

MODELLBASIERTE DOKUMENTATION DER FLUGZEUGKABINE IM KONTEXT DES RETROFITS

F. H. Christiansen*, F. N. Laukotka*, D. Krause*

* Technische Universität Hamburg: Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, 21073 Hamburg, Deutschland

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag präsentiert ein Modellierungsvorgehen, welches auf Basis einer zuvor entwickelten Ontologie eine modellbasierte Dokumentation der Flugzeugkabine ermöglicht. Das Modell hat zum Ziel, unterschiedliche Beziehungen zwischen Komponenten aufzuzeigen und gleichzeitig die Spezifikation der Komponenten selbst darzustellen. Die Anwendbarkeit des Vorgehens wird anhand eines Beispiels zum Retrofit demonstriert und durch ein weiteres Beispiel validiert. Das Vorgehen ermöglicht die Digitalisierung retrofit-relevanter Daten sowie deren Speicherung als explizite Informationen in einem Systemmodell.

Keywords

Retrofit; MBSE; Aviation; Product Development; Maintenance, Repair & Overhaul

1. EINLEITUNG

In der heutigen Zeit werden Entwicklungszyklen zunehmend kürzer, während die Zugänglichkeit und Verfügbarkeit von entwicklungsrelevanten Informationen an Bedeutung gewinnen. Dem steht die Zunahme der Komplexität von zu entwickelnden Systemen gegenüber, welche eine Steigerung der verfügbaren Informationen zur Folge hat. Um diese Mengen an Informationen zugänglicher zu machen wird aktuell über eine modellbasierte Integration dieser Daten nachgedacht [1]. Diese Integration an Informationen könnte beispielsweise mit einem Digitalen Zwilling realisiert werden [2, 3]. Insbesondere im Bereich des Systems Engineering werden seit geraumer Zeit modellbasierte Ansätze zur Entwicklung von Systemen eingesetzt.

Im Rahmen dieses Beitrags erfolgt eine Untersuchung der Dokumentation der Flugzeugkabine im Kontext des Retrofits. Die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Flugzeugs beläuft sich auf einen Zeitraum von 25 bis 30 Jahren. Innerhalb dieser Nutzungsphase erfolgt etwa alle fünf bis acht Jahre eine Überholung und ein Austausch der Kabine im Rahmen eines Retrofits. Dies impliziert, dass Monumente und Systeme in der Kabine drei- bis viermal über den Einsatzzeitraum eines Flugzeugs ausgetauscht werden. Das hat zur Konsequenz, dass die Informationen über die Ausstattung und Konfiguration der Kabine einer Aktualisierung bedürfen, da diese nach dem ersten Retrofit nicht mehr mit den verfügbaren Daten aus der Entwicklungsdokumentation übereinstimmen. Die Herausforderung dieser Dokumentation besteht darin, dass der Retrofit nicht von dem Hersteller oder der betreibenden Airline selbst durchgeführt wird, sondern durch einen Maintenance, Repair und Overhaul (MRO) Dienstleister. Daraus folgt die Notwendigkeit neben der Dokumentation im Flugzeugentwicklungsprozess, auch die Ausrüstung eines spezifischen Flugzeugs im MRO-Prozess zu dokumentieren, um dadurch die Standzeit im Retrofit-Prozess minimieren zu können. Eine optimierte Planung

des Retrofits kann durch eine direkte Verfügbarkeit der relevanten Informationen gewährleistet werden. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein besonderes Augenmerk auf die Dokumentation im MRO-Prozess gelegt, für die ein Framework zur modellbasierten Dokumentation entwickelt werden soll.

Die Datenakquise erfolgt hierbei aus zwei Richtungen, dies ist in BILD 1 dargestellt. Daten und Informationen, welche direkt aus der Entwicklung und Fertigung des Flugzeugs stammen, werden unter der Bezeichnung *Top-Down Dokumentation* aufgenommen.

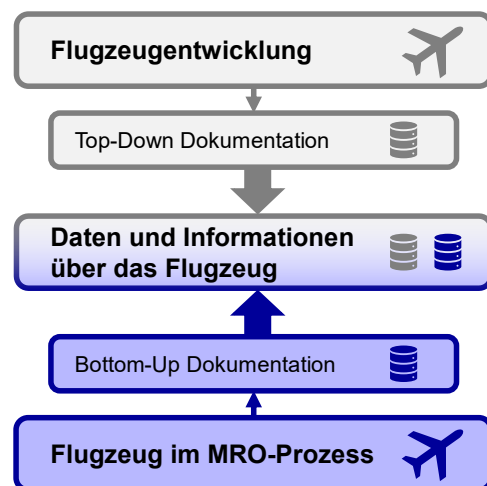


BILD 1. Top-Down und Bottom-Up Dokumentation

Im Rahmen des MRO-Prozesses treten Daten und Informationen, beispielsweise während eines Retrofits, in Form von einer *Bottom-Up-Dokumentation* auf. Die Bezeichnung basiert auf der Prämisse, dass die Informationen in Bezug auf das bestehende Flugzeug zu einem spezifischen Zeitpunkt direkt am Produkt erfasst werden.

2. STAND DER WISSENSCHAFT

2.1. Produktentwicklung

Die Bedeutung sowie die Aufgaben der Produktentwicklung haben sich im Laufe der Zeit signifikant gewandelt. Die Produktentwicklung stellt aktuell einen methodischen, strukturierten und kostenkritischen Prozess dar, dessen Umsetzung den Erfolg eines Unternehmens maßgeblich beeinflussen kann. Eine systematische Vorgehensweise ist vor dem Hintergrund der Globalisierung, Individualisierung und Technologiekonvergenz erforderlich, da sich daraus ein verstärkter Kostendruck ergibt [4]. Die Anforderungen der Stakeholder unterliegen zudem einer zunehmenden Dynamik, sodass eine zeitnahe Reaktion auf Änderungen der Anforderungen erforderlich ist [4].

2.2. Luftfahrt

In der Luftfahrt liegen für Produkte hohe Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen vor. Dabei gibt es weltweit unterschiedliche Zulassungsbehörden, in Europa ist dafür die *European Union Aviation Safety Agency* (EASA) zuständig. Die EASA gibt für Großflugzeuge die Richtlinie CS-25 aus [5]. Diese *Certifications Specifications 25* stellen die Mindestanforderungen dar, welche für die Zulassung eines Flugzeugs zu erfüllen sind.

Für die Entwicklung eines Flugzeugs müssen viele Teilsysteme entwickelt werden. Die Zuordnung, was ein eigenes System ist, und welche Systeme zusammengefasst betrachtet werden, bestimmt die Einteilung in ATA-Chapter [6]. ATA-Chapter sind eine Einteilung von einzelnen Teilsystemen im Flugzeug, welche von der *Air Transport Association* (ATA) herausgegeben wird. Dabei wird jedem System eine Nummer zugeordnet, um diese in Gruppen einzuteilen, die genaue Zuordnung wird in der ATA 100 festgelegt [6].

Die hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt führen zu einer umfassenden Dokumentation im Entwicklungsprozess sowie über die Lebensdauer des Flugzeugs. Im Rahmen der Flugzeugentwicklung ist das Ziel der verwendeten Vorgehensweisen und Standards die Unterstützung der Dokumentation. In späteren Lebensphasen ist eine Dokumentation von Änderungen am Flugzeug erforderlich, insbesondere wenn für die Änderung ein neues *Type Certificate* (TC) oder ein neues *Supplemental Type Certificate* (STC) benötigt wird. Allerdings unterliegen derartige Modifikationen, beispielsweise im Rahmen eines Retrofits, nicht den gleichen strengen Entwicklungsstandards wie die ursprüngliche Entwicklung. Die Dokumentation erfolgt gegenwärtig in digitaler Form, wobei die zugrunde liegenden Dokumente keine optimale Zugänglichkeit gewährleisten [2]. Diese Fragmentierung der Informationen über den Zustand eines Flugzeugs und die daraus resultierende Notwendigkeit, externe Referenzen mit in die Dokumentation einzubinden, ist eine der elementaren Herausforderungen im Retrofitprozess. Eine weitere Herausforderung stellt die Dokumentation von Flugzeugen dar, bei denen die Dokumentation zu Beginn ihrer Lebenszeit noch in rein physischer Form erfolgte. Sofern die zukünftige Dokumentation digital erfolgen soll, sind Prozesse zur Aufnahme und Strukturierung der Daten und Informationen erforderlich.

