

# KONZEPTIONELLE UNTERSUCHUNG EINER FLYING WING ZWEIDECKKONFIGURATION

Dipl.-Ing. S. Lee  
Airbus Deutschland GmbH  
Kreetslag 10, 21129 Hamburg

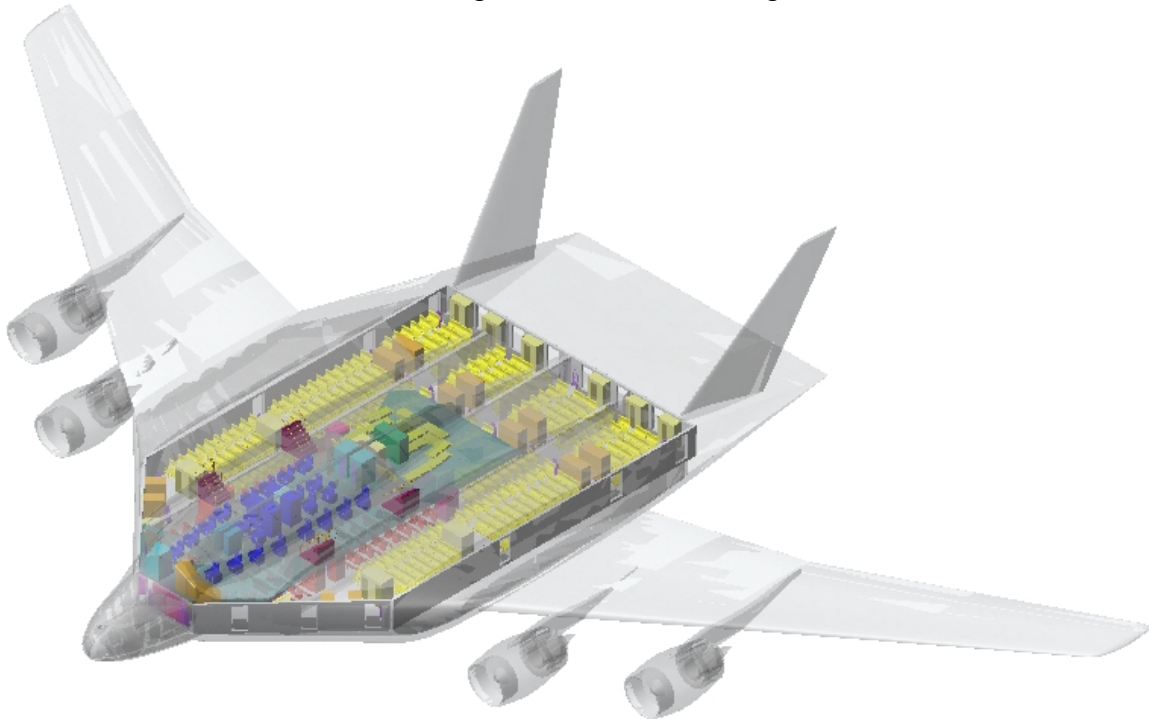


BILD 1. Nurflügler in Zweideckkonfiguration

## 1. KURZREFERAT

Untersuchungsgegenstand ist ein Nurflügelflugzeug (flying wing) basierend auf einem Entwurf der Firma Airbus. Anforderungen an das Flugzeug sind eine Reichweite von 7650 nm und eine Kapazität von 750 Passagieren in einer Drei-Klassen-Bestuhlung. Die Passagierkabine und die Nutzlast sind bei diesem Nurflügelflugzeug in einem Raum untergebracht, der a) viel breiter ist als herkömmliche Rümpfe und b) eine Dickenverteilung in Längsrichtung aufweist ähnlich eines Flügelprofils. Durch diese Formgebung kann dieser Raum – hier herkömmlich als Rumpf bezeichnete – einen Beitrag zum Auftrieb des Flugzeuges liefern. Weiteren Auftrieb liefern die an den profilierten Rumpf angesetzten Flügel. Ausgangspunkt der Untersuchungen ist eine bei Airbus vorliegende Eindeckvariante eines Nurflügelflugzeugs. Im ersten Schritt der Untersuchung wird das vorliegende Kabinenlayout optimiert. Hauptgesichtspunkte, unter denen die neue Kabinenauslegung stattfindet, sind: a) Verkürzung der Kabinenlänge, b) Erhöhung des Passagierkomforts, c) Verkürzung der Turn-Round-Zeiten und d) Ermöglichung der Nachweisführung der Notevakuierung. Die Anforderungen an das Nurflügelflugzeug müssen mindestens den Standard des Airbus A380 einhalten. Ziel ist eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Flexibilität des Flugzeuges im Einsatz. Trotz der Optimierung bleibt der Nachteil der Eindeckvariante, dass sich sehr viel ungenutzter Freiraum oberhalb der Kabine befindet. Im zweiten Schritt wird daher untersucht, ob der

ungenutzte Freiraum durch ein zusätzliches Passagierdeck in Form eines Oberdecks sinnvoll genutzt werden kann. Eine besondere Herausforderung beim Entwurf der Zweideckauslegung ist die Realisierung des erforderlichen Notevakuierungskonzeptes beider Passagierdecks. Die Passagiere des Oberdecks sollen dabei nach oben über den Flügel evakuiert werden. Einschließlich der Evakuierung der Passagiere von der Oberseite des Flügels darf die gesamte Notevakuierung nicht länger als 90 Sekunden dauern. In diesem Zusammenhang wurden u.a. Vorschläge erarbeitet zur Gestaltung der Ausstiegsluken zur Oberseite des Flügels, zur Gestaltung der Treppen zu den Ausstiegsluken, sowie zu Passagierleitsystemen auf dem Flügel. Ein Vergleich der Eindeck- mit der Zweideckvariante zeigt unterschiedliche Vor- und Nachteile beider Varianten, die sich nahezu ausgleichen. Da es sich um ein Flugzeug der Zukunft handelt, werden neue Ansätze der Kabinengestaltung aufgezeigt.

## 2. EINLEITUNG

Das Verkehrsaufkommen wird in den nächsten Jahrzehnten kontinuierlich zunehmen, so dass immer höhere Transportleistungen aufgrund der steigenden Nachfrage bald nicht mehr zu realisieren sein werden. Schon heute sind viele der großen Flughäfen an ihrer Kapazitätsgrenze angelangt. Diese Probleme lassen sich nur durch den Einsatz von Großraumflugzeugen mit einer Sitzkapazität von mehr als 500 Passagieren lösen. Die bisherigen Flugzeugkonzepte in Rumpf-Flügel-Bauweise, mit einem rela-

relativ einfach zu fertigenden zylindrischen Rumpf in Kombination mit Tragflächen und Seitenleitwerk, stoßen mittlerweile aus verschiedensten Gründen an ihre Grenzen. Sie sind technologisch so optimiert, dass weitere ökonomische Verbesserungen durch entsprechende Fortschritte und Erkenntnisse in der Aerodynamik, den Werkstoffen, den Bauweisen und dem Antrieb immer schwerer realisierbar und kostspieliger werden. Bei dem Airbus A380, welches das größte Passagierflugzeug der Welt sein wird (ca. 555 Passagiere im Drei-Klassen-Layout), sind diese Grenzen nahezu erreicht. Um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden versuchen die Flugzeughersteller und die Fluggesellschaften Wege zu finden, den Kraftstoffverbrauch sowie die benötigte Anzahl von Flugzeugen im jetzt schon überfüllten Luftraum minimal zu halten.

Ein vom Wirtschaftlichkeitsstandpunkt aus gesehenes vielversprechendes Zukunftskonzept ist ein Flugzeug in Nurflügel-Bauweise. Die Passagierkabine und die Nutzlast sind hierbei in einem flügelprofilähnlichem Rumpf untergebracht, welcher mit zum Auftrieb beiträgt (BILD 1). Auf diese Art entsteht eine wesentlich größere Auftriebsfläche sowie geringerer Luftwiderstand, was sich wiederum positiv auf die Betriebskosten auswirkt.

Ziel der Untersuchung ist, eine vorliegende Startkonfiguration eines Nurflügelflugzeugs mit Eindeckkabinenkonfiguration der Firma Airbus zu optimieren. Vorhandene freie Räume dieses Nurflüglers sollen dann durch eine Zweideckkabinenkonfiguration genutzt werden. Die Eindeck- und die Zweideckkonfiguration sollen abschließend miteinander verglichen werden.

### 3. DARSTELLUNG DER NURFLÜGEL STARTKONFIGURATION

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist eine Nurflügelkonfiguration (flying wing) von Airbus, die für eine Reichweite von 7650 nm (1 nautische Meile  $\approx$  1,852 km) und für eine Kapazität von 750 Passagieren in einer Drei-Klassen-Bestuhlung (22 First Class (FC)/ 136 Business Class (BC)/ 592 Economy Class (EC)) vorgesehen ist. Bei der Startkonfiguration handelt es sich um eine Passagierkabine in einer Eindeckkonfiguration. Die Hauptmerkmale des hier untersuchten Nurflüglers sind zwei große Seitenleitwerke am Heck, vier Triebwerke unter den Flügeln, Schulterdecker-Konfiguration (high wing aircraft), zehn Türen des Typs A auf jeder Seite sowie der homogene Übergang des breiten Rumpfes in die Außenflügel. Die Startkonfiguration hat eine Spannweite von ca. 100 Metern, eine Kabinenbreite von ca. 23 Metern, eine Flugzeugesamtlänge von ca. 60 Metern und besitzt zehn Türen des Typs A auf jeder Flugzeug-Symmetrie-Seite. Eine Drei-Seiten Ansicht sowie weitere Ansichten/ Schnitte des Nurflüglers sind in BILD 2 bis 5 dargestellt. BILD 6 zeigt das 2-D Kabinenlayout der Startkonfiguration [1].

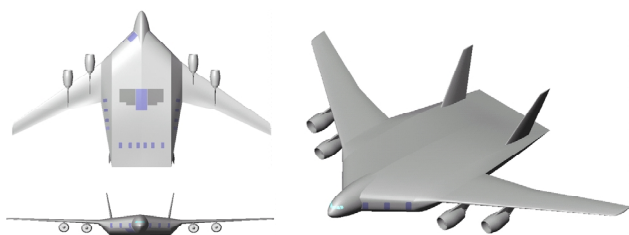


BILD 2. 3-D Ansichten des Nurflüglers

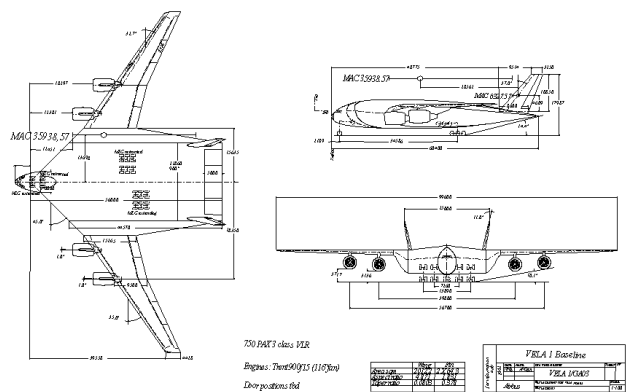


BILD 3. Drei-Seiten-Ansicht der Startkonfiguration

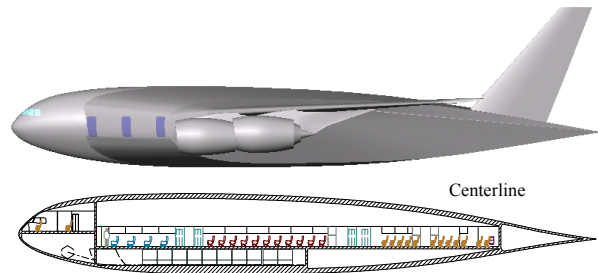


BILD 4. Seitenansicht des Nurflüglers und Längsschnitt durch die Centerline

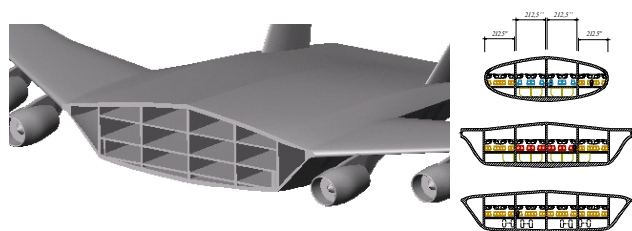


BILD 5. Querschnitt durch die Nurflügelkabine

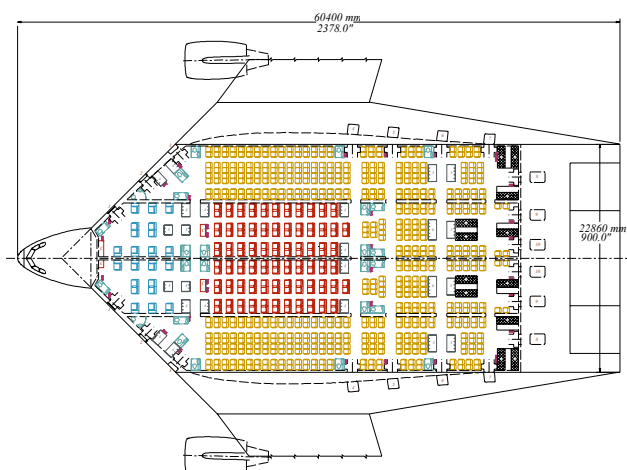


BILD 6. Kabinenlayout der Startkonfiguration

## 4. EINDECKKABINENKONFIGURATION

Bei der Optimierung des Kabinenlayouts ist darauf zu achten, dass alle relevanten Anforderungen berücksichtigt und eingehalten werden. Sind die Layoutergebnisse nach einer Überprüfung nicht zufriedenstellend, so muss das Layout entsprechend modifiziert oder gegebenenfalls vollständig erneuert werden. Mehrere Iterationsschleifen sind hier nötig. Sowohl Standardanforderungen (wie z. B. vorgegebene Sitzabstände, Gangbreiten, etc. [15], [16]) als auch Wunschanforderungen (wie z. B. größere Toiletten, Sitzanordnung, etc.) wurden in einer Liste zusammengefasst, welche die Studie [1] begleitend stetig erweitert wurde. Erst wenn das Layout alle Anforderungen seitens Kapazität und Vorschriften erfüllt hatte, konnte mit der detaillierten Ausarbeitung von Konzepten bezüglich Evakuierung, Versorgung (Catering) und Einstieg (Boarding) begonnen werden. Allgemeine Anforderungen zum A380 Standard enthalten [5], [6], [7]. Anforderungen und Informationen zum Nurflügler enthalten [2], [3], [4], [10], [11], [12], [13]. Anforderungen sowie Informationen bzgl. zukünftiger (Nurflügel-) Kabinen enthalten [8], [9].

### 4.1. Untersuchung des Startkabinenlayouts

Bevor ein zusätzliches Oberdeck in einer Zweideckkonfiguration untersucht und integriert werden kann, muss als erstes das bereits bestehende Referenzlayout (siehe BILD 6) von Airbus optimiert werden. Die Optimierung wiederum setzt eine eingehende Analyse des Startkabinenlayouts voraus.

Die Kabine besitzt eine Länge von 42,1 m und eine Breite von 23 m. Dieses Startkabinenlayout weist erhebliche Mängel auf, welche in BILD 7 dargestellt sind.

