

# EIN MBSE-ANSATZ FÜR DIE AUSLEGUNG VON FLUGZEUGKABINEN AM BEISPIEL EINES PASSENGER SUPPLY CHANNEL

M. Fuchs<sup>a</sup>, J. Fuchte<sup>b</sup>, J. Biedermann<sup>a</sup>,

<sup>a</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, Hein-Saß-Weg 22, 21129 Hamburg, Deutschland

<sup>b</sup> Diehl Aviation, Hein-Saß-Weg 22, 21129 Hamburg, Deutschland

## Abstract

Die Leitkonzepte des DLR entsprechen den Zielen der europäischen Luftfahrtstrategie für ein effizienteres, kostengünstigeres und sicheres Fliegen. Dabei wird bereits in der Entwurfsphase betrachtet, wie sich das Flugzeug und die Kabine in das Gesamtsystem Luftverkehr einfügt unter der Berücksichtigung des Faktors Mensch. Modelle und grafische Analysen können in der Vorentwicklung helfen, Konzepte für die Gestaltung der Flugzeugkabine effizienter durchzuführen. Die vorliegende Veröffentlichung wird daher den modellbasierten Lösungsansatz für die Flugzeugkabine anhand des Passagierservicekanals (PSC) untersuchen. Mit Hilfe des Model-based Systems Engineering Ansatzes und der objektorientierten Programmierung werden verschiedene Modelle zur Abbildung der vielfältigen funktionalen Eigenschaften beispielhaft an dem PSC erstellt. Mit diesen werden dann unterschiedliche Konzepte zur optimalen Anordnung der Passagierservicefunktionen in der Kabine untersucht und anschließend nach ausgewählten Kriterien bewertet. Dabei stehen die Anforderungen an den Passagierkomfort und einer möglichen Vormontage der PSC-Elemente im Vordergrund. Dadurch kann bereits in der frühen Entwicklungsphase eine Bewertung von Kabinenkonzepten durchgeführt, Designs visualisiert und der Faktor Mensch berücksichtigt werden.

## Keywords

MBSE; Passenger Supply Channel; PSU; Kabine; Knowledge-based Systems Engineering; Luftfahrt; OOP

## 1. EINLEITUNG

Flugzeughersteller stehen vor der Herausforderung einer zunehmenden Systemkomplexität ihrer Produkte aufgrund des Einsatzes neuer Technologien, um die Ziele der ACARE<sup>1</sup> an einen effizienteren und nachhaltigeren Flugverkehr zu erreichen. Dadurch ist ein Zusammenwirken vieler Spezialisten verschiedener Fachdisziplinen erforderlich. Hierbei können neue Produktentwicklungsmethoden, wie das Model-based Systems Engineering (MBSE), bei der disziplinübergreifenden Systemauslegung unterstützen. Durch die Anwendung wissensbasierter Methoden und Modelle können komplexe Systeme und deren Vernetzung untereinander einfacher verstanden werden. Die vorliegende Thematik ordnet sich in das Leitkonzept 6 - *Das virtuelle Produkt* der DLR Strategie ein [1].

In dieser Arbeit wird der modellbasierte Ansatz für die Flugzeugkabine näher betrachtet und die strukturellen Grundlagen für dessen Auslegung modelliert. Der Fokus liegt dabei auf der Darstellung des Passagierservicekanals sowie dessen Schnittstellen zu anderen Kabinensystemen und dem Passagier.

Mit Hilfe des MBSE-Ansatzes wird eine Methodik zur strukturierten und modularen Anordnung der PSC-Elemente entwickelt. Dabei werden sowohl die

mechanischen, elektrischen und drahtlosen Schnittstellen als auch das Benutzer-Frontend zur Installation berücksichtigt. Diese vielfältigen Eigenschaften können durch Modelle mit spezifischen Ein- und Ausgängen abgebildet werden. Diese ermöglichen, die Passagierservicefunktionen mit verschiedenen Platzierungskonzepten zu simulieren und abschließend zu bewerten, wobei die Anforderungen an den Passagierkomfort und einer möglichen Vormontage im Vordergrund stehen. Dadurch kann eine Bewertung von Kabinenkonzepten bereits in der Entwicklungsphase durchgeführt und der Faktor Mensch berücksichtigt werden. Das Gesamtsystem des PSCs kann daher durch eine Vernetzung verschiedener Modelle erfasst werden und darüber hinaus die Schnittstellen sowie Wechselwirkungen innerhalb der Flugzeugkabine aufzeigen.

## 2. GRUNDLAGEN

In diesem Abschnitt wird zunächst der Begriff des Model-based Systems Engineerings näher erläutert (Abschnitt 2.1). Des Weiteren wird eine kurze Einführung in die objektorientierte Programmierung gegeben (Abschnitt 2.2). Anschließend werden die Passagierserviceeinheit (PSU) sowie der Passagierservicekanal und die zu betrachtenden Kabinensysteme vorgestellt (Abschnitt 2.3).

<sup>1</sup> Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe

## 2.1. Model-based Systems Engineering

Das International Council of Systems Engineering (INCOSE) versteht unter der modellbasierten Systementwicklung die Nutzung von durchgängigen Modellen im Rahmen der Aktivitäten der Systementwicklung [2]. Der interdisziplinäre Ansatz ermöglicht die methodische Entwicklung von Systemen und fokussiert ein ganzheitliches und zusammenwirkendes Verständnis der Anforderungen, Dokumentation und der Entwicklung von Lösungen [2].

Dieser Ansatz verbindet das Vorgehen des traditionellen Systems Engineering mit visuellen Modellierungstechniken. Das Modell stellt dabei eine Abbildung des zu entwickelten Systems dar und unterstützt in der Erarbeitung der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der einzelnen Subsysteme untereinander. Dabei wird eine formale und grafisch orientierte Sprache genutzt, um das zu entwickelnde System zu beschreiben. Durch die Anwendung von Modellen verspricht man sich eine bessere Kommunikation bei der Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams und eine erhöhte Qualität und Kontrolle des Endproduktes. Zudem lassen sich dadurch komplexe Zusammenhänge besser darstellen [3].

Für die Herleitung und Darstellung der Modelle in dieser Arbeit werden die Methoden der grafischen Modellierungssprache UML (engl. Unified Modeling Language) des MBSE verwendet, da dessen Strukturen leicht zu verstehen und anzuwenden sind [4]. Diese sind:

- das **Anwendungsfalldiagramm** zur Visualisierung des Systemverhaltens und der Abhängigkeiten,
- das **Klassendiagramm** zur Beschreibung der Zusammenhänge und Eigenschaften von Klassen,
- und das **Aktivitätsdiagramm** für die zeitliche Reihenfolge zur Generierung der Objekte.

## 2.2. Objektorientierte Programmierung

Die Abbildung der Flugzeugkabine und des Versorgungskanals erfolgt über einen objektorientierten Ansatz. Dieser stellt eine effektive Möglichkeit dar, komplexe Systeme in Teilkomponenten zu zerlegen und zu verstehen. Dabei wird das zu simulierende System in einzelne Klassen aufgeteilt und dient wiederum als Bauplan zur Erzeugung beliebig vieler Objekte. BILD 1 zeigt die einzelnen Zusammenhänge beispielhaft an einer Klasse Flugzeug.

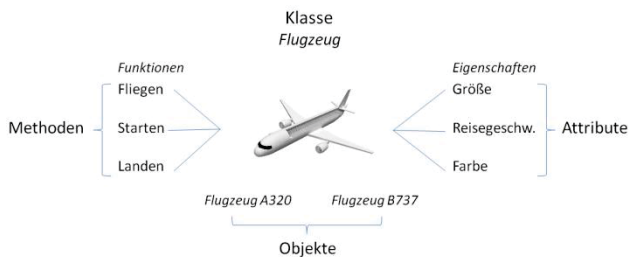


BILD 1. Struktur der objektorientierten Programmierung

Die Datenstruktur eines Objekts wird durch die Attribute/Eigenschaften seiner Klassendefinition fest-

gelegt, während das Verhalten von den Methoden der Klasse bestimmt wird. Zusätzlich können Klassen von anderen Klassen abgeleitet werden (Vererbung). Dank der Vererbung müssen Methoden und Attribute nur einmal definiert werden, da die erbende Klasse auf die bereits implementierten Objektdefinitionen der vererbenden Klasse zurückgreifen kann [5]. Besonders bei der Generierung der Flugzeuggeometrie mit vielen wiederkehrenden Bauteilen ist die Methode der Vererbung vielversprechend, indem Programmiercode reduziert und die Konsistenz in den Merkmalen sichergestellt wird.

## 2.3. Die Passagierserviceeinheit

Neben der Bereitstellung eines Sitzplatzes und notwendiger Serviceeinrichtungen, werden dem Passagier in der Kabine Zugänge zu Serviceelementen bereitgestellt. Diese befinden sich im Passagierservicekanal der oberhalb jeder Passagierreihe eingebaut ist und sich unterhalb der Gepäckablage befindet. Die Servicefunktionen einer Sitzreihe sind in einer Passagierserviceeinheit zusammengefasst, die wiederum im PSC eingebaut ist.

BILD 2 zeigt eine Drauf- und Rückansicht auf die PSC-Elemente wie sie ähnlich in heutigen A320 und vergleichbaren Flugzeugen zu finden sind. Diese lassen sich in zwei Kategorien unterteilen. Zum einen die primären Funktionen, die gesetzlich vorgeschrieben sind und zum anderen die sekundären, die dem Komfort der Passagiere dienen und als freie Angebote wahrgenommen werden können.

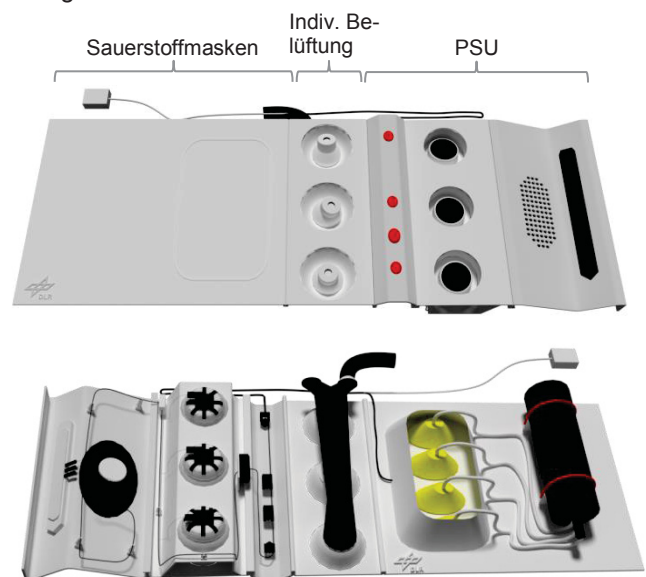


BILD 2. Draufsicht auf die PSC-Elemente (oben) und Rückansicht (unten) mit Anschlüssen an die elektrische Versorgung, an das Datenbussystem und die Luftzufuhr

Die Anordnung und Anzahl der einzelnen Elemente des PSCs variieren mit der Passagierkonfiguration. Jeder Sitzreihe ist demnach genau eine Einheit zugeordnet. Fülleisten zwischen den Einheiten passen diese an den Sitzabstand an. Dabei muss sichergestellt sein, dass die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden und dem Passagier Zugang zu den primären Funktionen gewährleistet wird.

**Primäre Funktionen**

- Sauerstoffmasken
- Anschnallzeichen
- Hinweiszeichen
- Sprachansagen

**Sekundäre Funktionen**

- Leselicht
- Flugbegleiterrufknopf
- Individuelle Belüftung
- In-flight Entertainment (IFE)

Der PSC unterliegt sicherheitsrelevanten Anforderungen (CS-25)<sup>2</sup>, muss Signale des Cabin Management Systems und ggf. auch des IFE empfangen, ist teilweise an verschiedene elektrische Bordnetze angeschlossen und kann weitere Aktionen steuern. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden Modelle zur Abbildung dieser Wechselwirkungen entwickelt.

**3. MODELLBASIERTE AUSLEGUNG VON PSC-FUNKTIONEN**

Mit der Anwendung von Modellen kann das System des PSCs inkl. seiner Wechselwirkungen und Schnittstellen zur Außenwelt abgebildet werden. Diese werden im folgenden Abschnitt erläutert. Des Weiteren werden die Herangehensweise und der Aufbau der Programmierung für die Bewertung verschiedener PSC-Konzepte vorgestellt.

**3.1. Modellvorstellung**

Wie bereits in Abschnitt 2.3 aufgezeigt, gibt es bei der Nutzung der Servicefunktionen diverse Wechselwirkungen mit anderen Systemen und die Interaktion mit dem Passagier. Um den modellbasierten Ansatz zur Auslegung des PSCs umzusetzen, werden die folgenden sechs Modelle verwendet (BILD 3).

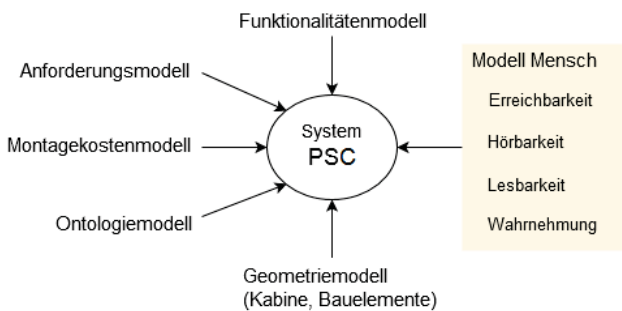


BILD 3. Modelle zur Abbildung des Systems PSC

Das Geometriemodell wird für die Visualisierung der Kabinenstruktur und den Aufbau des PSCs erstellt. Zudem liefert es die Randbedingungen für die Platzierung der Passagierserviceeinheiten durch die Vorgabe der geometrischen Abmessungen des Versorgungskanals. Aufbauend auf diesen Daten wird in einem weiteren Modell die Ontologie des Gesamtsystems abgeleitet. Mithilfe der Ontologie lassen sich die Wechselwirkungen und Hierarchien der

<sup>2</sup> Certification Specifications for Large Aeroplanes

Komponenten zueinander beschreiben und darstellen. Ein Funktionalitätenmodell wird für die Darstellung von Schnittstellen zu anderen Teilsystemen der Kabine oder für die Interaktion mit dem Passagier benötigt. Um eine regelbasierte Anordnung der Servicefunktionen umzusetzen und anschließend zu bewerten, werden weitere Modelle benötigt. Zum einen wird ein Montagekostenmodell erstellt, mit dem potenzielle Einsparungen bei der Vormontage erfasst werden können. Zum anderen wird für die Betrachtung des Passagierkomforts ein Modell des Menschen herangezogen. Abschließend dient das Anforderungsmodell dazu, Wünsche und Ziele an die Designauslegung zu berücksichtigen und diese bei der Platzierung der PSC-Elemente mit einfließen zu lassen (z.B. hoher Passagierkomfort).

**3.1.1. Modell Mensch**

Bei der Auslegung des PSCs sowie für das Komfortempfinden spielen die körperlichen Maße des Passagiers eine entscheidende Rolle. Mit einem Modell des Menschen werden daher die folgenden Eigenschaften, wie:

- Erreichbarkeit
- Sprachverständlichkeit
- Lesbarkeit
- Sichtbarkeit
- Luftströmungsempfinden

beschrieben. Für die Aufstellung von Gleichungen zur Bewertung in Form einer Zielfunktion werden die Maße eines durchschnittlichen europäischen Menschen nach der CEN-ISO TR 7250 zugrunde gelegt [6]. Damit wird für jeden Sitz basierend auf dem Sitzbezugspunkt die Referenzpositionen für die Schulter und die Augen des Passagiers ermittelt sowie der sich daraus ergebende Greifbereich bestimmt (BILD 4).

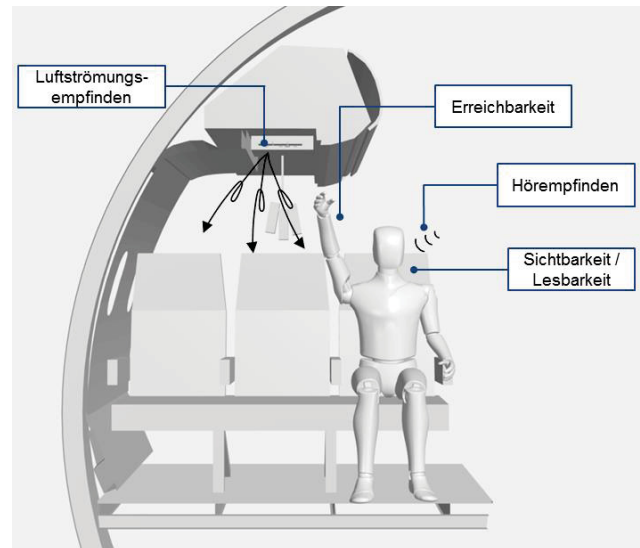


BILD 4. Modell Mensch in der Flugzeugkabine

Mit einer Abstandsberechnung werden dann die Entfernungen  $a_{tat,i}$  zwischen den Referenzpunkten des Menschen und den einzelnen Bezugspunkten der Servicefunktionen bestimmt. Referenziert auf einen vorher festgelegten Grenzwert für die jeweilige

Eigenschaft, bei dem der Komfort so eben noch gewährleistet werden kann, ergibt dies dann für alle Sitze  $n_s$  ein Wert größer oder kleiner 1 (Gleichung 1). Die angenommenen Grenzwerte  $a_{max,i}$  wurden basierend auf Erfahrungswerten, den Anforderungen der CS-25 und der DIN aufgestellt [6-10].

$$(1) Z_i = \frac{\sum a_{tat,i}}{n_s \cdot a_{max,i}}$$

Mit den Ergebnissen aus Gleichung 1 wird die Zielfunktion zur Bewertung des Passagierkomforts in Form eines gemittelten Wertes aller einzelnen Kriterien berechnet (Gleichung 2). Ziel ist es einen möglichst geringen Wert zu erzielen und damit für den durchschnittlichen europäischen Passagier eine komfortablere Bedienung zu ermöglichen.

$$(2) Z_{ges} = \frac{\sum Z_i}{6}$$

### 3.1.2. Montagekostenmodell

Zusätzlich zum geometrischen Modell des Menschen und der dazugehörigen Abstandsbewertung wird ein Kostenmodell zur Bewertung der neuen Szenarien angewendet. Dabei wird speziell auf die Bewertung der Montage eingegangen und damit zusammenhängende Einsparpotenziale aufgezeigt. Für einen Einbau der PSC-Elemente während der Vormontage ergeben sich die folgenden Vorteile:

- Bessere ergonomische Bedingungen
- Keine Beschränkung durch Einbauräume
- Totzeiten werden vermieden,

die wiederum zu Kosteneinsparungen führen können [10]. Die genannten Zusammenhänge sind in einer Zielfunktion  $Z_K$  festgehalten (Gleichung 3).

$$(3) Z_K = P \cdot (\sum_i^n t_i + t_f) \cdot \frac{(1+N)}{100}$$

Mit der Gleichung 3 wird die benötigte Arbeitszeit [h] ermittelt, die für den Einbau der PSC-Elemente  $t_i$  und der dazwischen liegenden Füllleisten  $t_f$  benötigt wird. Anschließend wird der Wert mit dem Faktor  $N$  (Non-Value Adding) multipliziert. Dieser berücksichtigt Aktivitäten, wie die Inspektion, das Nacharbeiten oder das Holen von Werkzeug, die zusätzlich zum direkten Einbauvorgang mit betrachtet werden müssen. In der Endmontage beträgt der N-Faktor erfahrungsgemäß zwischen 50-80 %.