Um dies zu ermöglichen ist ein einheitliches Verständnis und eine einheitliche Beschreibung der Flugzeugarchitektur notwendig. Ein Beispiel dafür ist ein Vorschlag von *Scott Jackson*, welcher die Flugzeugarchitektur mit Zuordnung der entsprechenden ATA-Chapter beschreibt [7].

2.3. Modellierung

Modellierung ist die Tätigkeit des Erstellens von Modellen. *Oliver Alt* beschreibt ein Modell als „eine abstrakte Beschreibung der Realität“ [8]. Für die modellbasierte Darstellung und Dokumentation von Daten und Informationen gibt es verschiedene Lösungen. Dazu kann auf Werkzeuge des Model-based Systems Engineering (MBSE) zurückgegriffen werden. Ein Werkzeug ist dabei die standardisierte Modellierungssprache SysML. Hierbei ist zu erwähnen, dass SysML nicht explizit für eine solche Realisierung zur Daten Dokumentation vorgesehen ist. Allerdings kann aufbauend auf den durch SysML und UML zu Verfügung gestellten Funktionen, ein Framework aufgebaut werden. In dem Bereich existieren dabei bereits unterschiedliche Methoden, welche verschiedene Aspekte betrachten, allerdings eignen sich diese nur in Teilen für die hier auftretenden Herausforderungen. Diesbezüglich sind insbesondere die Modellierungsmethoden nach *Tim Weillkiens* und *Oliver Alt* zu nennen, welche Teillösungen für das bestehende Problem bereitstellen [8 bis 10].

2.4. Fokussierung des Beitrags

Eine Übersicht über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung verdeutlicht, dass in den Bereichen Produktentwicklung und Retrofit jeweils spezifische Herausforderungen bestehen. Einige der genannten Herausforderungen sind dabei explizit für einen der beiden Bereiche von Relevanz. Eine Vielzahl von Herausforderungen lässt sich jedoch sowohl auf den Bereich der Produktentwicklung als auch auf den Bereich des Retrofits übertragen. Im Rahmen der Produktentwicklung sowie des Retrofits entstehen neue Informationen, jedoch werden auch bereits vorhandene Informationen in diesen Prozessen benötigt. Die effiziente Abwicklung der genannten Prozesse erfordert folglich die Gewährleistung der Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Informationen.

Die Vielfalt der in der Flugzeugkabine zum Einsatz kommenden Systeme führt zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Herausforderungen. In der Konsequenz führt dies zu einer erschwerten Dokumentation, da die relevanten Informationen aus der Produktentwicklung in Abhängigkeit des betrachteten Systems oder der Komponente differieren. Die Festlegung, welche Informationen als relevant zu betrachten sind und in welcher Form diese zu dokumentieren sind, stellt eine der entscheidenden Fragen dar. Um diese Frage adäquat beantworten zu können, ist es erforderlich, die Möglichkeit zukünftiger Retrofits bereits während der Produktentwicklung zu berücksichtigen. Dies impliziert, dass der Retrofit im eigentlichen Sinne als die Wiederaufnahme oder Fortführung der Produktentwicklung definiert werden kann, wobei diese gegebenenfalls durch einen anderen Stakeholder erfolgt. Dementsprechend ist eine lückenlose Dokumentation der Informationen über den gesamten Lebenszyklus der Flugzeugkabine erforderlich, von der Produktentstehung und gezielten Änderungen bis

zum Ende der Nutzungsphase. Dieser Prozess ist in BILD 2 dargestellt.

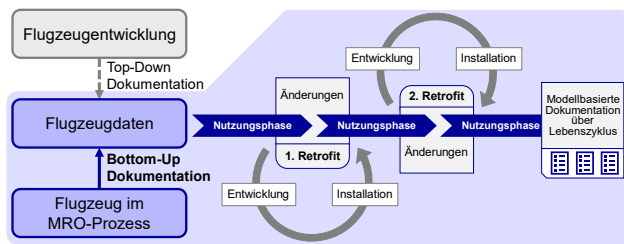


BILD 2. Retrofits über die Lebenszeit des Flugzeugs

Die hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt führen dazu, dass die Dokumentation anfangs bereits in ausführlicher Form vorliegt. Dies trifft allerdings nur auf die Dokumentation des Flugzeugs, bis zu dessen Auslieferung zu. Allerdings sind diese Informationen meistens nicht unmittelbar zugänglich, da sie in Form von Katalogen oder schriftlichen Dokumenten vorliegen. Darüber hinaus ist in vielen Fällen die Aktualität der Daten nicht gewährleistet, weil diese nicht in einem bspw. laufend aktualisierten Modell hinterlegt sind. Daher kann nicht mit Sicherheit festgestellt werden, ob die verfügbaren Daten den aktuellen Zustand des Flugzeugs korrekt wiedergeben und ob sie durch eine Verifikation am Flugzeug selbst verifiziert wurden oder ob es sich lediglich um Informationen aus der Planung handelt.

Die Bewältigung der genannten Herausforderungen im Rahmen der Dokumentation erfordert die Entwicklung eines neuen Frameworks zur Dokumentation. Im Rahmen der Lösungsfindung ist es erforderlich, die Produktentwicklung und den Retrofit in ihrer Gesamtheit zu betrachten, um die Zusammenhänge und Abhängigkeiten adäquat berücksichtigen zu können. Die Herausforderung der Informationsverfügbarkeit und -zugänglichkeit soll durch ein modellbasiertes Vorgehen gelöst werden. Die Nutzung eines Modells ist in diesem Kontext besonders geeignet, da dadurch eine explizite Verfügbarkeit der Informationen gewährleistet werden kann.

3. ENTWICKLUNG DER VORGEHENSWEISE

3.1. Anforderungsdefinition

Auf Basis einer Analyse der Anforderungen an die Dokumentation und die Analyse der zu dokumentierenden Systeme, konnten Anforderungen an das zu entwickelnde Modellierungsframework formuliert werden. Die Anforderungen resultieren zum einen aus der Perspektive des Retrofits und der Produktentwicklung, zum anderen aus der Perspektive der Anwendung von methodischen Vorgehensweisen. Um eine umfassende Abdeckung der Nutzungsanforderungen an die Vorgehensweise zu gewährleisten, wurde zusätzlich eine Umfrage mit Experten durchgeführt. Dadurch können in der Entwicklung der Vorgehensweise neben den inhaltlichen Anforderungen auch die Anforderungen an das Vorgehen selbst berücksichtigt werden. Die verschiedenen Anforderungen müssen dabei in der Entwicklung zu unterschiedlichen Zeitpunkten verifiziert werden.

Die Anforderungen an die Vorgehensweise wurden nach Geis in drei Kategorien unterteilt: Kommunikation, Planung und Nutzung [11]. Die Anforderungen sind in TAB 1 aufgelistet.

TAB 1. Anforderungen an Methoden nach Geis [11]

Kommunikation	Planung	Nutzung
Geschwindigkeit und Effektivität der Kommunikation verbessern	Analyse des Prozesses unterstützen	Anwendung von Methoden simplifizieren
Den objektiven Vergleich von Ideen fördern	Planung, Organisation und Steuerung von Prozessen und Projekten unterstützen	Sollten auf das Ergebnis fokussiert sein und weniger theoretischen Ballast haben
Kompromissfindung fördern	Nachhaltigkeit der Aktionen und Maßnahmen gewährleisten	Anpassung auf Basis bisheriger Erfahrungen, iterativ anpassbar gestalten
	Individuelles Zeit- und Projektmanagement gewährleisten	Hohe Flexibilität aufweisen

Spezielle Anforderungen aus der Produktentwicklung umfassen dabei die „Möglichkeit zur Kategorisierung von Schnittstellen“, „Zuordnung von Type Certification ermöglichen“ und eine „abschließende Validierung der Modelle in Bezug auf die vorher aufgestellten Anforderungen vorsehen“. Die aus dem Retrofit aufkommenden Anforderungen bestehen grundlegend aus der „Dokumentation des Zustands des betrachteten Systems ermöglichen“, „Einflussbewertung von Änderungen abbilden“ und „Flexibilität für den Import bestehender und neuer Daten und Informationen gewährleisten“.

