Flying V Aircraft. mathesis, TU Delft, 2016.
- [15] 2018. Gespräch mit Dr. rer. nat. Andreas Deutschmann am 09.10.2018.

- [16] L.A. van der Schaft. Development, Model Generation and Analysis of a Flying V Structure Concept. mthesis, Delft University of Technology, 2017.
- [17] Airbus. *Airbus A350 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning*. AIRBUS S.A.S. Customer Services Technical Data Support and Services 31707 Blagnac Cedex FRANCE, 2018.
- [18] Andreas Schlegel. *Bodenabfertigungsprozesse im Luftverkehr - Eine statistische Analyse am Beispiel der Deutschen Lufthansa AG am Flughafen Frankfurt/Main*. GABLER, 1 edition, 2010.
- [19] Maurer. *Luftverkehrsmanagement*. R. Oldenbourg Verlag München Wien, 2006.
- [20] Niels Klußmann & Arnim Malik. *Lexikon der Luftfahrt*. Springer, 2012.
- [21] ICAO. *ICAO DOC 9157 Aerodrome Design Manual*, 3. edition, 2005.
- [22] ICAO. *Annex 14*, volume 1. ICAO, ICAO 999 Robert-Bourassa Boulevard, Montreal, Quebec, Canada, 7 edition, 2016.
- [23] Boeing 777X, 2018. <https://www.boeing.com/commercial/777x/#/technical-specs> Aufgerufen am 25.09.2018.
- [24] Airbus. *Airbus A320 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning*. AIRBUS S.A.S. Customer Services Technical Data Support and Services 31707 Blagnac Cedex FRANCE, 2018.
- [25] Thyssenkrupp. Apron Drive, 2018. <https://www.thyssenkrupp-elevator.com/airport-solutions/products/passenger-boarding-bridges/apron-drive/> Aufgerufen am: 27.09.2018.
- [26] McDonnell Douglas. *Airplane Characteristics for Airport Planning MD80-Series*, 1990.
- [27] Lufthansa Cargo. Lufthansa Cargo vermarktet Frachtkapazitäten der Eurowings, 2018. https://lufthansa-cargo.com/de_DE/-/lufthansa-cargo-brings-eurowings-belly-capacities-to-market?QUERY Aufgerufen am: 29.09.2018.
- [28] Niels Jätzold. *Mass and Balance*. Lufthansa Aviation Training GmbH, 2016. Version 3.0 Jä.
- [29] IATA. Unit Load Devices, 2016. <https://www.iata.org/whatwedo/cargo/unit-load-devices/Pages/index.aspx> Aufgerufen am: 05.10.2018.
- [30] Lufthansa Cargo AG. Paletten, Container und Flotte broschüre, 2014.
- [31] Trepel. Product Overview, 2017.
- [32] Mulag. Produktprogramm Flughafen, 2017.

- [33] Markus Schrader. Optimierungspotenzial des A320 Turnarounds. mathesis, FH Aachen, Aachen, 2017.
- [34] Esterer. Esterer hydranten dispenser typ fhw-f 3.800, 2018. <https://www.esterer.de/produkte/flugfeldbetankung/dispenser/standard/fhw-f-3800.html> Aufgerufen am: 20.09.2018.
- [35] Helge Christian Wieske-Hartz. *Airline Operation*. Books on Demand GmbH, 2004.
- [36] Wingdesign. Unterschiedliche Normen bei Flugzeugtrolleys, 2018. <https://wingdesign.com/unterschiedliche-normen-flugzeugtrolleys/> Aufgerufen am: 28.09.2018.
- [37] DOLL. Product Portfolio Catering Trucks, 2018. <http://www.doll-trailers.com/en/products/ground-support-equipment/catering-trucks/> Aufgerufen am: 28.09.2018.
- [38] Norman Ashford & H.P. Stanton & Clifton A. Moore. *Airport Operation*. McGraw-Hill, 2 edition, 1997.
- [39] 2018. Gespräch mit Louis Condit (ehem. Mitarbeiter im Bereich der Flugzeugreinigung am Flughafen Stuttgart) am 22.09.2018.
- [40] Hamburg Airport. Auxillary Power Unit (APU), 2018. <https://www.hamburg-airport.de/de/apu.php#> Aufgerufen am: 20.09.2018.
- [41] Emanuel Fleuti. Aircraft Ground Energy Systems at Zurich Airport, 2013.
- [42] Hamburg Airport. Selbstverpflichtung CO2-Reduzierung, 2018. https://www.hamburg-airport.de/de/luft_und_klima.php Abgerufen am: 07.11.2018.
- [43] NEPEAN Transport. Bliss-Fox Aircraft Tow Tractor F1-400, 2018. Broschüre der technischen Daten.
- [44] Textron. Sadeaero 220, 2018. <https://textrongse.txtsv.com/vehicles/220> Aufgerufen am: 30.09.2018.
- [45] Jörg Clemens Fuchte. *Enhancement of Aircraft Cabin Design Guidelines with special Consideration of Aircraft Turnaround and Short Range Operations*. phdthesis, Technische Universität Hamburg-Harburg, Pinneberg, 2014.
- [46] DGLR. Flugzeugkabine Kabinensysteme die nächsten Schritte, 2001.
- [47] Sebastian Steinke. München installiert erste Fluggastbrücken am Satellitengebäude, 2015. <https://www.flugrevue.de/zivilluftfahrt/airport/muenchen-installiert-erste-fluggastbruecken-am-satellitengebaeude/619080> Abgerufen am: 08.11.2018.
- [48] Jim Winchester. *Zivile Flugzeuge im Detail*. HEEL, 2005.
- [49] ICAO. *Annex 2*, volume 1. ICAO, ICAO 999 Robert-Bourassa Boulevard, Montreal, Quebec, Canada, 10 edition, 2005.

- [50] David Woolley. Co-operation in action. *FLIGHT International*, pages 445–448, 1971. Verfügbar unter <https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1971/1971%20-%200480.html> Aufgerufen am 22.09.2018.

ERKLÄRUNG ÜBER DAS EIGENSTÄNDIGE ERSTELLEN DER ARBEIT

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit oder die von mir im Rahmen der Gruppenarbeit verantworteten, entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind durch Angaben der Herkunft kenntlich gemacht.

Diese Erklärung erstreckt sich auch auf in der Arbeit enthaltene Grafiken, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie auf Quellen aus dem Internet.

Die Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form auch auszugsweise noch nicht als Bestandteil einer Prüfungs- oder Studienleistung vorgelegt.

Ich versichere, dass die eingereichte elektronische Version der Arbeit vollständig mit der Druckversion übereinstimmt.

Vor- und Nachname: Simon Hinsch

Matrikelnummer: 408796

Bremen, den 8. November 2018

Unterschrift: