

**Schlussbericht  
des Verbundvorhabens  
LuFo V 1. Call SESAM  
Smart Energy Storage and Management  
Förderkennzeichen: 20Y1303B**



Airbus Operations GmbH

Kreetslag 10

21129 Hamburg

Ansprechpartner: Oliver Döbertin

Tel.: 040 743 81118

Mail: [oliver.doebertin@airbus.com](mailto:oliver.doebertin@airbus.com)

**Schlussbericht des Verbundvorhabens  
„Smart Energy Storage and Management (SESAM)“**

ZE: Airbus Deutschland GmbH	Förderkennzeichen: 20Y1303B
Vorhabensbezeichnung: SESAM - Smart Energy Storage and Management	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2014 – 30.09.2017	
Berichterstatter: Oliver Döbertin (R&T Contract Manager)	

Das diesem Schlussbericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter den Förderkennzeichen 20Y1303B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Berichterstatter. Die Form des Berichtes entspricht den Nebenbestimmungen auf Kostenbasis des Bundesministers für Wirtschaft und Energie an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF98).

Wir danken unseren Forschungspartnern und insbesondere dem Projektträger für die vertrauensvolle Zusammenarbeit. Hervorheben möchten wir die stets angenehme und engagierte Kooperation der Verbundpartner.



O. Döbertin

R&T Contract Manager

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG ZUR AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1	GESAMTZIEL DES VORHABENS .....	4
1.2	BEZUG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN DER LEITLINIE LUFTFAHRTFORSCHUNG .....	5
1.3	WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE ARBEITZIELE DES VORHABENS .....	6
<b>2</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG DER VORAUSSETZUNGEN, UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG ZUR PLANUNG UND ZUM ABLAUF DES VORHABENS .....</b>	<b>9</b>
3.1	PROJEKTSTRUKTURPLAN .....	9
3.2	MEILENSTEINPLANUNG.....	9
<b>4</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN UND TECHNISCHEN STANDES, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE.....</b>	<b>11</b>
4.1	STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK .....	11
4.2	BISHERIGE ARBEITEN DES ANTRAGSTELLERS.....	11
<b>5</b>	<b>KURZE DARSTELLUNG ZUR ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN .....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>EINGEHENDE DARSTELLUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE .....</b>	<b>14</b>
6.1	TEILPROJEKT TP1 - POWER LINE KOMMUNIKATION.....	14
6.2	TEILPROJEKT TP2 - VERMASCHTE STROMNETZE .....	24
<b>7</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN .....</b>	<b>49</b>
7.1	SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN .....	49
7.2	DIPLOMARBEITEN/STUDIENARBEITEN .....	49
7.3	ERFINDUNGSMELDUNGEN .....	49
<b>8</b>	<b>VERZEICHNISSE.....</b>	<b>50</b>

# 1 Kurze Darstellung zur Aufgabenstellung

## 1.1 Gesamtziel des Vorhabens

Im Verbundvorhaben LuFo V-1 SESAM „Smart Energy Systems And Management“ sollten erfolgversprechende Ansätze für ein effizientes Energie-Management und die mögliche Kapung von Leistungsspitzen untersucht werden. So sollte die gleichzeitige Nutzung von Stromkabeln zur Datenübertragung für ein AC-Netz, für ein DC- und erstmals auch ein HVDC-Netz realisiert werden. Verbunden damit sollten die HVDC-Bordnetze und Power Grids, gespeist aus mehreren Energiequellen, konzeptionell auf ihre Eignung als Kabinenbordnetz, und auf ihre Auswirkung auf die Flughafeninfrastruktur (Ground Power) untersucht werden.

Im Verbund mit der Firma Diehl hat die Airbus Operations GmbH als Partner unter dem Thema „Kombiniertes Power- und Datennetzwerk“ die Power Line Kommunikation (PLC) am Beispiel des Seat Power Supply Systems erarbeitet und aufgebaut. Technologische Grundlage war die bifilare Datenübertragung, die im Gegensatz zu konventionellen Technologien Nachteile wie Störeinkopplung und Störauskopplung minimiert und deshalb aus heutiger Sicht als realistisch für den Einsatz im Flugzeug bewertet werden kann.

In diesem Projekt wurde für das Cabin Core System gemeinsame Energie- und Datennetzstrukturen für Kabinen- und Frachtraumkomponenten für die DAL-Level B bis E erarbeitet. Ziel war, in Kombination mit einem intelligenten Power- und Datennetz, automatisiertem Phase and Feeder Balancing sowie den entsprechenden Schnittstellen durch Reduktion von Kabelbäumen Gewicht, Fertigungs- und Wartungskosten sowie Installationszeit einzusparen.

Die Kombination von Energie- und Datenleitungen ermöglicht eine höhere architektonische Integration der entsprechenden Kabinensysteme und eine reduzierte Anzahl der Kabelstränge in der Kabine. Herausforderungen waren die hohe Netzfrequenz, die automatisierte Konfiguration bei Kundenwünschen sowie die intelligente Ein- und Auskopplung von Energie und Daten unter Berücksichtigung der Anforderungen bezüglich des DAL-Levels, der Systemsicherheit, der Datensicherheit, der Signalbeeinflussung und der elektromagnetischen Verträglichkeit.

Bedingt durch die nach wie vor wachsende Nachfrage nach Passagierflugzeugen war es erforderlich, besonders in den Bereichen der Entwicklung, der Fertigung und der Integration von Flugzeugkabinen neue Ansätze bezüglich der Reduzierung der Entwicklungs- und Herstellungskosten sowie der Auslieferungszeiten zu erarbeiten. Dabei war gleichzeitig die Erhöhung

des Flexibilitätsgrads und eine innovative Kabinenausstattung zur Umsetzung der wachsenden kundenspezifischen Anforderungen bezüglich Komfort, Zuverlässigkeit, Rekonfiguration sicherzustellen. Durch das kombinierte Power- und Datennetzwerk sollte dieser Ansatz aufgegriffen werden.

## **1.2 Bezug zu den förderpolitischen Zielen der Leitlinie Luftfahrtforschung**

Die Inhalte dieses Projektes fokussierten auf das förderpolitische Hauptziel **„Weltweite Angebots- und Wettbewerbsfähigkeit“**. Mit dem ausgewählten Thema „Kombinierte Energie- und Datenkabel“ sollte die globale Wettbewerbsposition sowie die Kernkompetenzen der Airbus Operations GmbH und von Diehl Aerospace GmbH nachhaltig gestärkt werden.

Die Ergebnisse ermöglichen Airbus eine optimierte Kabinensystemarchitektur bezüglich der Reduktion von Bauteilen, Gewicht und Kosten und der Firma Diehl die Erweiterung des Produktportfolios durch ein hoch integriertes Kabinensystem.

Zusätzlich zum Hauptziel bediente das Thema „Kombinierte Energie- und Datenkabel“ auch die Nebenziele **„Weltweite technologische Vorreiterrolle für ein umweltfreundliches Luftverkehrssystem“** und die „Gesamtsystemfähigkeit der deutschen Luftfahrtindustrie“ speziell für den Bereich Kabine.

Durch die höhere Integration der Einzelbauteile und -systeme zu einer Gesamtkomponente wurde eine Reduktion von Bauteilen und damit des Gewichts und des Bauvolumens angestrebt. Das ermöglicht eine Reduzierung der Ressourcen bei der Fertigung, der Instandhaltung und der späteren Entsorgung. Weniger Gewicht führt zu einer energiesparenderen Auslegung der Triebwerke und zu einer Reduzierung der Schadstoff- und Lärmemissionen oder alternativ zur Steigerung der Transportleistung.

Bei der Einführung eines neuen Bordnetzes höherer Spannung werden Flugzeuggewicht, Stromverteilung, Verbraucher sowie Schnittstellen zur flugzeug- und bodenseitigen Stromversorgung beeinflusst. In diesem Vorhaben wurden damit **Kompetenzen für die Gestaltungsfähigkeit von Luftfahrzeugen auf Gesamtsystemebene** erarbeitet. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Bestimmung von Schnittstellen und dem Verständnis der technischen und kostenmäßigen Wechselwirkungen zwischen den Systemen des Flugzeuges und seiner operativen Umgebung am Flughafen und im Flugbetrieb.