3.2. Ontologie

Die Nachvollziehbarkeit der Dokumentation wird durch die Erstellung einer Ontologie gewährleistet, welche eine konsistente Modellierung und Einordnung der erstellten Modelle erlaubt. Der Einsatz einer Ontologie ermöglicht die explizite Spezifikation eines Konzepts [12]. Im Rahmen dessen erfolgt eine Festlegung bezüglich der zu berücksichtigenden Regeln, Elemente sowie des Betrachtungsraums. Das Resultat ist ein formalisiertes Schaubild, welches das Konzept auf einer hohen Abstraktionsebene darstellt. Dabei werden keine konkreten Funktionen oder Elemente beschrieben, sondern diese lediglich abstrahiert dargestellt. Insbesondere domänenspezifische Begriffe innerhalb der Ontologie können dabei verankert und definiert werden [13].

Die im Rahmen des Beitrags erstellte Ontologie hat zum Ziel, den Teilbereich Kabine in der Luftfahrt abzubilden, welcher insbesondere für den Retrofit relevant ist. Unter Berücksichtigung der zuvor dargelegten Aspekte besteht jedoch die Möglichkeit, die Ontologie um weitere Bereiche zu erweitern. Der erste Schritt besteht in der Entwicklung

des Bereichs der Ontologie für das Flugzeug (Aircraft). Die Luftfahrt umfasst neben der Kategorie Flugzeug die Bereiche *Personnel*, *Facilities* und weitere Kategorien. Im Rahmen der Ontologie für das Flugzeug erfolgt eine Unterteilung des Flugzeugs in die Kategorien *Cabin* und *Airframe*, da diese Unterscheidung beim Retrofit einer neuen Kabine in ein bestehendes Airframe essenziell ist.

Element

Unter einem *Element* sind, im Kontext der Ontologie, alle Bestandteile zu verstehen, welche die aus den Elementen bestehende Struktur beinhaltet. Zu den Kabinenelementen zählen demnach alle Bestandteile der Kabine. Die Komponenten und Infrastruktursysteme sind ebenfalls als Elemente zu bezeichnen, allerdings stellen diese eine spezifische Kategorie der Elemente dar.

Sections

In der Herstellung wird ein Flugzeug in verschiedene Sections unterteilt. Diese Sections sind Teilstücke des Flugzeugrumpfes, welche einzeln gefertigt und dann in der Endfertigung zusammengesetzt werden. Ein A320 wird dabei in sieben Sections unterteilt, denen dann Frames und X-Positionen im Flugzeugkoordinatensystem zugeordnet werden. Die *Sections* sind als eine abstrakte Organisation zu verstehen, welche aus den Gegebenheiten der Fertigung entstanden ist.

Cabin Component

Unter *cabin components* sind im Kontext der Ontologie Elemente zu verstehen, welche eindeutig im Flugzeug etabliert sind und einen Teil des Flugzeugs, in diesem spezifischen Kontext zum Beispiel der Flugzeugkabine, beschreiben. Beispiele hierfür sind PSU, Lavatories oder die Galleys. Viele dieser Komponenten sind insbesondere Elemente, mit welchen der Passagier in Kontakt kommt. Diese Komponenten sind auch als ATA-Chapter referenzierbar und mit anderen Systemen im Flugzeug verbunden.

Infrastructure System

Unter *infrastructure systems* sind die Versorgersysteme im Flugzeug beschrieben. Darunter fallen zum Beispiel die elektrischen Systeme, die Verrohrung des Frisch- und Abwassers oder die Klimaanlage. Neben diesen Systemen gehören auch noch weitere Systeme in diese Kategorie, die sogenannten Kabinensysteme. Dazu gehören das IFE und das CIDS. Zum CIDS gehören verschiedene Signalsysteme und Kabinensysteme, welche von der Kabinencrew gesteuert werden. Diese Systeme bilden zusammen die Versorgersysteme in der Flugzeugkabine.

Die Kabinenkomponenten (*cabin component*) und Versorgersysteme (*infrastructure system*) bestehen aus Kabinenteilen (*cabin part*). Diese Kategorie umfasst alle Teile, die lediglich mit einer Artikelnummer referenziert werden müssen. Auf der linken Seite der Ontologie in BILD 3 ist zu erkennen, dass eine ähnliche Strukturierung ebenfalls für das Airframe durchgeführt wurde. Das Airframe besteht aus Airframe-Elementen, welche die oben beschriebenen Sections beinhalten. Beide Elementtypen, sowohl die Kabinenelemente, als auch die Airframe-Elemente, werden in der Ontologie durch weitere Elemente detailliert. Jedes dieser Elemente kann verschiedenen Eigenschaften (*properties*) besitzen. Diese Eigenschaften können aus Maßeigenschaften, Materialeigenschaften,

oder anderen spezifischen Eigenschaften bestehen. Die Elemente können außerdem in die zugehörigen ATA-Chapter klassifiziert werden. Dies wird mit dem Ontologie Element ATA-Chapter dargestellt. Des Weiteren können im speziellen, die Kabinenelemente auch außerhalb des Modells mit zusätzlichen Informationen (*external reference*) beschrieben werden.

Beide Elementkategorien können verschiedene Verbindungen (*connections*) und Beziehungen haben. Diese Verbindungen und Beziehungen dienen zur Beschreibung von physischen Verbindungen (*physical*), Abhängigkeiten (*dependencies*) und abstrakten Beziehungen (*abstractions*). Durch die Beschreibung *may have* wird spezifiziert, dass nicht jedes Element alle Verbindungen benötigt, oder aufweist. Zu den physischen Verbindungen gehören die Verbindungstypen *mounted to* und *connected to*. Die Abhängigkeiten beinhalten die Klassifizierungen *depends on* und *required for*. Bei den abstrakten Beziehungen existieren die Typen *variant of*, *version of*, *organized in*, *classified into* und *satisfies*. Die abstrakten Beziehungen dienen dazu, abstrakte Konzepte zur Einordnung zu ermöglichen, welche aus dem Flugzeugkontext herausreichen. Einige dieser abstrakten Verbindungen sind explizit für die Versionierung implementiert.

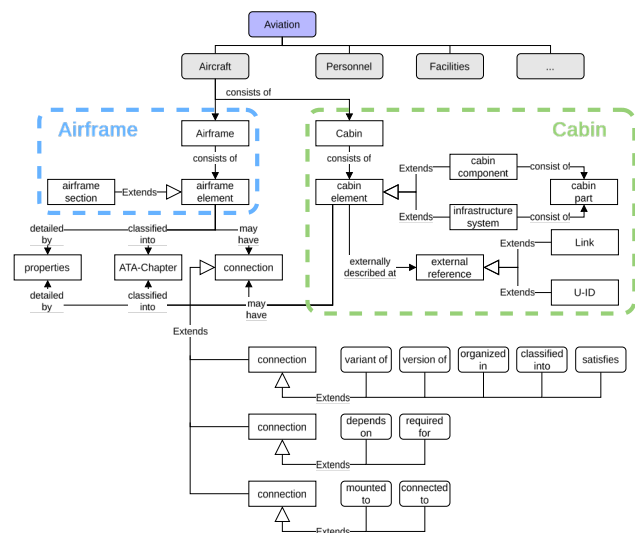


BILD 3. Erstellte Ontologie zur Modellierung

3.3. Toolbox

Die in Kapitel 3.2 eingeführten Verbindungen müssen für die Modellierung entsprechend im Modell abgebildet werden. Dazu werden in SysML benutzerdefinierte Stereotypen verwendet, welche die Erweiterung von Modellelementen ermöglichen [14]. Dies kann beispielsweise die Einführung domänenspezifischer Terminologie oder die Verwendung bestimmter Notationen umfassen. [14]. Durch die Erstellung dieser Stereotypen können die in der Ontologie definierten Begriffe im Modell implementiert werden.