### 3.1.3. Geometriemodell

Für die Visualisierung der einzelnen Kabinenkomponenten und für die Speicherung der technischen Daten, wie Abmessungen oder Position, wird ein Geometriemodell erstellt. Dafür wird ein objektorientierter Ansatz verwendet. Zur besseren Verwaltung der vielen Objekte und der Reduzierung von Programmcode wird das Konzept der Klassen angewandt. Abgeleitete Klassen erben die bereits in der Basisklasse *Komponente* generierten Eigenschaften und Funktionen. Diese sind z.B. die Plot-Funktion für die grafische Darstellung oder Abstandsberechnungen für die Ermittlung der Zielfunktion aus Abschnitt 3.1.1. Je nach Klasse

beinhalten die Tochterklassen weitere Eigenschaften oder Funktionen, die speziell für deren zukünftige Objekte benötigt werden. So besitzt die Klasse *Kabine* eine Methode zur Erzeugung von Objekten der Klasse *Sitz*. Mit dieser werden Daten vom Objekt der Kabine an den Sitz übergeben und entsprechende Objekte passend zum gewählten Kabinenkonzept erzeugt. Ein vereinfachter Aufbau des Klassendiagramms ist beispielhaft in BILD 5 dargestellt.

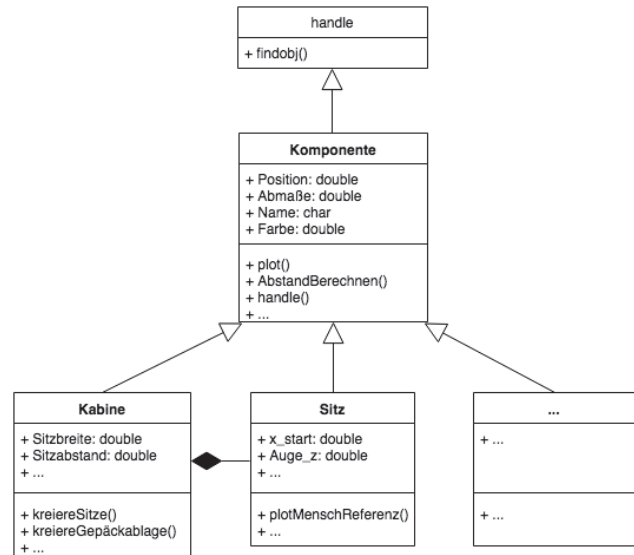


BILD 5. Vereinfachtes Klassendiagramm, beispielhaft für die Tochterklassen *Kabine* und *Sitz* dargestellt

Für die Programmierung wird die kommerzielle Software Matlab® (Version R2018b) verwendet. BILD 6 zeigt das in Matlab® erzeugte Geometriemodell einer A320, das über eine Schnittstelle in ein STL-Format exportiert und anschließend mit der Grafiksoftware Blender (Version 2.79b) visualisiert wurde.

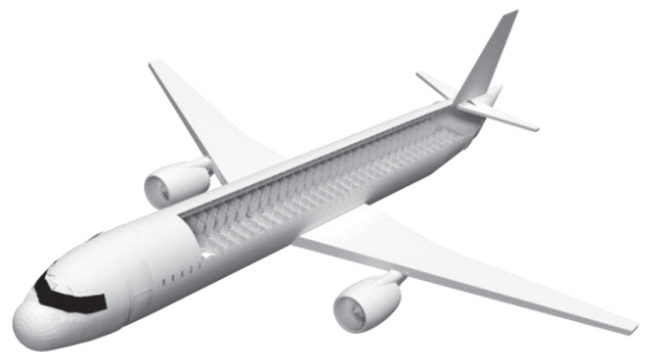


BILD 6. Gerendertes Geometriemodell einer Airbus A320 mit der Grafiksoftware Blender

### 3.1.4. Ontologiemodell

Ein weiteres Modell für die Beschreibung und Darstellung des Passagiersversorgungschanals und der Kabine ist die Ontologie. Mit dieser wird ein allgemeines Vokabular definiert und für das Teilen von Wissen und Informationen verwendet. Dadurch werden dem Anwender die Beziehungen und Hierarchien der einzelnen Komponenten zueinander visuell verdeutlicht (BILD 7). Dies betrifft z.B. die Zuordnung einzelner

Komponenten zur Primär- oder Sekundärstruktur im Flugzeug.

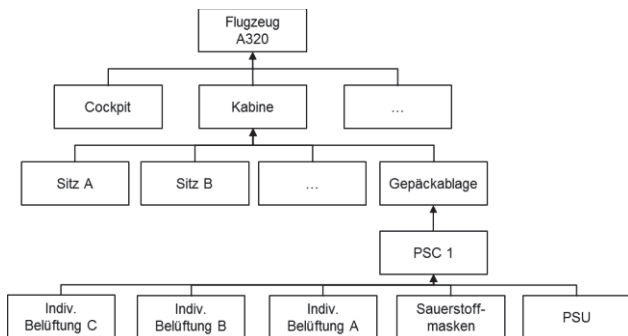


BILD 7. Beispielhierarchie für ein Flugzeugmodell

**3.1.5. Funktionalitätenmodell**

Wie bereits in Abschnitt 2.3 aufgeführt, bestehen diverse Anwendungsfälle für die Nutzung der Servicefunktionen sowie Schnittstellen zu weiteren Systemen innerhalb der Kabine. Auf Basis der Daten in den erzeugten Kabinenobjekten und deren Positionen werden die Verbindungen und Wechselwirkungen in einem Modell visualisiert. BILD 8 zeigt beispielhaft die haptische Interaktion zwischen Passagier und den PSC-Elementen im dreidimensionalen Raum.

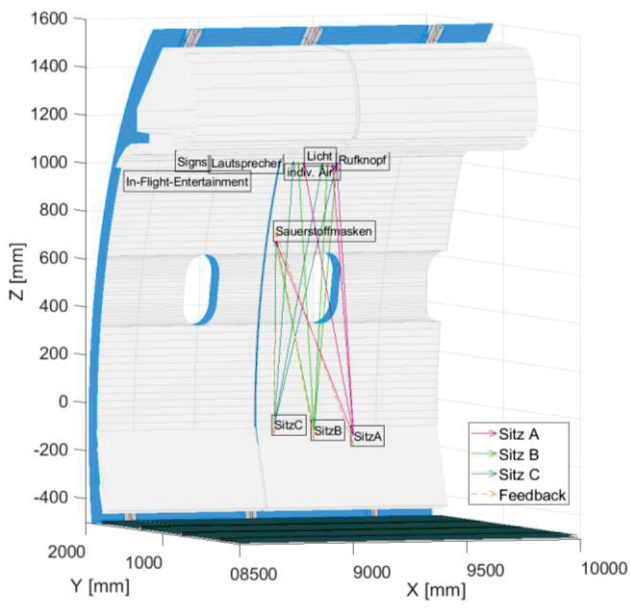


BILD 8. Funktionalitätenmodell einer Anordnung für die haptische Interaktion mit dem Passagier

Über weitere Darstellungen können ebenfalls die elektrische, pneumatische und digitale Anbindung sowie die visuelle und akustische Interaktion mit dem Passagier angezeigt werden. Darüber können z.B. zukünftig potenzielle Zusammenführungen von elektrischen Leitungen für das Kabelrouting oder Anschlüsse sichtbar gemacht werden.