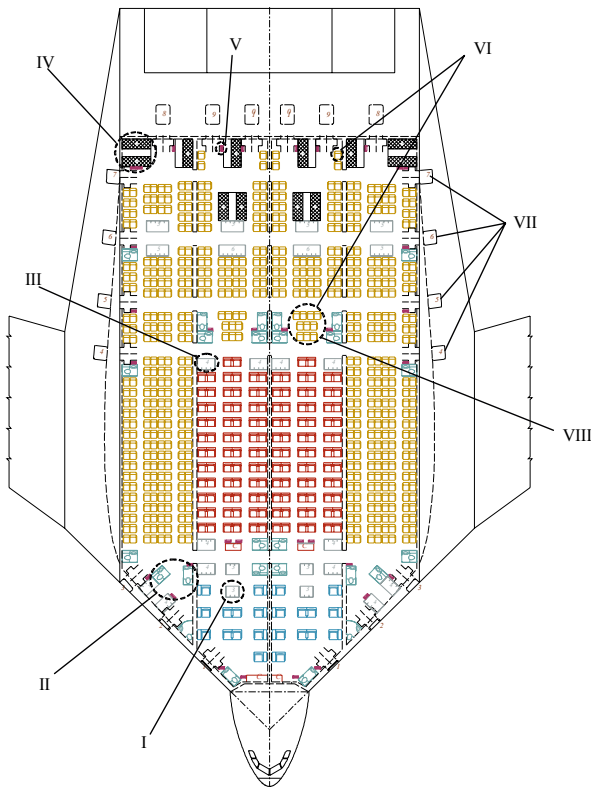


BILD 7. Untersuchung und Problemanalyse des Startkabinenlayouts

Es sind folgende Mängel feststellbar:

- I Küchen (Galleys) befinden sich zwischen den Sitzen der First Class (Lärm, Geruch)
- II Fluchtwege/ Eingänge müssen frei zugänglich sein.
- III Küchen (Galleys) befinden sich zwischen den Sitzen der Business Class (Lärm, Geruch)
- IV Crew Rest Compartments (CRC) befinden sich verstreut auf dem Hauptdeck (Privatsphäre)
- V Positionen der CAS sind nicht in oder gegen Flugrichtung angeordnet. (Sicherheit)
- VI Einzelsitze/ Dreiersitze von EC Passagieren (zusätzliche Sitzschienen, Sitzkomfort)
- VII Türpositionen (4, 5, 6, 7) zu dicht beieinander. Keine einheitliche Verteilung.
- VIII Passagiere sitzen zwischen den Toiletten. (eingeschränkte Privatsphäre)

In weiteren Schritten sind unter genauerer Betrachtung des Kabinenlayouts und der Befragung der einzelnen Fachbereiche (Aerodynamik, Struktur, Kabinenkonfiguration, Flugzeugkonfiguration, Bodenabfertigung (Ground Handling)) weitere Mängel feststellbar.

### 4.2. Optimierung des Eindeckkabinenlayouts

Unter Berücksichtigung aller relevanten Anforderungen und festgelegten Auslegungskriterien, werden Zwischenstände eines Kabinenlayouts erstellt und verschiedene Auslegungsansätze verfolgt. Je nach Beanstandung, Nichteinhaltung von Anforderungen, bzw. Definition von neuen Anforderungen oder Ideen, müssen diese Zwischenstände modifiziert oder teilweise ganz verworfen werden. Wird in einem Kabinenteil etwas verändert, so hat dies direkten Einfluss auf andere Komponenten in anderen Bereichen und somit auf die ganze Kabinen- bzw. Flugzeuggeometrie. Es entstehen Probleme, wenn Bereiche sich gegenseitig behindern oder miteinander kollidieren. Insbesondere wird großen Wert auf die Einhaltung der Privatsphäre der Passagiere gelegt. So werden z. B. Trennwände, welche den Service- und Toilettenbereich abschirmen sollen, positioniert und darauf geachtet, dass die Toilettenzugangstüren sich nicht in Sitzplatznähe befinden. Getrennt werden die einzelnen Klassen mittels Vorhängen. In BILD 8 ist die optimierte Kabinenkonfiguration im 2-D Kabinenlayout dargestellt.

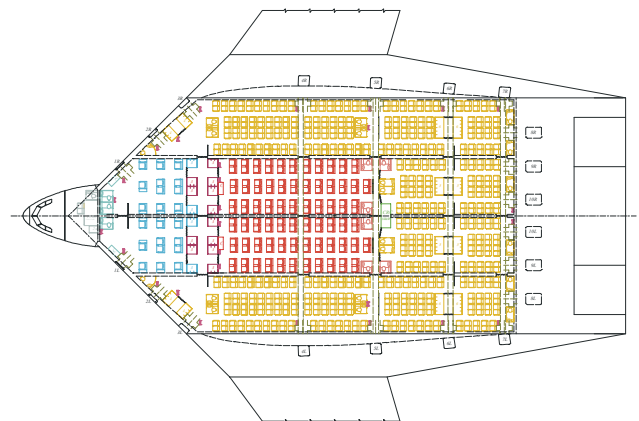


BILD 8. Optimiertes Eindeckkabinenlayout in 2-D

Durch die Optimierung des Eindeckkabinenlayouts kann eine Verkürzung von insgesamt 2 Metern erzielt werden. Bei einer Kabinenbreite von 23 Metern entspricht dieses einer Kabinengesamtfläche von 46 m<sup>2</sup>, was vergleichbar

mit der Wohnfläche von heutigen Zwei-Zimmer Wohnungen ist. Für die umströmte Flügelfläche bedeutet dies, für die Ober- und Unterseite zusammen, eine Einsparung von ca. 92 m<sup>2</sup>. Grund dieser Verkürzung sind vor allem die Verlagerung der Schlaf- und Ruheräume der Kabinenbesatzung (CRC = Crew Rest Compartment) auf das Oberdeck, die Positionierung einer CRC-Zugangstreppe, die Neupositionierung der seitlichen Türen (siehe BILD 12) und die Optimierung der Quergangbreiten und -positionen. Um ein schnelles Catering zu ermöglichen, werden die Küchenbereiche zentral und möglichst in den Quergängen angeordnet, welche zu den Cateringtüren führen. Dadurch werden einerseits eine gute Zugänglichkeit sichergestellt und andererseits lange Wege durch die Kabine und somit evtl. Beschädigungen, verursacht durch das Schieben der Trolleys an den Einbauten und Sitzen, vermieden. Positiver Nebeneffekt sind die kürzeren Servicewege für die Kabinenbesatzung.

Im Bereich des Passagierkomforts wurden grundlegende Veränderungen durchgeführt. Durch Einführung von Trennwänden und der Separierung/ Verlagerung von Toiletten- und Küchenbereichen konnte die Erhaltung der Privatsphäre jedes einzelnen Passagiers erheblich verbessert werden. Außerdem wurden Einzel- bzw. Dreiersitze vermieden und somit ein einheitlich klassenübergreifendes Sitzkonzept erstellt. BILD 9 und 10 zeigen die optimierte Kabinenkonfiguration im 3-D Layout. BILD 11 und 12 zeigen die neue Nurflügelgeometrie und die neuen seitlichen Türpositionen.