---

Das Vorhaben verfolgte die im Rahmen des nationalen fünften zivilen Luftfahrtforschungsprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie definierten Zielsetzungen<sup>1</sup> gemäß der Luftfahrtstrategie der Bundesregierung sowie des Leitkonzeptes „Flightpath 2050“ zur Förderung der Luftfahrtforschung und -technologie am Standort Deutschland. Dabei sollten das Know-how und die wirtschaftlich-technische Situation der Luftfahrtindustrie und des Luftverkehrs verbessert und die Innovationsfähigkeit und Kompetenz auf nationaler Ebene gestärkt werden.

Die Ergebnisse wurden gemeinsam mit den Verbundpartnern und Unterauftragnehmern erarbeitet und mündeten in Funktionsmustern.

### **1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens**

Die Arbeiten der Airbus Operations GmbH fokussieren sich auf die beiden Themen

- Power Line Kommunikation
- Vermaschte Stromnetze.

#### **TP1 - Power Line Kommunikation**

Mittels Power Line Kommunikation (PLC) und hierzu kompatiblen Komponenten (Generatoren, Konverter, SSPCs, Verbraucher etc.) lassen sich Kabel zur Übertragung von Daten einsparen, da diese über die Stromversorgungsleitungen aufmoduliert und damit mitübertragen werden sollen.

Die Power Line Kommunikation sollte über Leistungselektronik hinweg erfolgen, also beispielsweise über Converter und geöffnete Halbleiterschalter, sowie mit diesen kommunizieren (Kommandierung, Monitoring, Datenabfrage etc.). Damit kann ein Verbraucher (Load) mit (s)einer Energiequelle (Source) in Verbindung treten und z.B. Energieanforderungen (Power Demands) stellen bzw. verhandeln.

Durch Power Line Kommunikation lassen sich unter Verzicht auf komplexen Verkabelungsaufwand vereinfacht Powerkomponenten, also Generatoren, Übertragungskomponenten und Verbraucher, sowie deren Verbünde realisieren, womit sich Architekturen verwirklichen lassen, die Features wie Optimierung von Leistungsverteilung – Power/Load-Management – zur

---

<sup>1</sup> Bekanntmachung zur Förderung von Forschungs- und Technologievorhaben im Rahmen des nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms V – Erster Programmaufruf 2014 bis 2017, BMWi, Berlin, 01. März 2013

---

Reduzierung von installierter Leistung und damit von Kosten und Gewicht, sowie Erhöhung von Zuverlässigkeit und Sicherheit zur Folge haben.

## **TP 2 - Vermaschte Stromnetze**

Derzeit stellen dreiphasige Wechselstromsysteme (115V AC) mit variabler, hoher Netzfrequenz (400 – 800 Hz) in Stern- bzw. Baumtopologie den Stand der Technik bei Flugzeugbordnetzen dar. Die variable und im Vergleich zu Bodennetzen hohe Frequenz ermöglicht gewichtseffizientere Generatoren und Wandler. Die Absicherung der elektrischen Verkabelung erfolgt über thermische, elektromechanische und voll elektronische Sicherungselemente. Wandlung in andere elektrische Energieformen erfolgt über klassische Transformatoren, Gleich- und Wechselrichtersysteme. Im Bereich der Verkabelungstechnologien für elektrische Energieverteilungsnetzwerke sind in der Luftfahrt derzeit im wesentlichen Aluminium- und Kupferkabel verschiedener Legierungen im Einsatz.

Unter Verwendung einer HVDC-Energieverteilung (High Voltage DC) sollen Systemarchitekturen im Flugzeug, insbesondere für die Kabine, untersucht werden. Dabei werden die Kabinen-Topologien verteilte Energiequellen und unterschiedliche Lasten intelligent verwalten können. Diese Energieverteilungsnetze werden auch auf ihre Verfügbarkeit und ihre mögliche Redundanz, sowie auf ihre Netzqualität beim Betrieb (an- und abschalten, Power Management, etc.) von vielen DC-Verbrauchern hin analysiert werden.