3.4. Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Vorgehensweise in ihren einzelnen Schritten hergeleitet und erörtert. Dabei wird auf die bereits eingeführten Stereotypen und Modellierungselemente

zurückgegriffen. Das Beispiel zur Einführung der Vorgehensweise wird anhand der Partitions in einem Airbus A320 durchgeführt. Die Partitions sind dem ATA-Chapter ATA 25: *Equipment/Furnishings* untergeordnet und werden speziell unter ATA 25-26: *Curtains and Partitions* aufgeführt [6].

3.4.1. Sichten

Zur Strukturierung und Übersichtlichkeit wird zunächst der Aufbau des zu erstellenden Modells erläutert. Dabei werden verschiedene Sichten eingeführt und eine Hierarchie zur eindeutigen Modellierung vorgeschlagen.

Um ein Modellierungsvorgehen zu vereinfachen, kann es hilfreich sein, vor der Modellierung die Hierarchie einzuführen, damit in allen Punkten der Modellierung bekannt ist, auf welcher Ebene die Teile des Modells einzuordnen sind. Für die Retrofit bezogene Modellierung wird dafür eine Strukturierung in drei Modellebenen präsentiert. Im Modell werden diese drei Modellebenen in Form von drei unterschiedlichen Sichten dargestellt: der *Generischen*, *Spezifischen* und *Instanzierten*. Auf der Basis dieser drei Sichten wird das Modell aufgebaut.

Die generische Sicht, umfasst alle Elemente auf ihrem Basislevel, die in dem Modell modelliert werden sollen. Wichtig hierbei ist zu berücksichtigen, dass auch alle Flugzeugsysteme, welche mit den Komponenten in Beziehung stehen, auf dieser Modellebene mit in das Modell integriert werden. Allerdings können in dieser Sicht nur Elemente dargestellt werden, welche in jedem generischen Passagierflugzeug vorkommen. In dem Fall der Curtains und Partitions wären dies dementsprechend beide Elemente. Diese Herangehensweise an die Kategorisierung ist sehr holistisch gewählt, um die Vorgehensweise möglichst allgemein anwendbar zu halten. Dadurch, dass bspw. spezielle Partitions einer Flugzeugfamilie nicht zu der ersten Modellebene gehören, kann diese Hierarchie einfacher auf andere Fälle übertragen werden. Auf der zweiten Modellebene werden dann die für die betrachtete Flugzeugfamilie spezifischen Partitions, in diesem Fall die des A320, implementiert. Hierbei werden sowohl die spezifischen Varianten, als auch Bestandteile oder zusätzliche Elemente, welche mit den Partitions zusammenhängen, dargestellt. Darunter fallen zum Beispiel Magazine Racks oder Literature Pockets, welche an den Partitions montiert werden können. Dazu ist ebenfalls zu erwähnen, dass neben den Standardvarianten eines Elements, auch weiterspezifizierte Varianten, bspw. für spezielle Kundenwünsche, vorliegen können. Diese sind ebenfalls auf dieser Modellebene einzuordnen. Die letzte Sicht bietet dann die Darstellung eines spezifischen Flugzeugs, wofür die Anordnung der Partitions im spezifischen Flugzeug, die Anzahl der montierten Magazine Racks, etc. notwendig ist. Durch diese Einteilung in drei verschiedene Modellebenen, kann das Modell mit einem Top-Down Ansatz modelliert werden. Die Vorteile liegen insbesondere in der Fokussierung auf den Retrofit wodurch auch einzelne Elemente gezielt im Detail modelliert werden können, ohne dass die Hierarchie dabei das Vorgehen einschränkt.

Insgesamt bietet die gewählte Unterteilung noch weitere Vorteile, welche im direkten Zusammenhang mit der Durchführung eines Retrofits stehen. Im Falle eines

Kabinenretrofits, sorgt die Kategorisierung dafür, dass in den meisten Fällen nur Elemente aus der spezifischen und instanziierten Modellebene betroffen sind. Bei einer umfangreichen Anpassung des Kabinenlayouts, ist es möglich, dass durch die Einführung vorher nicht existenter Passagierklassen, auch eine Anpassung der generischen Modellebene notwendig ist. Eine Übersicht der eingeführten Unterteilung ist in BILD 4 abgebildet.

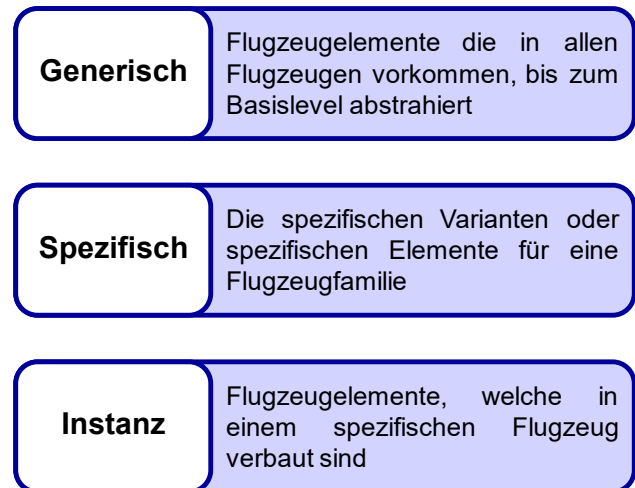


BILD 4. Eingeführte Sichten für die Modellierung

3.4.2. Phase 1: Zieldefinition

Die Zieldefinition bildet die erste Phase der Vorgehensweise, bei welcher der Betrachtungsraum definiert und grundlegende Informationen gesammelt werden. Zu Beginn der Erstellung eines Modells sind verschiedene Entscheidungen zu treffen. Beispielsweise, welche Elemente in diesem Modell abgebildet und welche Informationen in dem Modell zu den Elementen zur Verfügung gestellt werden sollen. Folgende Schritte dienen der Festlegung des Betrachtungsraums des Modells.

1. Zur Identifikation weiterer Elemente kann die Betrachtung der Verbindungen des darzustellenden Elements genutzt werden. Dazu können sowohl Komponenten, als auch Systeme zählen. Diese Analyse findet auf der generischen Betrachtungsebene statt.

Im Falle der Partitions im A320 wären dies zusätzlich zu der Partition, zum Beispiel die Seat Rails und OHSCs in der Kabine. Auch Elemente, die an den Partitions montiert werden können, wie Literature Pockets oder Magazine Racks, zählen zum Betrachtungsraum. Einen Anschluss an Versorgersysteme benötigen die Partitions nicht.

2. Als nächstes wird analysiert, welche verschiedenen Varianten der betrachteten Elemente vorliegen. Auch die Identifikation von ergänzenden Elementen ist notwendig, um einen Gesamtüberblick über alle Möglichkeiten der Ausstattungen der A320-Familie zu bekommen.

Für die Partitions bedeutet dies, dass alle Varianten an Partitions bekannt sein müssen und auch die Varianten der Elemente, welche an den Partitions montiert werden können. Zu den Varianten der Partitions zählen Windscreens, Rigid class dividers (RCD), Movable class

dividers (MCD) und Curtains. Die Windscreens gibt es beispielsweise in zwei Ausprägungen, mit oder ohne Scheibe im oberen Teil. Des Weiteren gibt es RCDs, bei welchen der obere Teil gekröpft ist. Die montierbaren Elemente werden zuerst in unterschiedliche Elementkategorien unterteilt und danach anhand der verschiedenen Varianten unterschieden. Die Literature Pockets existieren bspw. in zwei verschiedenen Größen und von den Magazine Racks gibt es Ein-, Zwei- und Drei-Slot-Racks.

3. In diesem Schritt gilt es zu bestimmen, welche Informationen im Modell explizit dargestellt werden sollen. Darunter können z.B. Positionsangaben, Maße, Mengen, etc. fallen. Für diesen Schritt werden die für die A320-Familien spezifischen Informationen betrachtet.