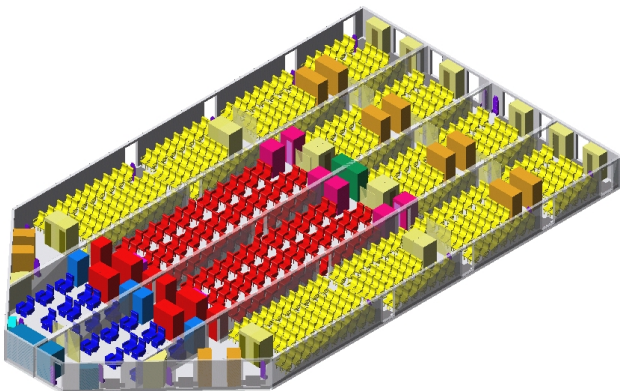


BILD 9. Optimiertes Eindeckkabinenlayout in 3-D

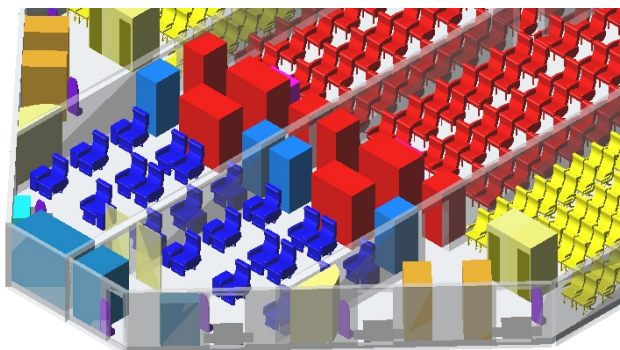


BILD 10. Vorderer Kabinenbereich der optimierten Eindeckkonfiguration

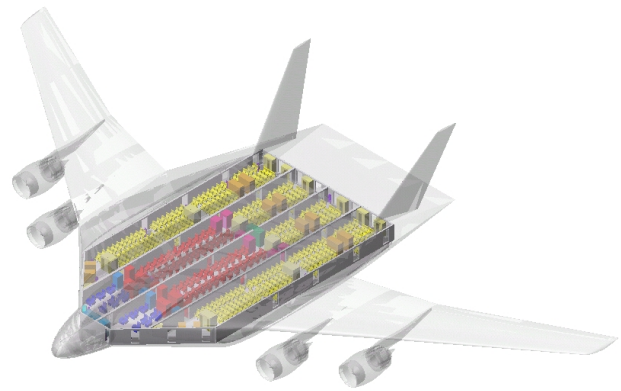


BILD 11. Optimierte Kabine im Nurflügler

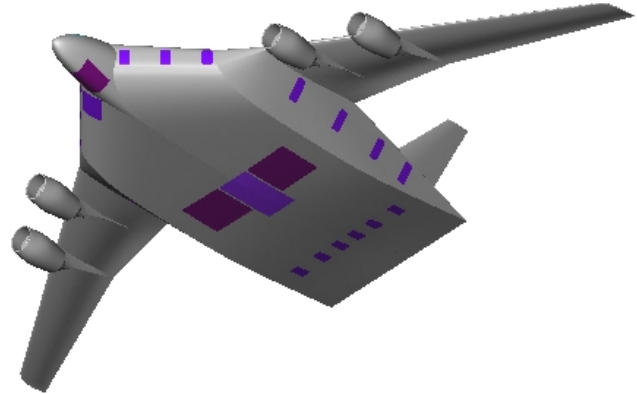


BILD 12. Neue Nurflügelgeometrie mit neuen seitlichen Türpositionen

### 4.3. Operationelle Abläufe (Eindeck)

Bei den operationellen Abläufen geht es zum einen um die Positionierung der Bodenfahrzeuge an den Türen des Flugzeugs, zum anderen um die Bodenzeit. Unter Bodenzeit (Turn-Round-Time) versteht man die Zeit des Bodenaufenthaltes eines in Parkposition stehenden Flugzeuges, zwischen zwei aufeinanderfolgenden Flügen. Die Einhaltung der Turn-Round-Time gewinnt bei den Fluggesellschaften immer mehr an Bedeutung. In dieser Zeitperiode werden verschiedene Abläufe (Passagierwechsel, Kabinenreinigung, Betankung, Neuversorgung der Küchen und Toiletten, etc.) in einem sehr gestrafften Zeitplan durchgeführt, was eine gute Logistik erfordert. Je kürzer die Turn-Round-Time zwischen zwei Flügen eingehalten werden kann, desto wirtschaftlicher ist das Flugzeug. Weitere Informationen zum Thema Turn-Round enthalten [17], [18], [19], [20].

#### 4.3.1. Positionierung der Bodenfahrzeuge

Bevor die Untersuchung der operationellen Abläufe erfolgen kann, müssen den Türen die jeweiligen Aufgaben zugeordnet werden. Den Aufgaben entsprechend, werden die Bodenfahrzeuge positioniert und deren Zugänglichkeit zum Flugzeug gesichert. Bei der Positionierung der Bodenfahrzeuge ist darauf zu achten, dass die Fahrzeuge sich während des Turn-Rounds nicht gegenseitig behindern oder im Wege stehen. Operationelle Abläufe, wie die Wasserver- und -entsorgung wird zeitlich als machbar angenommen und hier nicht weiter behandelt. Eine mögli-

Die Positionierung der Bodenfahrzeuge ist in BILD 13 dargestellt.

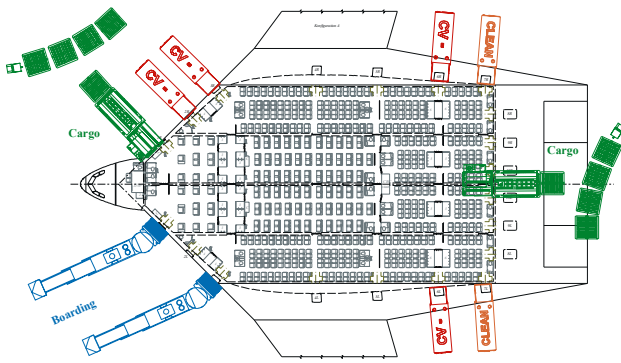


BILD 13. Anordnung der Bodenfahrzeuge

Es ist zu erwähnen, dass der Nurfügliger mit einer Spannweite von 99,6 m und einer Gesamtlänge von 58,4 m (vorher 60,4 m) nicht in die heute gängigen 80 m x 80 m „Standboxen“ an den Flughäfen hineinpassen würde [4]. Es wird jedoch angenommen, dass zum Zeitpunkt der Indienststellung des Nurfüglers (im Jahr 2030) die Flughafeninfrastruktur ausgereift und einsatzbereit ist.

#### 4.3.2. Bodenzeit (Turn-Round-Time)

Es werden für die verschiedenen Phasen (Boarding, Deplaning, Catering, Cabin Cleaning, Cargo, Refuelling) verschiedene Szenarien simuliert und idealisierte Annahmen getroffen. In BILD 14 ist ein Beispiel für ein Boardingszenario mit entsprechenden Boardingpfaden der jeweiligen Klasse (FC, BC, EC) dargestellt.

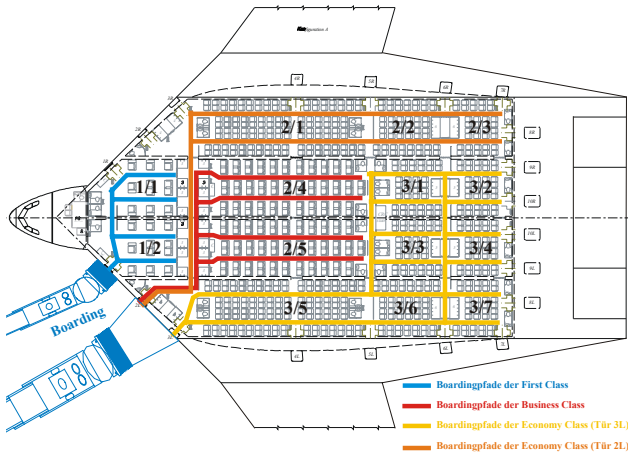


BILD 14. Boardingszenario der Eindeckkonfiguration

Das Diagramm in BILD 15 stellt den Mindestzeitaufwand unter Berücksichtigung der jeweils günstigsten Fälle von Boarding/ Deplaning, Refuelling, Cargo, Catering und Reinigung dar.