Weiterhin sollte das Thema „Vermaschte Stromnetze“ für die Kabine und den Frachtraum im Hinblick auf die Gewichtoptimierung des elektrischen Systems unter Beibehaltung aller Funktionen und der potentiellen Erhöhung der Zuverlässigkeit des Systems untersucht werden. Dieses sollte in Verbindung mit der Gesundheitsüberwachung der Electrical Wiring Installation System (EWIS) des jeweiligen Schutz-Konzeptes in Einklang gebracht werden. Dazu wurde der Schwerpunkt der Arbeiten auf den Themen Versorgung von mehreren Generatoren, Funktions-Überwachung und Untersuchung von Schutz-Konzepten unter bestimmten Bedingungen, einschließlich Ausfall, Fehlererkennung und Fehlerlokalisierung gelegt.

Weitere Untersuchungsschwerpunkte haben die Einkoppelungsknoten von und zu dem Bordnetz dargestellt, sowie die Gestaltung der Interface zu den unterschiedlichen Verbrauchern.

Die Kommunikation zu allen Komponenten der Energieverteilungssysteme wurde über die „Powerline Kommunikation“ realisiert. Über diese Kommunikation sollten Kommandos abge-

setzt und Statusinformationen vom Netz eingesammelt werden. Darüber hinaus war zu analysieren, ob über „Powerline Kommunikation“ auch Protokolle für Maintenance oder für Dataloading zu den Netzkomponenten implementiert werden können.

## **2 Kurze Darstellung der Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Die Federführung lag bei der Diehl Aerospace GmbH. Die Zusammenarbeit wurde in einer von allen Partnern unterzeichneten Vereinbarung geregelt. Für die Durchführung des Vorhabens wurden die Verbundpartner entsprechend ihrer Aufgaben den Arbeitspunkten zugeordnet. Eine sinnvolle und termingerechte Bearbeitung der Aufgaben war jederzeit möglich.

Die Forschungs- und Technologiethemen dieses Vorhabens waren Teil der strategischen, innerhalb des Airbus Konzerns abgestimmten R&T-Roadmap. Abhängig von den Projekthinhalten, den innovativen und strategischen Partnern sowie den Umsetzungszeiträumen wurden sie für dieses Projekt zusammengestellt.



### 3 Kurze Darstellung zur Planung und zum Ablauf des Vorhabens

#### 3.1 Projektstrukturplan

Das Verbundvorhaben unterteilte sich, wie in Abbildung 1 dargestellt, in die technische Erarbeitung des Energiemanagements und in die Demonstration / Verifikation der Technologien. Die beiden Themen der Airbus Operations GmbH wurden in den Arbeitspaketen AP1.2, AP1.3 und AP2.2 ausgeführt.