In dem dritten Schritt wird relevant, welche verschiedenen Vorkehrungen zur Montage von zusätzlichen Elementen an den Partitions vorhanden sind und welche Maße die Montagepunkte haben. Außerdem ist relevant, welche möglichen Positionen für Partitions im A320 vorgesehen sind und welche Anzahl an Partitions verbaut ist.

Mit den gesammelten Informationen lässt sich ein Baukasten erstellen, welcher dann für die spezifische Modellierung eines Flugzeugs genutzt werden kann. Die Schritte eins bis drei, der ersten Phase, betrachten das Flugzeug nur auf der generischen und spezifischen Modellebene und nicht auf der Instanz Ebene, auf welcher ein explizites Flugzeug betrachtet wird. Allerdings bietet diese oberflächliche Übersicht einen geeigneten Startpunkt, um die Grenzen des zu erstellenden Modells einschätzen zu können und die Ziele, welche mit dem Modell erreicht werden sollen, zu definieren.

3.4.3. Phase 2: Modellerstellung

In diesem Abschnitt wird die Vorgehensweise in allen ihren Schritten erörtert und angewendet. Als Beispiel dient die bereits erwähnte Modellierung der Partitions im A320. Durch die bereits in Phase 1 gesammelten Informationen aus der Zieldefinition, können die Modelle zur generischen und spezifischen Ansicht erstellt werden. Die folgenden Schritte eins bis drei, sind der zweiten Phase der Vorgehensweise zuzuordnen, der Modellerstellung. Als Quelle für spezifische Informationen wurde der *Cabin Configuration Guide* für den Airbus A320 genutzt [15].

Erstellung der generischen Modellebene

Die Erstellung einer generischen Ansicht hat mehrere Vorteile. Die vorliegende Einordnung erfolgt auf einer holistischen Ebene, wobei ausschließlich Elemente des Flugzeugs berücksichtigt werden, die in allen Passagierflugzeugen vorkommen können. Der Vorteil liegt dabei darin, dass dadurch die Modelle von verschiedenen Elementen einfacher vergleichbar und kombinierbar sind. Das Modell zum Beispiel der Partitions ist in BILD 5 dargestellt.

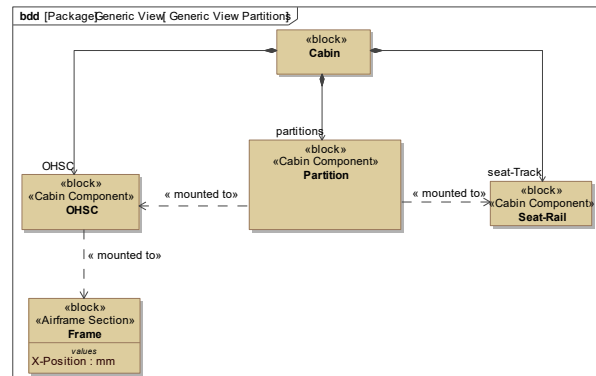


BILD 5. Generische Sicht der Partition im bdd

Erstellung der spezifischen Modellebene

Zur Erstellung der spezifischen Modellebene ist es notwendig, die bereits erstellten Modellelemente zu spezifizieren und Varianten, oder zusätzliche Elemente zu modellieren. In dem Betrachtungsfall der Partitions sind dafür zum Beispiel die verschiedenen Varianten der Partitions relevant. Aber auch die genaue Spezifikation der Montagepunkte der Partitions und von zusätzlichen Elementen, welche an den Partitions montiert werden können.

Instanziierung

Die bis hierhin generischen und Flugzeugfamilien spezifischen Elemente werden jetzt genutzt, um die Instanz eines Flugzeugs zu erstellen. Damit ist gemeint, dass ein Flugzeug, mit einer spezifischen MSN betrachtet wird und explizit die Konfiguration der Partitions in diesem Flugzeug dargestellt wird. Im Rahmen dieses Beitrags wird dafür kein Flugzeug explizit analysiert, sondern die Darstellung basiert auf unterschiedlichen Richtlinien und Katalogen [15]. Ein Ausschnitt der Instanziierung in Cameo ist in BILD 6 dargestellt. Beispielsweise sind im A320 die möglichen Positionen von Partitions in der Kabine vorgegeben. Auf Basis dieser Einschränkungen werden die Partitions im instanziierten Modell dargestellt.

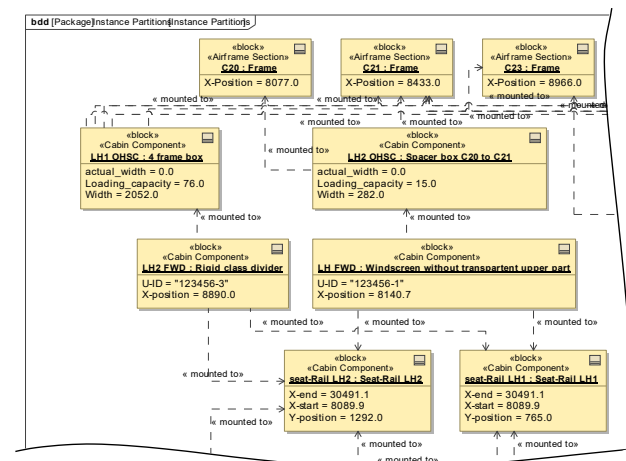


BILD 6. Instanziierung der Partitions

3.4.4. Phase 3: Visualisierung

Die erstellten Sichten und Modellausschnitte stellen verschiedene Informationen dar und können mithilfe von verschiedenen Werkzeugen unterschiedlich visualisiert werden. Hierbei ist die zu wählende Variante zur

Darstellung vom Verwendungsszenario abhängig. Dies ist die dritte Phase der Vorgehensweise. Diese Phase inkludiert keine dedizierten Schritte oder Aufgaben, sondern ist abhängig vom Nutzungsfall. Für die Darstellung dieser Informationen können die in Cameo verfügbaren Darstellungsweisen der *Dependency Matrix*, der *Instance Table* oder der *Generic Table* genutzt werden.

3.5. Versionierung

Für die vollständige Dokumentation über den gesamten Nutzungszeitraum eines Flugzeugs ist es nicht ausreichend eine einmalige Instanziierung des Flugzeugs durchzuführen. Die Veränderung des Flugzeugs muss im Rahmen der Dokumentation ebenfalls abzubilden sein. Für diese Anforderung ist ein Ansatz zur Versionierung notwendig, welcher die mehrfache Instanziierung von verschiedenen Zuständen ermöglicht.

Eine Version beginnt nach *Krause et al.* an einem spezifischen Zeitpunkt und wird am Ende des Zeitraums durch eine Nachfolger-Version abgelöst [4]. Wird dieses Verständnis auf die Vorgehensweise abstrahiert, kann die instanziierte Darstellung in Cameo als eine Version verstanden werden. Die Abbildung der Flugzeugkabine, stellt diese zu einem bestimmten Zeitpunkt dar. Die Frage die sich hieraus ergibt ist, ab wann eine neue Version notwendig ist, bzw. was im Kontext der Modellierung eine neue Version ist. Eine neue Version ist notwendig, wenn ein neues, vorher nicht vorhandenes Element, in der Flugzeugkabine verbaut wird, welches ein anderes Element ersetzt.