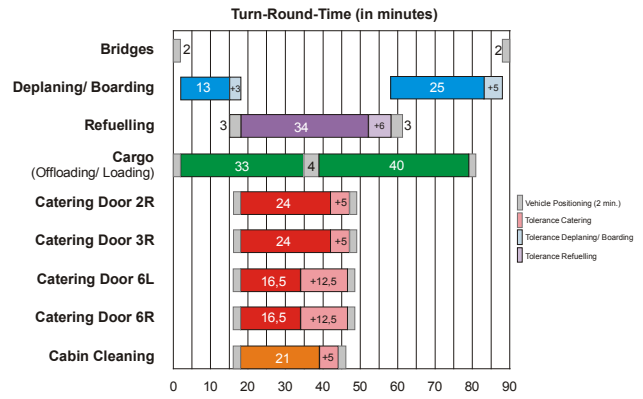


BILD 15. Turn-Round-Time der Eindeckkonfiguration

Die hier ermittelte Bodenzeit der Eindeckkonfiguration beträgt 90 Minuten.

Die gesamte Untersuchung der Bodenzeit (Turn-Round Time) fand unter idealisierten Annahmen und unter Einbezug von Toleranzen statt und müssen noch durch Simulationen und Tests verifiziert werden. Die ermittelte Turn-Round-Time von 90 Minuten der optimierten Kabine liegt innerhalb heutiger Zeitspannen von Langstreckenflügen und ist somit akzeptabel [20].

#### 4.4. Notevakuierung (Eindeck)

Die größtmögliche Sicherheit der Passagiere hat für die Entwicklung einer Passagierkabine höchste Priorität. Ist eine Notevakuierung nicht realisierbar, so würde das Flugzeug niemals zugelassen werden („No-Go-Item“). Daher ist die Reduzierung der Notevakuierungszeiten für die Passagiere von großer Bedeutung. Es ist nach heutigen Vorschriften eine Evakuierbarkeit durch 50 % der vorhandenen Türen innerhalb von 90 Sekunden nachzuweisen (JAR 25.803(c)) [15]. Bei der Nachweisführung der Evakuierbarkeit eines Flugzeuges wird von einer Bestuhlung höchster Dichte der Kabine ausgegangen (High Density Layout). Hierzu wird der Kabinengrundriss des optimierten Eindecklayouts nur mit Economy Class Sitzen bestuhlt. Das High Density Layout stellt den extremsten Fall mit der größten Sitzanzahl dar (Worst Case). Der Sitzabstand beträgt hierbei 30 “ (anstatt 32”). Des Weiteren werden so viele Sitze wie möglich in der Kabine untergebracht, wobei der Passagierkomfort nur bis zu einem gewissen Maß reduziert werden darf (Servicetrennwände entfallen, eingeschränkte Privatsphäre). Der vordere Kabinenbereich vor den Türen 2 und 3 bleibt frei, um die Evakuierungswege gut einsehbar bzw. frei zu halten und einen schnellen Passagierfluss zu gewährleisten. Insgesamt lassen sich so in einem High Density Layout 1060 Passagiere unterbringen. Ein solches High Density Layout ist in BILD 16 dargestellt. Weitere Informationen zum Thema Notevakuierung enthalten [16], [21], [22], [23].

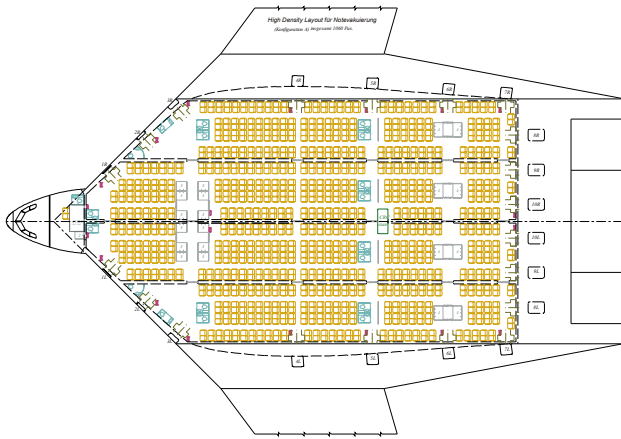


BILD 16. High-Density-Kabinenlayout (1060 Pax)

Die Notevakuierung der Eindeckkonfiguration beträgt insgesamt 83 Sekunden und liegt 8 % unter den geforderten 90 Sekunden. Dies ist allerdings nur unter idealisierten Annahmen möglich (keine Panik, gleichmäßiger, störungsfreier Passagierfluss, etc.). Um eine realistischere Zeit ermitteln zu können, wären Tests und computerunterstützte Evakuierungssimulationen erforderlich, welche in einem nahezu realen Umfeld ablaufen müssten [21]. Es ist daher eine höhere Zeit zu erwarten, da die breite Kabine, in der Fluchtwege bis zu 23 m zu bewältigen sind, neue Herausforderungen an die Notevakuierung stellt, wofür es heute kaum Lösungen gibt. Um den Passagierfluss während der Evakuierung zu erhöhen, muss die Gestaltung der Türen, sowohl im vorderen als auch im hinteren Bereich, eingehend untersucht werden, um entsprechende Durchflussraten zu erreichen. Beispielsweise wäre es sinnvoll Trennwände und Seitenverkleidungen durchsichtig zu gestalten, so dass alle Türbereiche einsehbar sind.

## 5. ZWEIDECKKABINENKONFIGURATION

Die anschließende Auslegung der Zweideckkonfiguration, welche auch den Schwerpunkt der Studie [1] bildet, erfolgt ebenfalls unter denselben Hauptgesichtspunkten wie bei der Optimierung der Eindeckkonfiguration. Es wird eine Zweideckkonfiguration erstellt, bei der die komplette First Class in den bisher ungenutzten Freiraum des Oberdecks verlagert wird. Die nach oben verlagerte First Class Kabine muss dabei mindestens denselben Standard und Luxus aufweisen wie zuvor auf dem Hauptdeck. Neben der First Class- Kabine werden außerdem die Schlaf- und Ruheräume der Kabinenbesatzung (Cabin Crew Rest Compartments, CRC) auf dem Oberdeck untergebracht.

### 5.1. Auslegung des Ober- und Hauptdecks

Nachdem die Untersuchung des Freiraums auf dem Oberdeck abgeschlossen ist, finden im ersten Schritt die Auslegungen und Positionierungen einer Zugangstreppe, eines Lifts für Servicewagen (Trolley) und einer Zugangstreppe zum CRC statt. Diese Komponenten sind nötig, da ein separates Boarding und Catering des Oberdecks, aufgrund der Flugzeuggesamtgeometrie nicht möglich ist.

Aufgrund der Verlagerung der kompletten First Class, werden anschließend die Auswirkungen auf dem Haupt-

deck untersucht. Die Business und Economy- Class werden neu angeordnet und nach vorne verlagert, so dass eine zusätzliche Verkürzung von insgesamt 3 Metern erreicht werden kann (gesamte Verkürzung: 5 m). Haupt- und Oberdeck sind in BILD 17 dargestellt.