**3.1.6. Anforderungsmodell**

Die Platzierung der einzelnen Servicefunktionen basiert auf einer generierten Wissensdatenbank. In dieser sind das Fachwissen, die Regeln und die zugehörigen

Prozessabläufe festgehalten, damit verschiedene Szenarien für die Auslegung des PSCs untersucht und bewertet werden können.

Das Anforderungsmodell beschreibt die Ziele und Vorgaben an die Platzierung der PSC-Elemente. Diese bestimmen, auf welchen Teil der Regeln innerhalb der Wissensdatenbank zurückgegriffen wird und nach denen die Funktionen platziert werden. Dies könnte zum einen die Einhaltung bestimmter Abstände zwischen einzelnen Funktionen zum Passagier sein. Zum anderen beeinflussen aber auch wechselnde Randbedingungen, wie z.B. bei der Betrachtung neuer Gepäckablagen, die Auslegung. Je nachdem welche geometrischen Maße, Eigenschaften oder Ziele vorgegeben werden, ändert sich das resultierende Kabinenszenario.

**3.2. Regelbasierte Anordnung der PSC-Elemente**

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Logik zur Platzierung der PSC-Elemente abhängig von den gewünschten Anforderungen aufgebaut. Dafür wird der Passagierversorgungskanal als Matrix nachgebildet und stellt den möglichen Bauraum für die Platzierung der Servicekomponenten bereit (BILD 9). Im nächsten Schritt werden die einzelnen Bauteile innerhalb der Matrix abhängig von definierten Regeln platziert. Die Positionierung erfolgt in einer bestimmten Reihenfolge und abhängig von den geometrischen Maßen. Die benötigten Daten werden mit dem Geometriemodell generiert.

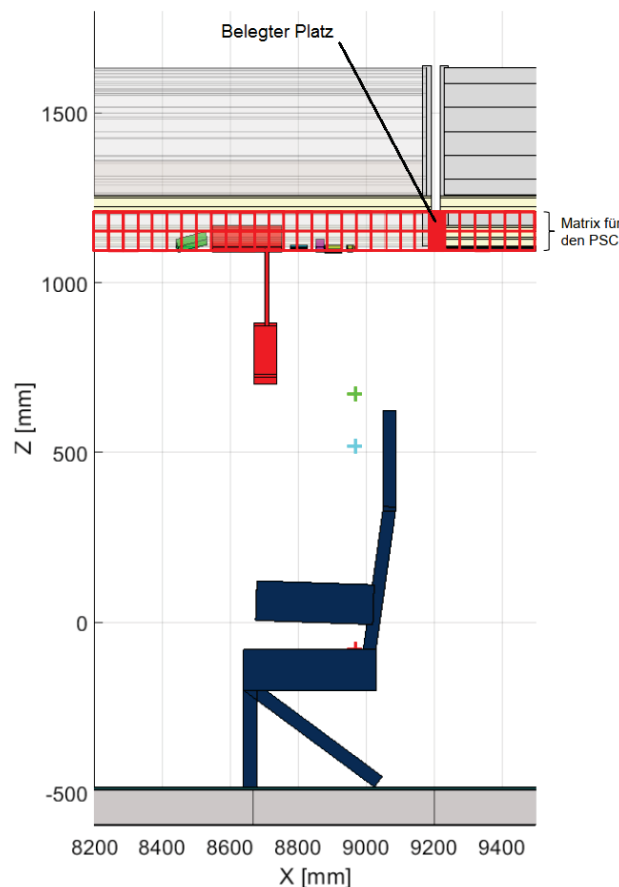


BILD 9. Seitenansicht auf die Kabine mit schematischer

Darstellung des PSC als roter Matrix zur Anordnung der Servicefunktionen für den Passagier (beispielhaft für das Szenario 2)

Begonnen wird mit den Sauerstoffmasken, da diese ein sicherheitskritisches System sind und eine erhöhte Priorität für die Erreichbarkeit zum Passagier darstellen. Anschließend werden die Belüftungselemente, die Beleuchtung, der Flugbegleiterrufknopf, die Hinweiszeichen und die Lautsprecher und falls vorhanden, das In-flight Entertainment platziert. Die Anordnung startet mit der ersten Sitzreihe und läuft der Reihe nach durch.

Bei der Bewertung der PSC-Szenarien wird ebenfalls die Montage betrachtet. Eine Vormontage der Passagierserviceeinheit kann nur dann erfolgen, wenn diese innerhalb der Grenzen der Gepäckablage platziert werden. Die leeren Zwischenräume werden deshalb in der Matrix durch Zahlenwerte belegt und verhindern eine Platzierung der Servicefunktion (BILD 9). Sobald ein erster freier Platz in der Matrix gefunden wird, der die Anforderungen an die maximalen Abstände erfüllt, werden die angrenzenden Felder entsprechend den Abmessungen der Bauteile ebenfalls auf Verfügbarkeit hin überprüft. Ist dabei allerdings eines der Felder belegt, wird nach dem nächstfreien Feld gesucht und ggf. die Neuordnung oder Aufteilung der PSC-Elemente veranlasst. Diese Prozedur setzt sich dann bis zur Platzierung der letzten Einheit fort.

**4. KABINENSTUDIE**

Im folgenden Abschnitt werden automatisiert mit dem formalisierten und in den Modellen abgelegten Regelwissen vier verschiedene Kabinenszenarien erzeugt. Anschließend werden diese entsprechend der Kriterien aus den Abschnitten 3.1.1 und 3.1.2 bewertet.

**4.1. Annahmen**

Alle Kabinenszenarien werden für die gleiche Flugzeugauslegung betrachtet. Es wird als Flugzeugtyp ein Airbus A320 mit einem Sitzabstand von 29 inch und als Single-Aisle Konfiguration gewählt. Die verwendeten Daten für die Erstellung der Primär- und Sekundärstruktur wurden [12,13,14] entnommen. Des Weiteren gilt die Annahme bei der Auslegung des PSCs, dass die Lautsprecher und Hinweiszeichen in nur jeder zweiten Sitzreihe eingebaut werden.