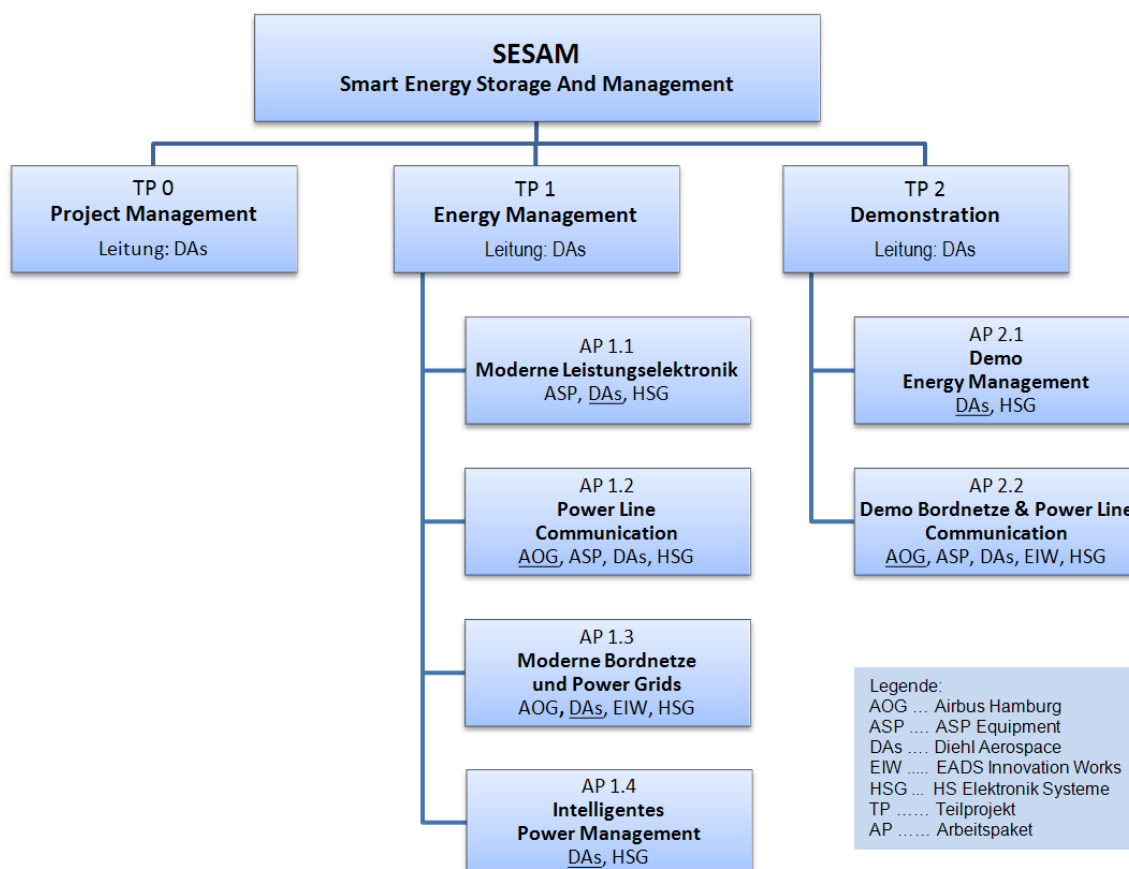


Abbildung 1: Projektstruktur SESAM

#### 3.2 Meilensteinplanung

Der Arbeitsplan der Teilprojekte wurde in folgenden Phasen umgesetzt:

- Definition der speziell für das Thema gültigen Anforderungen

- Erarbeitung von Konzepten inkl. Konzeptauswahl
- Detaillierte Spezifikation der zu erstellenden Funktionsmuster
- Erstellung / Fertigung der Funktionsmuster und Definition der Tests
- Verifikation und Validation der Innovationen durch Tests

Nach Abschluss der jeweiligen Projektphase wurden die Ergebnisse vorgestellt. Ziel hierbei war die Überprüfung der Zwischenergebnisse hinsichtlich der Integrierbarkeit der Projektergebnisse in die zukünftigen Flugzeugprogramme.