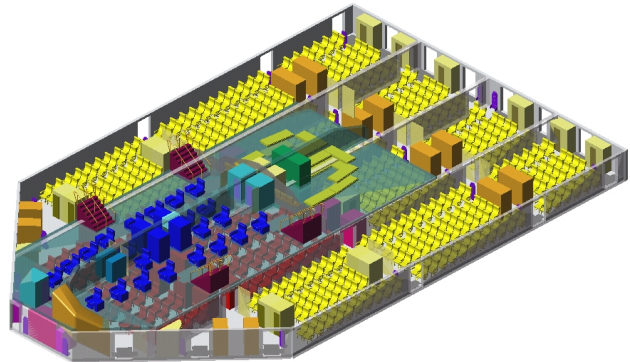


BILD 17. Hauptdeck und Oberdeck der Zweideckkonfiguration

### 5.2. Auswirkungen auf die Flugzeuggeometrie

Die 3 m Verkürzung bringt jeweils Vor- und Nachteile mit sich. Positiv ist, dass durch die Verkürzung ein Türpaar auf dem Hauptdeck entfällt und so Strukturdurchbrüche und damit Gewicht reduziert werden [14]. Dagegen werden aber vier zusätzliche Flucht-Luken auf dem Oberdeck nötig, was den Gewichtsvorteil auf dem Hauptdeck wieder zunichte macht. Ein weiterer gravierender Nachteil ist die Auswirkung auf die Nurflügel-Flugzeuggesamtgeometrie. Durch die Verkürzung der Profiltiefe schrumpft, bei gleichbleibender relativer Profildicke, ebenfalls die absolute Profildicke. Dies hat zur Folge, dass die Mindeststehhöhe (79" – 84") auf dem Oberdeck nicht mehr gewährleistet werden kann. Um diesem Aspekt entgegenzutreten, wird eine an die Flugzeugoberseite angepasste Profilstruktur in Form eines „Buckels“ vorgesehen. Der Buckel soll aus aerodynamischen Gründen möglichst minimal gehalten werden und trotzdem innerhalb der Kabine die notwendigen Mindeststehhöhen garantieren. Um zwischen der Kabinengeometrie und der Flugzeuggesamtgeometrie ein Optimum zu finden, ist ein iterativer Abgleich zwischen den 2-D-Layouts und dem 3-D-Modell nötig.

Die Zweideckkonfiguration mit der dazugehörigen neuen Flugzeuggeometrie ist in BILD 18 dargestellt.

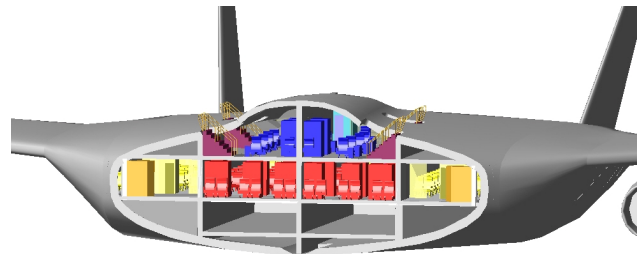


BILD 18. Querschnitt durch die Gesamtkabine der Zweideckkonfiguration

### 5.3. Operationelle Abläufe (Zweideck)

Die operationellen Abläufe der Zweideckkonfiguration werden nun analog zu Kapitel 4.3. der Eindeckauslegung ermittelt. Die Positionierung der Bodenfahrzeuge (Ground

Handling) entspricht in etwa denen der Eindeckkonfiguration und ist in BILD 19 dargestellt.

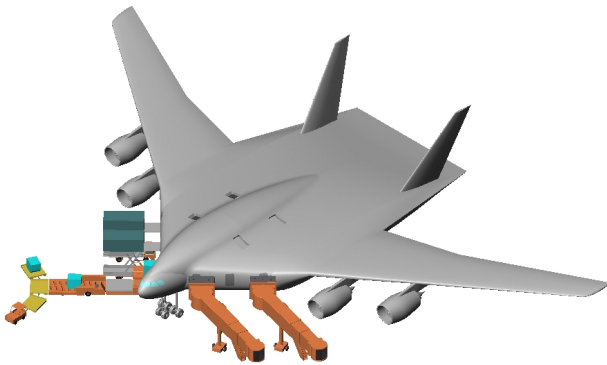


BILD 19. Turn-Round der Zweideckkonfiguration mit Bodenfahrzeugen

Das Diagramm in BILD 20 stellt den Mindestzeitaufwand, unter Berücksichtigung der jeweils günstigsten Fälle von Boarding/ Deplaning, Betankung, Frachtverladung, Catering und Reinigung der Passagierkabine der Zweideckkonfiguration dar.

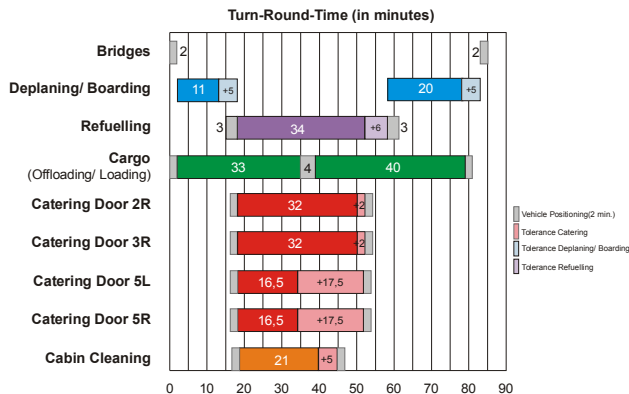


BILD 20. Turn-Round-Time der Zweideckkonfiguration

Die Turn-Round-Time der Zweideckkonfiguration ist aufgrund des schnelleren Boardings um 5 Minuten kürzer als die der Eindeckauslegung (vergleiche BILD 15). Sie dauert somit nach den idealisierten Annahmen insgesamt 85 Minuten und erfüllt somit die operationellen Anforderungen. Im Gegensatz zur Eindeckauslegung dauert das Catering hier 8 Minuten länger. Da die parallel ablaufende Betankung jedoch länger als der gesamte Cateringvorgang dauert, liegt diese im unkritischen Bereich und ist somit akzeptabel. Die Dauer der Betankung, der Frachtverladung und der Kabinenreinigung bleiben bei beiden Konfigurationen unverändert.

#### 5.4. Notevakuierung (Zweideck)

Sowohl das Hauptdeck als auch das Oberdeck werden bezüglich der Notevakuierung, entsprechend den Vorschriften, unabhängig voneinander betrachtet [21]. Die Konsequenz daraus ist, dass das Oberdeck über unabhängige Fluchtmöglichkeiten verfügen muss. Aufgrund der Kabinenbeschaffenheit werden zwei Lukenpaare mit den dazugehörigen Fluchttreppen vorgesehen. Um die Gefahren der Desorientierung und Hilflosigkeit der Passagiere auf dem Profil sowie mögliche Kollisionen und

Behinderungen unter den Notrutschen, dem Triebwerk und dem Flügel zu vermeiden, müssen Lösungen hinsichtlich einer sicheren Passagierleitung über das Profil gefunden und die bestmögliche Notrutschenpositionierung ermittelt werden. Das Ergebnis ist eine Notrutschenanordnung zwischen der zweiten und dritten vorderen Tür und Führungsvorrichtungen auf dem Oberdeck mittels aufblasbarer „Gummiwulst“ (siehe BILD 21 und 22).