**4.2. Vorstellung der vier getesteten Szenarien**

Für die Kabinenstudie werden automatisch vier verschiedene Kabinenszenarien erstellt und anschließend bewertet. Diese sind in einer Frontalansicht in BILD 10 dargestellt. Als Erstes wird ein Referenzszenario auf Basis der heutigen Kabinenkonfiguration eines Airbus A320 von Eurowings mit dem Standard Bin (STD) ausgelegt. Zudem ist die PSU nicht vormontierbar, da diese über die Abmaße der Gepäckablage hinaus montiert wird, um eine symmetrische Anordnung zwischen PSU und Sitzplatz zu gewährleisten. Aufbauend darauf wird in einem Szenario 1 eine neue, größere Gepäckablage (Enlarged Bin, ENL) eingebaut, wodurch mehr Stau-

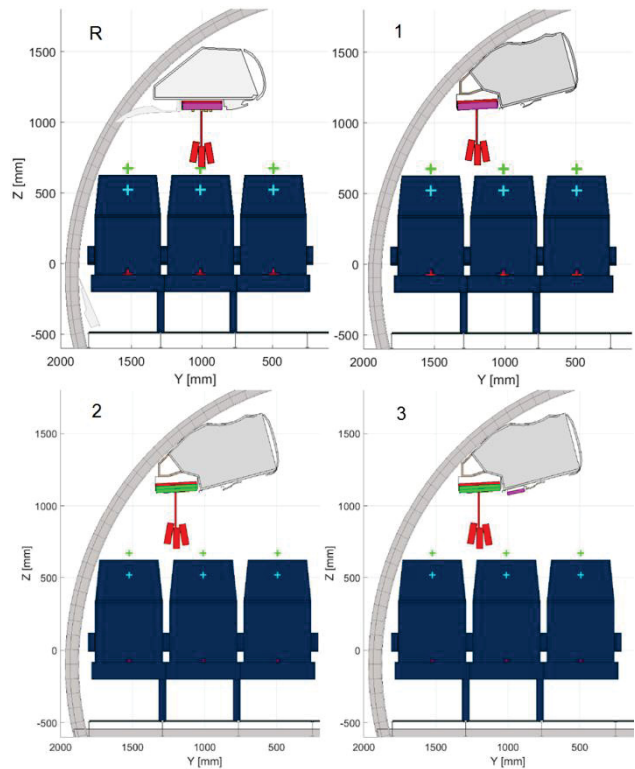


BILD 10. Die vier untersuchten Kabinenszenarien: Referenzszenario mit STD (R), Szenario 1 mit ENL (1), Szenario 2 mit ENL/Vormontage (2), Szenario 3 mit ENL/Vormontage/2 PSC (3)

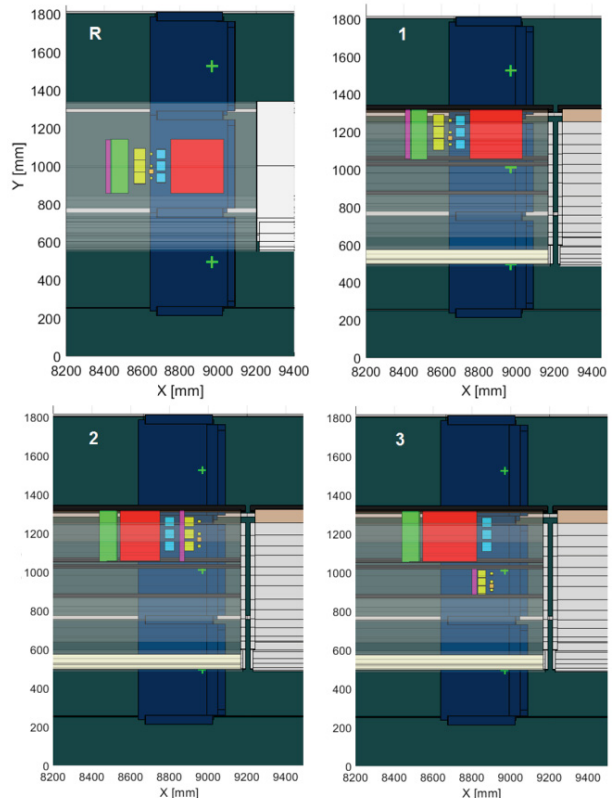


BILD 11. Die vier untersuchten Kabinenszenarien in der Draufsicht: Referenzszenario mit STD (R), Szenario 1 mit ENL (1), Szenario 2 mit ENL/Vormontage (2), Szenario 3 mit ENL/Vormontage/2 PSC (3)

raum für das Handgepäck der Passagiere an Bord geschaffen wird. Die Anforderungen an die Platzierung der Servicefunktionen bleiben identisch zu denen der Referenz.

In einem Szenario 2 wird ebenfalls der ENL verwendet und zusätzlich eine kompaktere Bauweise der PSU untersucht. Eine weitere Neuerung ist die Möglichkeit der Vormontage. Dabei dürfen die PSC-Elemente die Abmaße der Gepäckablagen in Längsrichtung nicht überschreiten, sodass die Anordnung der Servicefunktionen innerhalb des PSCs variiert. Bei dem ENL befindet sich der PSC, im Gegensatz zum STD, näher am Fensterplatz und erhöht dadurch die Entfernung zu den Funktionen für den Gangplatz. Daher wird im Szenario 3 neben der Anforderung zur Einhaltung der Grenzen der Gepäckablagen ein zweiter Versorgungskanal verwendet. Die Platzierung der Funktionen teilt sich auf zwei Versorgungskanäle auf, wodurch eine kompaktere Bauweise bei erhöhtem Passagierkomfort geschaffen wird.

Das BILD 11 zeigt eine Draufsicht auf die vier untersuchten Kabinenszenarien, in der die Anordnung der unterschiedlichen Passagierservicefunktionen im PSC erkennbar ist. Dafür ist die Gepäckablage transparent dargestellt, sodass die Varianz in der Reihenfolge der einzelnen PSC-Elemente ebenfalls gut zu erkennen ist.

### 4.3. Ergebnisse

Das BILD 12 zeigt die prozentualen Veränderungen im Komfort zum Referenzszenario, aufgeteilt nach den jeweiligen Sitztypen. Die der Berechnung zugrunde liegenden Ergebnisse der jeweiligen Abstände sind beispielhaft für das Referenzszenario im Anhang (BILD 13) dargestellt. Der Typ A steht dabei für den Gangplatz, B für den Mittelplatz und C für den Fensterplatz. Eine Erhöhung des Wertes bedeutet eine Zunahme des Abstandes zwischen Servicefunktion und Passagier und impliziert damit eine negative Auswirkung auf den Komfort (roter Bereich).

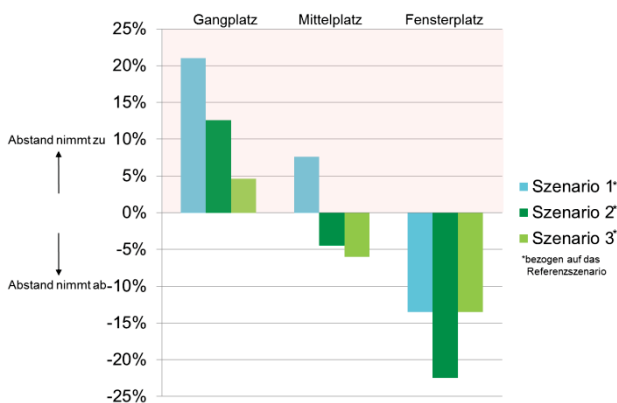


BILD 12. Prozentuale Veränderungen zum Referenzszenario für die Sitztypen A, B und C

Die deutlichsten Veränderungen anhand der Ergebnisse sind bei den Sitzen A und C vorzufinden. Begründet ist dies in der Geometrie des PSCs. Beim ENL wandert der Passagierservicekanal von der Mitte hin in Richtung Fenster. Dadurch verlagert sich

die Erreichbarkeit zu besseren Werten für den Sitz C und erhöht den Abstand zum Sitz A. Die Erreichbarkeit der Servicefunktionen wird damit für den Passagier auf dem Gangplatz erschwert. Durch die Verteilung der Funktionen auf zwei Kanäle (Szenario 3) kann dieser Verschiebung entgegen gewirkt werden und bietet eine Möglichkeit allen Passagieren dennoch einen gewissen Komfort bei der Bedienung der PSU zu gewährleisten.