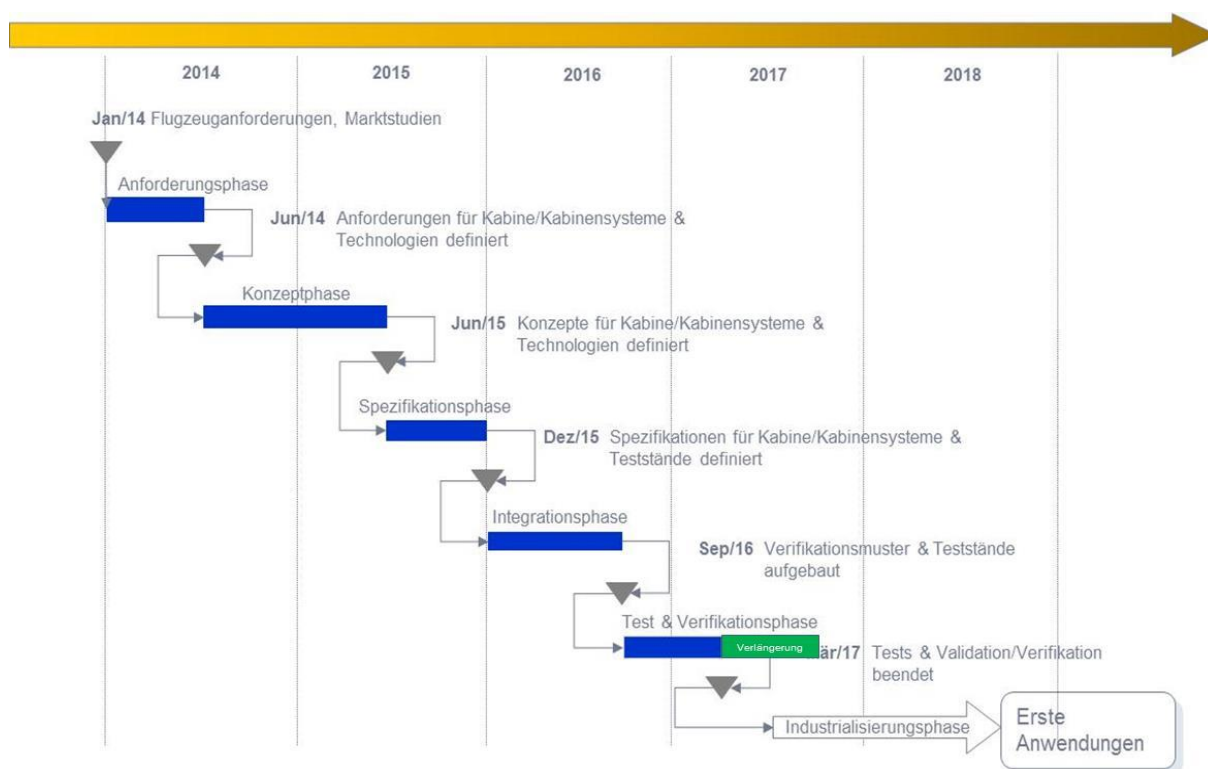


Abbildung 2: Projektphasen

Die Meilensteine der einzelnen Teilprojekte wurden in Hinsicht auf eine aktive Ablaufplanung und -kontrolle definiert und jeweils am Ende der einzelnen Phasen bezüglich der Ergebnisse geprüft. Für die Teilprojekte gab es keine wesentlichen Abweichungen von der ursprünglichen Arbeits- und Kostenplanung. Die Ausschreibung und Beauftragung der Testbauteile für das gemeinsame SESAM Verifikations-Mock-Up benötigte jedoch mehr Zeit, als in der ursprünglichen Projektplanung vorgesehen war. Um die Ergebnisse entsprechend der Projektplanung abschließen zu können, hatte Airbus in Absprache mit dem Verbundführer Diehl Aerospace GmbH eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis zum 30.09.2017 beantragt.

---

## **4 Kurze Darstellung des wissenschaftlichen und technischen Standes, an den angeknüpft wurde**

### **4.1 Stand der Wissenschaft und Technik**

Im Gegensatz zur Bereitstellung elektrischer Energie auf Datenleitungen waren Lösungen für die Datenübertragung auf elektrischen Versorgungsleitungen im Luftfahrtbereich noch nicht etabliert. Aus der Unterhaltungselektronikindustrie und für den häuslichen Bereich sind jedoch bereits Produktlösungen für PLC („Power Line Kommunikation“) bekannt.

Derzeit weisen das Bordnetz moderner Flugzeugtypen und die bodengebundenen Versorgungseinrichtungen eine Spannung von 115 V bei variabler Frequenz von 360-800 Hz auf. Bisherige Untersuchungen von Airbus und der Helmut-Schmidt-Universität zeigen, dass durch dezentrale Strukturen und höhere Spannungen Gewichtseinsparungen beim Bordnetz in Höhe von ca. 25-60% erzielbar sind (Weight Evaluation of Cabin Power Architecture on Smaller Civil Aircraft, Brice Nya, Johannes Brombach, Torben Schröter, Detlef Schulz). Dieses Vorhaben stellt die bisherigen und weiteren im Verbund erarbeiteten Erkenntnisse zu neuartigen Bordnetzstrukturen in den operationellen Kontext der Flughäfen und Fluggesellschaften.