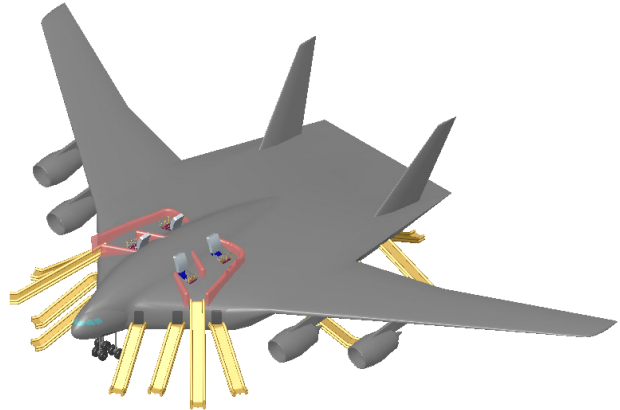


BILD 21. Notrutschenanordnung der Zweideckkonfiguration

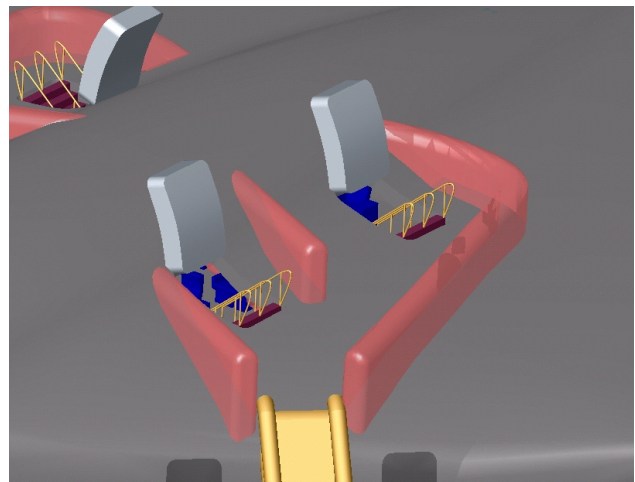


BILD 22. Detailansicht der Evakuierungs- „Gummiwulst“

Eine große Herausforderung ist die Nachweisführung der Notevakuierungszeit. Während die Evakuierung des Hauptdecks keine schwerwiegenden Probleme darstellt, verläuft die Notevakuierung des Oberdecks wesentlich komplizierter. Es sind zum Einen verschiedene Evakuierungsphasen sowie -wege zu bewältigen. Die Passagiere des Oberdecks müssen erst die Notevakuierungstreppen besteigen, anschließend bis zu ca. 12 m über das Profil laufen, um dann letztendlich auf die Notrutsche springen zu können. Besonders beim Wegbrechen eines Fahrwerkbeins und der entsprechenden Schräglage des Nurfüglers besteht die Gefahr der Kollision und gegenseitiger Behinderung der Notrutschen beider Decks, in Kombination mit einer Desorientierung oder Stauung seitens der Passagiere auf dem Profil. Die ebenfalls unter idealisierten Annahmen ermittelte gesamte Notevakuierung dauert mit 86 Sekunden 3 Sekunden länger als bei der Eindeckkonfiguration und liegt unter den geforderten 90 Sekunden. Eine Notevakuierung beider Decks ist somit als machbar anzusehen.

## 6. VERGLEICH DER EINDECK- UND ZWEI-DECKKABINENKONFIGURATION

Die größten Unterscheidungskriterien und -merkmale, der Zweideckkonfiguration im Vergleich zur Eindeckkonfiguration sind:

- Sinnvolle Ausnutzung des Freiraums auf dem Oberdeck,
- Insgesamte Verkürzung der Nurflügel-Zweideckkonfiguration: ca. 5 m  $\Rightarrow$  Geringeres Verhältnis der umspülten Fläche zur Flügelfläche  $\Rightarrow$  größere Gleitzahl (L/D), (Verkürzung der Eindeckkonfiguration gegenüber der Startkonfiguration von Airbus: ca. 2 m)
- Für die Realisierung der Mindeststehhöhe auf dem Oberdeck, ist eine Veränderung an der Flügelprofilstruktur nötig  $\Rightarrow$  „Buckel“,
- Zugangstreppe, Trolleylift erforderlich  $\Rightarrow$  Durchbrüche durch Längs- und Querstruktur,
- Wegfall eines Türpaars auf dem Hauptdeck, dafür sind vier Notausstiegsluken/ -treppen auf dem Oberdeck nötig,
- Kürzere Boardingzeiten, aufgrund der Treppennutzung FC/ BC können gemeinsam durch Tür 1L geboardet werden  $\Rightarrow$  kürzere Turn-Round-Time,
- Längere Cateringzeiten, aufgrund des Trolleylifts,
- Mehr Passagiere im High-Density-Layout  $\Rightarrow$  Längere Notevakuierungszeiten,
- Prestige-/ Imagesteigerung, Erhöhung des Passagierkomforts.

Die Vor- und Nachteile beider Konfigurationen sind in BILD 23 qualitativ als Bewertungsmatrix dargestellt.

	Eindeck	Zweideck
<b>Aerodynamik</b>	↓	↑
<b>Passagierkomfort</b>	↓	↑
<b>Operationelle Abläufe</b>	↓	↑
<b>Evakuierung/ Sicherheit</b>	↑	↓
<b>Struktur</b>	↑	↓

BILD 23. Qualitativer Vergleich der Eindeck- und Zweideckkonfiguration

Die Vorteile der Zweideckkonfiguration liegen eindeutig im Bereich der Aerodynamik, des Passagierkomforts und der operationellen Abläufe. Diesen Vorteilen stehen jedoch ebenso gewichtige Nachteile seitens der Struktur [14], dem gewaltigen konstruktiven Entwicklungsaufwand und die Realisierung der Evakuierungszeit gegenüber. Die Vorteile gleichen sich mit den Nachteilen nahezu aus.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Dargestellt wurden zwei unterschiedliche konzeptionelle Kabinenauslegungen eines Nurflügelflugzeugs. Im ersten Teil dieser Ausarbeitung, wurde das Eindeckkabinenlayout der Airbus-Startkonfiguration untersucht und anschließend optimiert bzw. modifiziert. Hauptgesichtspunk-

te unter denen die neue Auslegung stattfand, waren: *Verkürzung der Kabinenlänge, Erhöhung des Passagierkomforts, akzeptable bzw. Verkürzung der Turn-Round-Zeiten und die Nachweisführung der Notevakuierung.* Das Resultat dieser Modifizierung ergab ein optimiertes Eindeckkabinenlayout mit einer Verkürzung von 2 Metern. Ausschlaggebend für diese Verkürzung waren vor allem die Verlagerung der Crew Rest Compartments (CRC) auf das Oberdeck, die Neupositionierung der seitlichen Türen und die Optimierung der Quergangbreiten und -positionen. Die modifizierte Konfiguration erfüllt alle Anforderungen bezüglich der Kabine, der operationellen Abläufe und der Notevakuierung. Somit ist eine Eindeckvariante eines Nurflüglers mit gewissen Innovationen und unter der Voraussetzung der Neudiskussion bestehender Gesetze, als machbar anzusehen.

Der zweite Teil dieser Ausarbeitung, welcher auch den Schwerpunkt dieser Arbeit bildet, befasst sich mit einer Neuauslegung des Nurflüglers in einer Zweideckkonfiguration. Hierzu wurden Kabinenkomponenten aus dem Hauptdeck in den leeren, ungenutzten Freiraum des Oberdecks verlagert. Es wurde eine Zweideckkonfiguration erstellt, welche die komplette First Class auf dem Oberdeck vorsieht. Die nach oben verlagerte First Class Kabine musste den Anforderungen entsprechend dabei mindestens denselben Standard und Luxus aufweisen, wie auf dem Hauptdeck. Neben der First Class-Kabine wurden außerdem die Schlaf- und Ruheräume der Kabinenbesatzung (CRC) auf dem Oberdeck untergebracht. Beide Passagierdecks wurden analog zu den Hauptgesichtspunkten der Eindeckoptimierung ausgelegt.