Zusätzlich zeigen die Ergebnisse für die Montagekosten bzw. benötigten Zeitstunden zum Einbau und Anschluss der PSC-Elemente, dass diese um rund zweidrittel bei einer vormontierbaren Variante reduziert werden können (Szenario 2 & 3). Aufgrund der Vormontage an einer Fertigungsinsel stehen dem Monteur bereits die einzelnen Bauteile und Werkzeuge vor Ort zur Verfügung, wodurch sich die benötigten Einbauzeiten minimieren lassen.

### 4.4. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die angewandte Methodik zur Beschreibung von Kabinensystemen und -komponenten großes Potenzial bietet. Durch das formalisierte Regelwissen zur Anordnung der verschiedenen PSC-Elemente und den Modellen für die Beschreibung des Systems und der Bewertung ist es möglich, automatisiert disruptive Designs für unterschiedliche Anforderungen zu generieren. Anschließend können diese wiederum bewertet und miteinander verglichen werden.

Anhand der beispielhaften Auslegung des PSC konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse eine hinreichende Genauigkeit für die Bewertung von neuen Konzepten für den PSC in einer Flugzeugkabine aufweisen. Die getroffenen Annahmen ermöglichen in einer ersten Betrachtung aussagekräftige Ergebnisse über den Komfort des Passagiers, sollten aber für weiterführende Analysen erweitert und ausgebaut werden.

Neben der visuellen Unterstützung bei der Herleitung der Programmierung durch die Anwendung von UML, konnte mit den erstellten Modellen bereits eine strukturelle Grundlage für die Abbildung der Flugzeugkabine gelegt werden. Aufbauend auf den erstellten Datenmodellen können zukünftig weitere Modelle hinzugefügt werden, um die Flugzeugkabine vollständig abzubilden und eine frühzeitige Bewertung neuer Kabinenszenarien zu ermöglichen.

Durch die Anwendung eines objektorientierten Ansatzes können Objekte sowohl in einer Top-Down- als auch in einer Bottom-Up-Hierarchie erzeugt werden. Dadurch ändert sich die Ontologie zwischen den einzelnen Systemen oder Komponenten, sodass damit auch andere Ansätze für den Kabinenentwurf untersucht werden können. Zudem können Änderungen und Ergänzungen im Programmiercode dank der Vererbung mit wenig Aufwand vorgenommen werden.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In der vorliegenden Arbeit wurde der Methodische Entwurfsansatz für die Auslegung der Kabinen-

gestaltung mit Fokussierung auf den Passagierversorgungs kanal untersucht. Basierend auf den Anforderungen an die PSC-Auslegung und die Wechselwirkungen innerhalb der Kabine, wurden sechs Modelle zur Abbildung des Gesamtsystems generiert. Für die Modellierung der Struktur sowie für die Visualisierung wurde ein Geometriemodell der Kabinen- und PSC-Komponenten verwendet. Für die Darstellung der Schnittstellen zu den anderen Teilsystemen der Kabine oder der Interaktion mit dem Passagier wurde ein Funktionalitätenmodell erstellt. Zusätzlich diente eine Ontologie zum Aufzeigen der Komponentenhierarchie.

Darüber hinaus wurden drei weitere Modelle sowohl für die Bewertung als auch für eine regelbasierte Anordnung der Passagierserviceeinheiten erstellt. Zum einen erfasste ein Montagekostenmodell potenzielle Einsparungen bei der Vormontage. Zum anderen wurde für die Betrachtung des Passagierkomforts ein Modell des Menschen herangezogen und diente zur Ableitung einer Zielfunktion. In einem Anforderungsmodell wurden die Ziele an das auszulegende System festgehalten.

Abschließend wurde mit Hilfe der entwickelten Methodik und der Wissensdatenbank ein Referenz-Kabinenmodell basierend auf einem Airbus A320 erstellt sowie drei weitere automatisch generierte Szenarien dem gegenübergestellt. Trotz der disruptiven Änderungen bei den untersuchten Szenarien sind die Ergebnisse miteinander vergleichbar. Anhand der Ergebnisse zeigt sich, dass bei der Verwendung einer größeren Gepäckablage mit zwei Passagierversorgungs kanälen Einsparpotenziale bei der Montage möglich sind, ohne dabei den Passagierkomfort merklich zu beeinträchtigen. Folglich war es dank des modellbasierten Ansatzes möglich, eine umfangreiche Wissensdatenbank zu generieren, die gute Ergebnisse erzielte und auch verschiedene Konzepte bewertbar machte.

Im nächsten Schritt kann das generierte Regelwissen zur Anordnung der Passagierservicefunktionen erweitert werden und ist somit für die Durchführung einer Optimierung des PSC geeignet. Dabei werden die Anordnung der PSC-Elemente, die Anzahl der Versorgungs kanäle und dessen Breite automatisch variiert [15]. Zudem ermöglicht die objektorientierte Programmierung das generierte Kabinenmodell weiter auszubauen und neue Logiken sowie Objekte für eine detailliertere Ausarbeitung der einzelnen Baugruppen in einem Verkehrsflugzeug zu implementieren.