In der Vorgehensweise sind Änderungen an dem Modell auf der spezifischen Modellebene vorgesehen. Um ein Beispiel anzuführen, sollen alle Sitze im Flugzeug durch neue Versionen des Sitzes ausgetauscht werden. Das heißt, es werden die Sitze der Economy-Class und die Sitze der Business-Class ausgetauscht. Auf der spezifischen Modellebene bedeutet das, dass in der Modellierung neue Sitze hinzugefügt werden müssen, welche andere Eigenschaften besitzen. Für diese Implementierung wurde in der Ontologie bereits die Beziehung *version of* vorgesehen. Damit kann die Versionsablösung im Modell festgehalten werden. Zusätzlich sind diese Sitze mit einer *generalization* in der Hierarchie einzuordnen. Eine Umsetzung für eine vollständige Versionshistorie fehlt bis jetzt in der Vorgehensweise. Zur Umsetzung ist die genaue Spezifizierung von Zeitpunkten notwendig. Dafür müsste jeder Zeitpunkt der Implementierung und der Ablösung durch eine neue Version in der Beziehung zwischen den Versionen implementiert werden. Mit den bestehenden Werkzeugen der Vorgehensweise ließe sich für die Instanziierung allerdings nur eine partielle Versionierung durchführen. Damit verschiedene Instanzen des Flugzeugs dargestellt werden können, ist eine weitere Unique Instance zu modellieren. Die genaue Datierung ist hierbei wiederum die bisherige Grenze der Vorgehensweise. Bei den Diagrammen der Instanzen ließe sich z.B. eine Datierung über den Dateinamen implementieren. Dies hat jedoch den Nachteil, dass die Informationen über Zeitpunkte nicht in den Metadaten der instanziierten Elemente vorhanden sind, was eine Verarbeitung der Informationen nicht, oder nur schwierig, möglich macht.

Wird die Implementierung der Versionierung einen Schritt weitergedacht, ist ein Vergleich zwischen zwei instanziierten Versionen interessant. Auf Basis eines solchen Vergleiches könnten die Änderungen zwischen einzelnen Versionen einfach dokumentiert werden. Anhand dieser Daten ließe sich auch eine explizitere Bewertung der Änderungen implementieren, bei welcher zwischen *Minor*- und *Major-Changes* unterschieden werden könnte. Die Schwierigkeit liegt hierbei in einer klar definierten Unterscheidung und Kategorisierung der beiden Änderungen.

4. VALIDIERUNG

Nach der Erläuterung und Einführung der Vorgehensweise soll diese im Folgenden an einem Beispiel validiert werden. Dazu werden die in der Vorgehensweise beschriebenen Phasen durchgeführt und die Ergebnisse der Ausführung dokumentiert und präsentiert. Darauf folgt die Validierung der in Kapitel 3 dargelegten Anforderungen sowie eine Analyse der Erfüllung derselben durch die vorgestellte Vorgehensweise.

Für die Validierung werden zwei Teile der Flugzeugausrüstung betrachtet. Zum einen die PSIU (Passenger Service Information Unit) und zum anderen die OHSC (Overhead Stowage Compartment). Diese beiden Elemente sind ein grundlegender Bestandteil der Flugzeugkabinenausrüstung und bieten verschiedene Beziehungen, sowohl untereinander, als auch zu verschiedenen Flugzeuginfrastruktursystemen.

4.1. Durchführung der Vorgehensweise

Im Folgenden, wurden die drei Phasen der Vorgehensweise ausgeführt und der Prozess beschrieben. Zuerst erfolgen die Zieldefinition und Identifikation des Betrachtungsraums, danach die Erstellung des Modells und abschließend die Visualisierung des Modells. Die Vorgehensweise wird hierbei nicht auf die gesamte Flugzeugkabine angewendet, sondern nur auf einen Abschnitt des hinteren Bereichs der Flugzeugkabine. Der darzustellende Abschnitt ist von Frame 51 bis Frame 66 gewählt.

4.2. Beispiel Modellierung

Zuerst muss das Ziel definiert werden, welches das Modell erfüllen soll. Dazu werden die Elemente PSIU und OHSC betrachtet und die Verbindungen und Beziehungen welche diese aufweisen. Bei der OHSC ist als erstes festzustellen, dass diese an den Frames montiert wird. Diese Verbindung ist die Verknüpfung mit der Primärstruktur, welche in diesem Beispiel als Referenz dient. Die PSIU wird in einem Kanal montiert, welcher Teil der OHSC ist. Die PSIU ist außerdem mit verschiedenen Infrastruktursystemen, wie der Klimaanlage und der elektrischen Versorgung verbunden.

Im zweiten Schritt der Zieldefinition werden die verschiedenen Varianten der Elemente identifiziert und auch weitere Teile der betrachteten Elemente. Damit können die Elemente, welche spezifisch für die A320-Familie sind, aufgenommen werden. Die verschiedenen Varianten der OHSC unterscheiden sich in ihrer Breite und des zugelassenen Gesamtgewichts. Für die PSIU

hingegen gibt es verschiedene Varianten und zu differenzierende Teilelemente. In der betrachteten Ausstattung eines A320, werden zum Beispiel nur an jeder zweiten PSU ein Lautsprecher und ein „Nicht rauchen“ und „Sitzgurte anlegen“ Schild installiert. Anders als bisher betrachtete Elemente, weist die PSU eine hierarchische Struktur über verschiedenen Teilen auf. Dementsprechend wird die PSU durch *directed compositions* in ihrer Struktur dargestellt, um die verschiedenen Teile abbilden zu können. Darunter fallen der Attendant Call, Leselampen, Luftauslässe, Sitznummerierung und die Notfallsauerstoffversorgung.

Für den dritten Schritt der Zieldefinition ist festzulegen, welche Informationen zu den darzustellenden Elementen notwendig sind. Für die OHSCs sind dies die Breite, Bruttogesamtgewicht, eine externe Referenz und die Verbindung zu den entsprechenden Frames der Primärstruktur. Außerdem ist ebenfalls relevant, welche Variante einer OHSC, wo im Flugzeug verbaut wird. Für die PSU sind neben den Abmaßen insbesondere der Aufbau aus den verschiedenen Teilen relevant, aber auch die verschiedenen Verbindungen und Beziehungen innerhalb der PSU und außerhalb im Kontext der unterschiedlichen Versorgungssysteme. Mit diesen Informationen kann zu Phase 2 der Vorgehensweise übergegangen werden.

Für die Modellerstellung erfolgt zuerst die Abbildung der eben aufgenommenen darzustellenden Informationen. Die generische Modellebene ist in BILD 7 dargestellt.

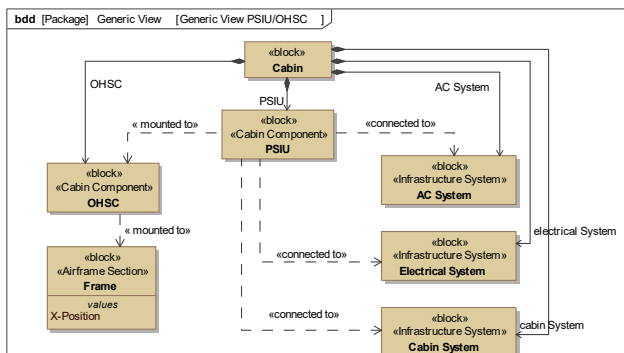


BILD 7. Generische Modellebene der PSU und OHSC

Im zweiten Schritt sind die spezifischen Sichten auf die in der generischen Modellebene dargestellten Elemente abzubilden. Bei der PSU geht es dabei nicht ausschließlich darum, die verschiedenen Varianten der PSU abzubilden, sondern explizit darum, den Aufbau der PSU zu modellieren. Dafür müssen die verschiedenen Teile der PSU mittels der Nutzung von *directed compositions* dargestellt werden. Grundsätzlich werden gemäß Cabin Configuration Guide im A320 zwei Varianten von PSUs verwendet [15]. Einmal die Standardvariante und die Variante, bei welcher kein Lautsprecher und kein „Nicht rauchen / Sitzgurt schließen“-Schild eingebaut ist. Diese zweite Variante wird im Folgenden als *PSIU-* bezeichnet. Dazu müssen noch die im *Generic View* bereits dargestellten *infrastructure systems* mit in dem Diagramm abgebildet werden, um die Beziehungen dieser, zu den einzelnen Teilen der PSU darstellen zu können. Diese werden nach der Anleitung ebenfalls mit einem Block dargestellt und die einzelnen Elemente dieser Systeme werden als Part Property hinzugefügt. Damit die Beziehungen und Verbindungen zwischen den

verschiedenen Parts implementiert werden können, kann auch ein ibd genutzt werden. Dadurch kann die Darstellung etwas vereinfacht werden und die Nutzung trägt zur besseren Übersichtlichkeit in den Diagrammen bei. Das spezifische Modell der PSU ist in BILD 8 dargestellt.