Ein Vergleich beider Konfigurationen zeigt, dass eine Auslegung als Zweideckkonfiguration erheblichen Aufwand und gravierende Anpassung der gesamten Flugzeuggeometrie nach sich zieht, was wiederum Einfluss auf den Konstruktions- und Entwicklungsaufwand hat und mit höheren Kosten verbunden ist. Welche Konfiguration besser ist, lässt sich nicht so einfach sagen. Anhand der Bewertungsmatrizen, die auf der Untersuchung der Unterscheidungsmerkmale beider Konfigurationen beruht, ist jedoch erkennbar, dass eine Eindeckkonfiguration einen leichten Vorteil gegenüber einer Zweideckkonfiguration besitzt. Während die aerodynamischen und operationellen Vorteile für eine Zweideckkonfiguration sprechen, stehen diesen Vorteilen Nachteile im Bereich der Struktur sowie ein großer Aufwand für eine Realisierung der geforderten Evakuierungszeit gegenüber. Die Vor- und Nachteile gleichen sich somit in der Bewertungsmatrix nahezu aus. Auch ohne detaillierte Untersuchungen ist abzusehen, dass die Zweideckkonfiguration durch die kürzere Turn-Round-Time und aufgrund der aerodynamischen Vorteile in den Betriebskosten wahrscheinlich günstiger wäre. Der Entwicklungsaufwand und das Entwicklungsrisiko im Bereich der Strukturkonstruktion wäre demgegenüber jedoch erheblich größer.

Die Konstruktion eines Nurflüglers in der Zukunft wird neue Herausforderungen bringen. Beispielsweise ergeben sich durch die Kabine in einer noch nie dagewesenen Breite neue Fragestellungen, die im Detail erst noch gelöst werden müssen. Auch in Zukunft werden die Optimierung des Passagierkomforts und der operationellen Abläufe sowie die Notevakuierung wichtige Themen bleiben [8].



Weitere Studien wären denkbar: computerunterstützte Simulationen sowie operationelle Tests hinsichtlich des Boardings, Deplanings und der Notevakuierung, Erstellung der dazugehörigen erforderlichen Passagierleitsysteme, Bestimmung der Betriebs- und Entwicklungskosten, Untersuchung der Unterbringung sowie Evakuierung von behinderten Fluggästen in Nurflügelkabinen, Evakuierungskonzepte bei einer Notwasserung, oder die weitere Optimierung der Kabinengestaltung.

## DANKSAGUNG

Diese schriftliche Fassung zum Vortrag basiert auf einer Diplomarbeit der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg), Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau. Die Arbeit wurde durchgeführt bei der Airbus Deutschland GmbH.

An dieser Stelle möchte ich mich nochmals bei meinem industriellen Betreuer Herrn Dipl.-Ing. H. Kwik, für die sehr gute Betreuung im Betrieb, sowie bei meinen Professoren, Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Scholz und Herrn Prof. W. Granzeier für die Betreuung seitens der Hochschule bedanken.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] LEE, Stefan: *Konzeptionelle Untersuchung einer Flying Wing Zweideckkonfiguration*. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, Diplomarbeit, 2003. - (Diplomarbeit durchgeführt bei Airbus Deutschland GmbH, Hamburg)
- [2] AIRBUS INDUSTRIE: Data for VELA (Very efficient large aircraft) Configuration Issue X.X. Hamburg : Airbus Industrie, ED
- [3] AIRBUS DEUTSCHLAND: EHCA- Daten und Anforderungen : Technical Concept Description Part I (Standards and Requirements). Hamburg : Airbus Deutschland GmbH, EHCA, 2001
- [4] HULIN, Martyn: *Feasibility Study Of A 750 Seat Passenger Flying Wing Aircraft*. Filton, England : Airbus, FPO, 2002 (EDU/FLW/MKH/18213A)
- [5] AIRBUS INDUSTRIE: Cabin Configuration Guide : A380-800. Airbus Industrie, BGCE, 2002. - (3 volumes, prepared in accordance with: A380-800 L 000 08000 issue 03, Draft issue 1, July 2002)
- [6] AIRBUS INDUSTRIE: A380 Top Level Aircraft Requirements. Issue 4. Airbus Industrie, BNEG, 1999 (821.0481/99)
- [7] AIRBUS INDUSTRIE: A380 Top Level Cabin Requirement Document. Airbus Industrie, 1999 (LE-C 821.0102/99)
- [8] GRANZEIER, Werner: New Cabin Design Concept for Blended Wing Body Aircraft/ A20.30 Aircraft for up to 900 Pax. In: AIAA: *Aircraft Technology, Integration and Operations Technical Forum* (Los Angeles, CA, USA, 1.-3. Oktober 2002). Reston, USA : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002. - (Paper: AIAA-2002-5888)
- [9] EELMANN, Stephan; BECKER, Axel (Hrsg.): *Luftverkehrsszenario am Lehrstuhl für Luftfahrttechnik im WS 2001/02 : Kabine Blended Wing Body 2030<sup>+</sup>*. Garching : TU München, Lehrstuhl für Luftfahrttechnik, 2002. - (LT-TB 02/14)
- [10] SMITH, H.; Cranfield College of Aeronautics: *Blended Wing Body Airliner - The Next Generation of Civil Transport Aircraft*, 1999 - URL: <http://www.wing.cranfield.ac.uk> (03-09-03)
- [11] LIEBECK, R. H.: Design of the Blended-Wing-Body Subsonic Transport. In: AIAA: *Aerospace Sciences Meeting & Exhibit* (Reno, NV, USA, 14.-17. Januar 2002). Reston, USA : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002. - (Paper: AIAA-2002-0002)
- [12] DOEBERTIN, Oliver: *Cabin Criteria for Flying Wing Proposal Selection*. Hamburg : Airbus Deutschland GmbH, 2001
- [13] KLEFFMANN, Jörn: *Konzeptionierung der Passagierkabine für ein Nurflügelgroßraumflugzeug*. Bielefeld, Fachhochschule Bielefeld, Fachbereich Produktentwicklung, Diplomarbeit, 2001. - (Diplomarbeit durchgeführt bei Airbus Deutschland GmbH, Hamburg)
- [14] BRUENGER, Christian Moritz: *Strukturelle Konzeption und Analyse eines neuartigen Frachtflugzeuges in Nurflügelkonfiguration*. Bielefeld, Fachhochschule Bielefeld, Fachbereich Maschinenbau, Diplomarbeit, 2000. - (Diplomarbeit durchgeführt bei Airbus Deutschland GmbH, Hamburg)
- [15] JOINT AVIATION AUTHORITIES: Joint Aviation Requirements, Part 25, Large Aeroplanes. Amendment 16, 03-05-01. - URL: <http://www.jaa.nl/section1/jars/43/07/430782/430782.pdf> (03-09-03)
- [16] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: The Federal Aviation Administration, 2003. - URL: <http://www.faa.gov>
- [17] INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION: *Airport Handling Manual*. 21<sup>st</sup> Edition. Montreal, Kanada : 2001
- [18] JONES, Peter; KIPPS, Michael: *Flight Catering Book*. Harlow: Longman Scientific and Technical, 1995. - (ISBN: 0-582-27556-X; International Flight Catering Association; URL: <http://www.ifcanet.com/book>)
- [19] STAVENHAGEN, Tom: Analysis of the aircraft turn-round for modeling and improving the cabin cleaning process. Helsinki, University of Helsinki, faculty aeronautical engineering, Master Thesis, 2002. - (Master Thesis durchgeführt bei Airbus Deutschland GmbH, Hamburg)
- [20] AIRBUS INDUSTRIE: Airbus Directives (ABD) and Procedures : Ramp Compatibility, Ground Handling/Service. Issues E. Blagnac, Frankreich : Airbus Industrie, 2000
- [21] TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG-HARBURG: *BMW AP3 : Sichere Evakuierung*. Ausgabe 1. Hamburg : TUHH, 1997. -(EADS, 31.01.1997)
- [22] DARCOTT, Will; JOHNSON, Andy: Evacuation Problems and Solutions for Blended Wing Body Aircraft. Bristol, England, University of Bristol, Final Year Research Project, 2002
- [23] JOINT AVIATION AUTHORITIES: Joint Aviation Requirements, Part 25, Large Aeroplanes, Appendix J: Emergency Demonstration. In: [15]