## REFERENZEN

- [1] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: *Leitkonzepte der DLR-Luftfahrtforschung*. <https://www.dlr.de/DE/forschung/luftfahrt/leitkonzepte.html> (abgerufen 24.09.2019)
- [2] INCOSE: *Systems Engineering Vision 2020*. INCOSE-TP-2004-004-02. Sep. 2007
- [3] La Rocca, G.: *Knowledge Based Engineering Techniques to Support Aircraft Design and Optimization*. Delft University of Technology. Dissertation. 2011
- [4] Fowler, M.; Scott, K.: *UML konzentriert – Eine strukturierte Einführung in die Standard-Objektmodellierungssprache*. 2. Auflage. Addison-Wesley Verlag. 2000
- [5] Lahres, B; Rayman, G.: *Objektorientierte Programmierung*. 2. Aktualisierte und erweiterte Auflage, Rheinwerk Computing, ISBN 978-3-8362-1401-8. 2009
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): *DIN CEN ISO/TR 7250-2 Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung – Teil 2: Anthropometrische Datenbanken einzelner nationaler Bevölkerungen*. Deutsche Fassung. Beuth Verlag. 2013
- [7] SAE International (Hrsg.): *SAE AIR1390 - Convenient Location of Oxygen Masks for Both the Crew and Passengers of Aircraft*. Rev. A, Aerospace Information Report. 1999
- [8] BG ETEM (Hrsg.): *Text und Bild – Schriftgröße*. Seiten 18-19. 2001
- [9] BG ETEM (Hrsg.): *Grundlagen zum Raumklima und zur Raumluftechnik*. Seite 7
- [10] EASA (Hrsg.): *Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25*. Amendment 3. 2007
- [11] Semmann, C.: *Industrie 4.0: Airbus gestaltet Supply Chain neu*. <https://www.dvz.de/rubriken/digitalisierung/detail/news/industrie-40-airbus-gestaltet-supply-chain-neu.html> (abgerufen 05.10.2018)
- [12] Fuchte, J.: *Enhancement of Aircraft Cabin Design Guidelines with Special Consideration of Aircraft Turnaround and Short Range Operations*. Technische Universität Hamburg. Dissertation. 2014
- [13] Airbus (Hrsg.): *Service Bulletin – A318/A319/A320/A321*. 2005
- [14] Airbus (Hrsg.): *Maintenance Facility Planning – MFP A321*. Facility Planning Manual. 1992
- [15] Fuchs, M.; Hesse, C.; Biedermann, J.; Fuchte, J.: *A multi-disciplinary design optimization of the passenger supply channel in the aircraft cabin*. In Proc. of the 9th EASN. 2019

## ACKNOWLEDGEMENTS

Dieser Beitrag ist im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit am Institut für Lufttransportsysteme an der TU Hamburg entstanden. Unterstützt und betreut wurde die Arbeit von Prof. Dr.-Ing. Volker Gollnick [TUHH], Dr. Jörg Fuchte [Diehl Aviation] sowie von Dr. Jörn Biedermann [DLR] und Dr. Christian Hesse [DLR].



## Anhang

Das BILD 13 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Abstandsberechnungen zwischen den Passagierservicefunktion und den Referenzpunkten jedes Sitzes. Dabei sind auf der x-Achse die Sitznummern sortiert nach den Gang- (Sitz A), Mittel- (Sitz B) und Fensterplätzen (Sitz C) aufgetragen. Auf der y-Achse ist der Abstand zum jeweiligen Messpunkt in mm aufgeführt. Die einzelnen Datenpunkte spiegeln die Werte für die Sauerstoffmasken (blau), die indiv. Belüftung (grün), die Lichtschalter (rot), den Flugbegleiterrufknopf (gelb), die Hinweiszeichen (pink) und die Lautsprecher (hellblau) wider. Die rote Linie kennzeichnet die maximale Griffweite des durchschnittlichen europäischen Menschen.

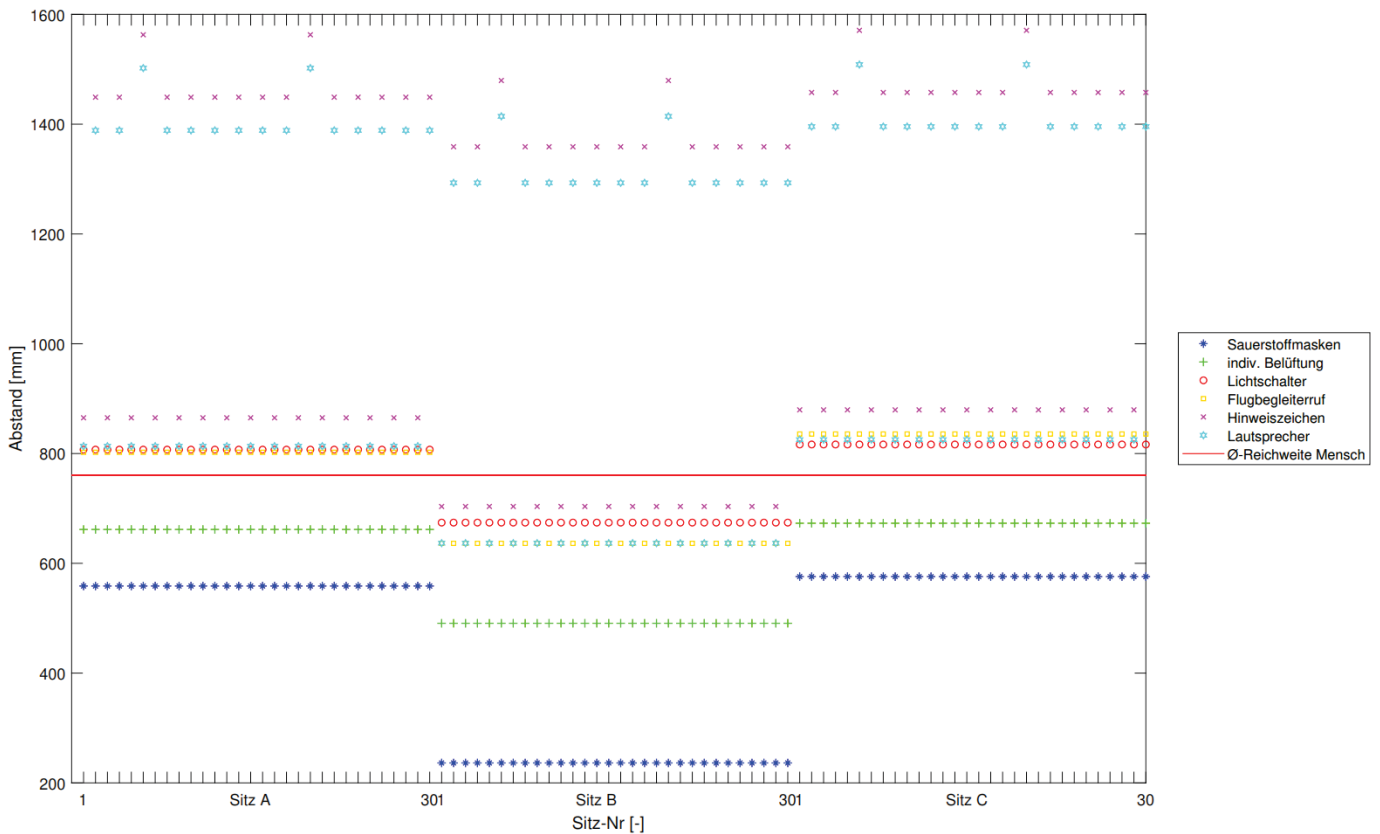


BILD 13. Bewertungsmatrix mit den Ergebnissen der Abstandsberechnung für alle Sitze der rechten Kabinenseite, beispielhaft für das Referenzmodell dargestellt