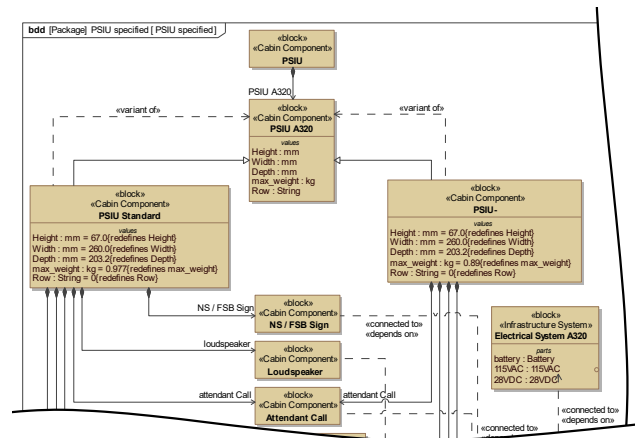


BILD 8. Spezifizierte Darstellung der PSU

Als nächstes wird im dritten Schritt der zweiten Phase, der Heckbereich des Flugzeugs instanziiert. Als erstes werden die zuvor instanziierten Frame Instanzen von Frame 51 bis 66 in das Diagramm gezogen. Hierbei wird deutlich, dass in der Modellierung durch das Single-Source of Truth Prinzip (SSOT), die Wiederverwendung von Elementen ohne Neudefinition möglich ist. Danach werden die vorkommenden OHSCs instanziiert und mit den Frames entsprechend ihrer Position verbunden. Danach können die PSUs instanziiert werden. Die Anzahl der PSUs ist abhängig von der Anzahl an Sitzreihen, welche in dem Bereich von Frame C51 bis C66 vorkommen. In dem betrachteten Bereich sind die Sitzreihen 21 bis 30 vorhanden, was bedeutet, dass auf jeder Seite zehn PSUs montiert sind. Die Varianten der PSU sind abwechselnd montiert, in der letzten Reihe ist die *PSIU Standard* Variante montiert und davon ausgehend alternierend mit der *PSIU-*. Damit die Verbindungen und Beziehungen zwischen den *infrastructure systems* und den PSUs implementiert werden können, müssen diese ebenfalls instanziiert werden. Für die meisten *infrastructure systems* reicht eine Instanz, weil diese das System insgesamt repräsentiert. Als letztes müssen einige Value Properties der dargestellten Instanzen bearbeitet werden. Zum einen können die Sitzreihennummern eingetragen werden, dafür muss die Value Property: Row ausgefüllt werden. Bei den OHSCs kann, wenn notwendig, ein Realwert ergänzt werden.

Aus den erstellten Modellen können dann automatisch und dynamisch Änderungen visualisiert, sowie die Zusammenhänge zwischen Elementen in Form von Tabellen und Abhängigkeitsmatrizen dargestellt werden. Die dabei aufgezeigten Informationen, können bspw. genutzt werden, um bei einem Retrofit, alle betroffenen Elemente identifizieren zu können.

4.3. Anforderungsabgleich

Die entwickelte Vorgehensweise soll nun mit Hinblick auf die vorher aufgenommenen Anforderungen überprüft werden. Dafür werden die Anforderungen qualitativ in

zusammengefassten Kategorien bewertet. Die *Dokumentation* bewertet die Möglichkeit den Ist-Stand aufzunehmen, dazu kommt die *Einflussbewertung*, welche den Einfluss und die Auswirkung von Änderungen bewertet. Bei der *Bewertung von Kritikalität*, werden die Änderungen hinsichtlich luftfahrtspezifischen Zulassungsprozessen betrachtet, dafür ist deshalb außerdem die Möglichkeit zur *Implementierung von Änderungen* notwendig. Die Anforderung *Referenzen* ist durch Verweise auf externe Daten und Informationen zu erfüllen. Das Thema *Versionierung* wurde bereits ausführlich besprochen und soll in dieser Gegenüberstellung bewertet werden. Der Erfüllungsgrad der Anforderungen ist in TAB 2 qualitativ bewertet.

TAB 2. Erfüllungsgrad der identifizierten Anforderungen

Anforderungen	Erfüllungsgrad
Dokumentation	●
Einflussbewertung	◐
Bewertung von Kritikalität	◐
Implementierung von Änderungen	◑
Referenzen	◑
Versionierung	◒

5. DISKUSSION

Der erste Schritt zur Entwicklung der Vorgehensweise ist die Erstellung eines Frameworks, bzw. einer Ontologie. Die Ontologie bildet nur für den Retrofit relevante Bereiche ab, ist allerdings um weitere Bereiche erweiterbar, dabei sind zwei Eigenschaften zu diskutieren. Zum einen die Unterteilung der Flugzeugelemente, zum anderen der allgemeine Nutzen einer Ontologie, vorausschauend zu der Entwicklung einer Vorgehensweise. Die Entwicklung einer Ontologie hat insbesondere für die Einführung von domänenspezifischen Begriffen Vorteile. Durch die Ontologie kann der Betrachtungsraum definiert werden und gleichzeitig können die Beziehungen und die Struktur der Elemente zur Modellierung eingeführt werden. Die vorgestellte Ontologie ist durch mehrere Iterationen und im Zuge mehrerer Gespräche, auch mit fachkundigen Experten, entstanden. Ein Punkt, welcher sich über die Iterationen der Ontologie stark verändert hat, ist die Bezeichnung und Aufteilung der Flugzeugelemente. Die letztendlich gewählte Unterteilung des Flugzeugs in *Cabin* und *Airframe*, wurde im speziellen durchgeführt, weil dadurch in der Modellierung die Unterscheidung zwischen der Primärstruktur des Flugzeugs und der Sekundärstruktur einfacher zu handhaben ist. Die explizite Entscheidung, eine weitere Unterteilung in *element*, *component*, etc. einzuführen, wurde aufgrund der Spezialisierung auf den Kabinenretrofit getroffen. Das betrachtete Themengebiet ist äußerst spezifisch, weswegen die die Entscheidung getroffen wurde, die Bezeichnungen ebenfalls zu spezifizieren. Aufbauend auf der Ontologie, konnten dann Werkzeuge für die Modellierung definiert werden und die Vorgehensweise zur Modellierung entwickelt werden.

Die Entwicklung der Vorgehensweise steht in diesem Beitrag im Mittelpunkt. Die Vorgehensweise baut auf der erstellten Ontologie auf. In der Vorgehensweise wird zum Ende der Modellierungsphase eine Instanz der Flugzeugkabine instanziiert. Dabei werden auch die Frames, welche als Referenzpunkt genutzt werden, instanziiert. Allerdings sind diese schon auf der spezifischen Modellebene zu instanziierten, weil diese für die betrachteten Flugzeuge des Typ A320 identisch bleiben. Eine Problematik, die im Rahmen der Implementierung der Versionierung potenziell auftreten könnte, ist die Tatsache, dass aufgrund der früheren Instanziierung eine spätere Instanziierung nicht mehr vorgesehen werden kann. Einerseits ist diese Handhabung dadurch vertretbar, weil die Frames Bestandteil der Flugzeug-Primärstruktur sind und deswegen nicht im Verlaufe eines Retrofits modifiziert werden. Andererseits kann in der Versionierung die Auswertung der Modelle dadurch erschwert werden, weil die Visualisierung in Tabellen und Matrizen dann mit speziellen Filtern durchgeführt werden muss, damit eine einzelne Version betrachtet werden kann. Dies sollte bei der Weiterführung und festen Implementierung der Versionierung berücksichtigt werden. Eine andere Eigenschaft der Modellierung ist die Implementierung von externen Referenzen. In Bezug auf die Realisierung einer solchen Referenz stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Nutzung eines Hyperlinks sowie die Nutzung eines Verweises über die U-ID eines Elements. Bei der Verwendung eines Hyperlinks, sind sowohl der Verweis auf eine Datei, mittels der Angabe des lokalen Dateipfades, als auch der Verweis auf eine Netzwerkadresse möglich. Bei einem umfassenden Modell, sollte möglichst auf den Verweis mittels Netzwerkadresse zurückgegriffen werden, weil dadurch Fehler bei der Verknüpfung unwahrscheinlicher sind. Bei einem lokalen Dateipfad, kann durch das Verschieben von Dateien schnell eine Verknüpfung beschädigt werden, zudem ist die Pflege dieser Daten nur zentral umzusetzen. Bei Modellen mit geringem Umfang kann die Nutzung lokaler Dateipfade jedoch als akzeptabel erachtet werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Um ein Framework und eine Vorgehensweise zu entwickeln, ist es notwendig festzulegen, welches Ziel mithilfe der Vorgehensweise erreicht werden soll. Dafür wurde eine ausführliche Aufnahme von Anforderungen durchgeführt. Es wurden Anforderungen aus den Bereichen des Retrofits, der Produktentwicklung, der Modellierung und der Methodenentwicklung aufgenommen. Zur Ergänzung der Anforderungen wurde außerdem eine Umfrage durchgeführt, welche gezielt Anforderungen zur Anwendung von Methoden oder Vorgehensweisen, aus der Perspektive von Anwendern/-innen, identifiziert hat. Auf Basis dieser Anforderungen, konnte im Anschluss ein Framework und eine darauf basierende Vorgehensweise entwickelt werden. Um eine Grundlage zur Modellierung zu schaffen, wurde eine Ontologie für den spezifischen Kontext des Retrofits einer Flugzeugkabine entwickelt. Darauf aufbauend wurden weitere Elemente zur Formalisierung der Vorgehensweise eingeführt. Darunter fallen zum Beispiel einige Custom-Stereotypes, die Modell- und Dateistruktur und auch die Umsetzung der Ontologie in Cameo. Dann wurde die Vorgehensweise in Form einer Anleitung, anhand eines Beispiels der Partitions in der Flugzeugkabine, eingeführt.

Die Vorgehensweise ist in drei Phasen unterteilt: die Zieldefinition, die Modellerstellung und die Visualisierung. Anschließend an diese Einführung in die Vorgehensweise, wurden Ansätze zur Versionierung vorgestellt. Dabei wurden die Herausforderungen aufgezeigt und mögliche Lösungen zur Versionierung vorgeschlagen, welche sich auf das entwickelte Framework stützen. Im Anschluss daran wurde eine Validierung der Vorgehensweise anhand eines weiteren Beispiels durchgeführt. Dabei wurde die Vorgehensweise angewendet und im Nachhinein ein vereinfachtes Anwendungsszenario betrachtet, um die Nutzung des erstellten Modells zu präsentieren. Zudem wurden in der Validierung die identifizierten Anforderungen mit der Vorgehensweise gegenübergestellt, um zu zeigen, welche Anforderungen zu welchem Grad durch die Vorgehensweise und das Framework erfüllt werden. Die Validierung hat gezeigt, dass die Vorgehensweise sich auch auf ein umfangreicheres Beispiel anwenden lässt. Zusätzlich hat die Gegenüberstellung der Anforderungen gezeigt, dass insbesondere die Anforderungen aus dem Retrofit hinsichtlich der Bewertung und Spezifizierung von Beziehungen erfüllt werden konnten.

Der Beitrag präsentiert ein Framework zur Dokumentation der Flugzeugkabine im spezifischen Kontext des Retrofits. Dieses Framework bietet durch die Ontologie eine erweiterbare Grundlage, um die Anschauung in diesem Bereich weiter zu strukturieren. Die in dem Beitrag vorgestellte Vorgehensweise zeigt, wie die modellbasierte Dokumentation im Kontext des Kabinenretrofits erfolgen kann. Durch die enge Verknüpfung der Vorgehensweise mit der Ontologie und der Betrachtung auf verschiedenen Modellebenen, sind spätere Änderungen und Modifikationen am Modell möglich. Es konnten außerdem weitere Herausforderungen identifiziert werden. Dabei ist die Versionierung zu nennen und auch die Verknüpfung von Informationen aus der Top-Down und Bottom-Up Dokumentation. Besonders die nahtlose Verknüpfung dieser Informationen kann in Zukunft eine entscheidende Herausforderung auf dem Weg zur digitalisierten und modellbasierten Dokumentation in der Luftfahrt sein. Für den Export der Informationen in andere Formate, wie zum Beispiel Graphen-basierte Datenbanken wird aktuell an verschiedenen Ansätzen geforscht [16, 17].

DANKSAGUNG

Die vorgestellten Forschungsergebnisse sind der Teil des Forschungsprojektes: **InDiCaT - Intelligent Digital Cabin Twin**. Das Projekt ist gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des sechsten zivilen Luftfahrtforschungsprogramms (LUFO VI-1). Förderkennzeichen: 20D1902C.

Literaturangaben

- [1] Li, H., Zhan, C., Wu, H., Yu, M., Dai, J. u. Zou, W.: Architecting commercial aircraft with a Domain Specific Language extended from SysML. *Journal of Physics: Conference Series* 1827 (2021) 1, S. 12100. DOI: 10.1088/1742-6596/1827/1/012100
- [2] Laukotka, F. N. u. Krause, D.: Supporting Digital Twins for the Retrofit in Aviation by a Model-Driven Data Handling. *Systems* 11 (2023) 3, S. 142. DOI: 10.3390/systems11030142
- [3] Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S. C.-Y. u. Nee, A. Y. C.: Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research* 57 (2019) 12, S. 3935–3953. DOI: 10.1080/00207543.2018.1443229
- [4] Krause, D. u. Gebhardt, N.: *Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien. Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (2018), DOI: 10.1007/978-3-662-53040-5
- [5] European Union Aviation Safety Agency: *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS -25*. (2020)
- [6] Federal Aviation Administration joint Aircraft System/Component Code Table and Definitions, Federal Aviation Administration Flight Standards Service Regulatory Support Division Aviation Data Systems Branch (2008)
- [7] Jackson, S.: *SYSTEMS ENGINEERING FOR COMMERCIAL AIRCRAFT*. INCOSE International Symposium 7 (1997) 1, S. 36–43. DOI: 10.1002/j.2334-5837.1997.tb02151.x
- [8] Alt, O.: *Modellbasierte Systementwicklung mit SysML*. München: Hanser (2012)
- [9] Weikiens, T.: *Variant modeling with SysML*. MBSE4U booklet series. Fredesdorf: MBSE4U (2016)
- [10] Weikiens, T.: *SYSMOD - the systems modeling toolbox. Pragmatic MBSE with SysML*. MBSE4U booklet series. Fredesdorf: MBSE4U (2020)
- [11] Geis, C., Bierhals, R., Schuster, I., Badke-Schaub, P. u. Birkhofer, H.: *Methods in practice - A study on requirements for development and transfer of Design Methods*. DS 48: *Proceedings DESIGN 2008* 10 (2008) 48, S. 369–376
- [12] Feilmayr, C. u. Wöß, W.: *An analysis of ontologies and their success factors for application to business*. *Data & Knowledge Engineering* 101 (2016), S. 1–23. DOI: 10.1016/j.datak.2015.11.003
- [13] Noy, N. F. u. McGuinness, D. L.: *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology* 2001 (2001)
- [14] Vaisnorienė, D.: *MagicDraw 18.4 Documentation: Stereotype*. MagicDraw Documentation / User Guide / Model elements (2017). <https://docs.nomagic.com/display/MD184/Stereotype>, abgerufen am: 15.01.2023
- [15] *A320 Single Aisle Cabin Configuration Guide*, Airbus S.A.S. - Airbus Documentation Office, Blagnac, France (2005)
- [16] Laukotka, F. N. u. Krause, D.: *Improving Knowledge Capture, Access and Reuse by a Model-Based and Data-Driven Management using the example of Aviation's Retrofit*. In: *International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC-CIE)* (2024). DOI: 10.1115/DETC2024-138000
- [17] Laukotka, F. N. u. Krause, D.: *Combining System Modelling and Graph Databases to Improve Access and Analysis in Data-Intensive Engineering Tasks*. *2024 IEEE International Systems Conference (SysCon)* (2024), S. 1–8. DOI: 10.1109/SysCon61195.2024.10553605