### **4.2 Bisherige Arbeiten des Antragstellers**

#### **TP1 - Power Line Kommunikation**

Mit diesem Projekt soll auf den Ergebnissen des europäischen Projekts TAUPE, „Transmission in Aircraft on Unique Path wirEs“, aufgesetzt werden und die in TAUPE vorgestellte Technologie als Funktionsmuster in idealisierter Einsatzumgebung umgesetzt werden.

#### **TP2 - Vermaschte Stromnetze**

Basis für das Thema Vermaschte Stromnetze ist das Projekt Smart-Grid Cabin der Spitzencluster Förderung. Es wurde in Zusammenarbeit zwischen AIRBUS und der Helmut-Schmidt-Universität / Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Schulz erarbeitet.

## **5 Kurze Darstellung zur Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

In diesem Projekt nahm Airbus bewusst als Partner in dem von Diehl geführten Verbund teil, um die enge Zusammenarbeit bezüglich der Anforderungen, Architektur und Schnittstellen sowie bei der späteren Integration zwischen Airbus als Flugzeughersteller und Diehl als Großkomponenten-Zulieferer im Bereich R&T sicherzustellen.

Die erfolgreiche Bearbeitung des Themas erforderte einen hohen Wissensstand über elektrische vermaschte Netze sowohl in Bezug auf den robusten Betrieb und Schutzkonzepten. Um darüber hinaus einen signifikanten Fortschritt bei der Bearbeitung des Themas Stromverteilung in der Kabine und im Frachtraum zu gewährleisten war ein sehr großes Know-how im Bereich des elektrischen Systems im Flugzeug erforderlich. Die Helmut-Schmidt-Universität (via Hamburg Innovation GmbH) erfüllte die Voraussetzungen in den letzten Jahren.

Das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) - Lufttransportsysteme stellte sicher, dass die im SESAM-Verbund entwickelte Technologie den Anforderungen der Kunden genügt, d.h. dem Kunden OEM aus Zulieferersicht, dem Kunden Fluggesellschaft aus OEM-Sicht und dem Dienstleister Flughafen aus Sicht der Fluggesellschaft. Die Fluggesellschaften werden ein Flugzeug mit einer höheren Bordspannung nur beschaffen, wenn es auf allen Flughäfen ihres Flugnetzes abgefertigt werden kann. Auch wenn eine höhere Bordspannung auf Flugzeug-Ebene Vorteile bietet, entscheiden die Akzeptanz und die Höhe der notwendigen Investitionen auf Seiten von Flughäfen und Fluggesellschaften über den Erfolg eines neuen Bordnetzes und einer damit ausgerüsteten Flugzeugfamilie.

Eine höhere Bordnetzspannung ermöglicht theoretisch die Reduktion des Leitungsquerschnitts bei der Stromverteilung und damit eine Gewichtsreduktion des Leitungsnetzes. Dieser Vorteil ermöglicht einen geringeren Treibstoffverbrauch, eine höhere Flugzeugreichweite oder eine höhere Nutzlast. Die Wirtschaftlichkeit dieser technischen Lösung hängt jedoch von der Verfügbarkeit der passenden Infrastruktur an den Flughäfen ab, da andernfalls Spannungs-Konverter im Flugzeug benötigt werden. Die Stromversorgung einer neuen Flugzeugfamilie mit höherer Bordnetzspannung müsste auf nahezu allen Flughäfen sichergestellt werden. Im Ausnahmefall könnte auf die APU zurückgegriffen werden.

Aufgabe des DLR war daher die Klärung des Zielkonflikts zwischen den Vorteilen der unterschiedlichen Lösungen auf Flugzeugebene einerseits und andererseits der notwendigen Anpassung der Flughafeninfrastruktur, den damit einhergehenden Investitionen an den weltweiten

Flughäfen, etwaigen Auswirkungen auf die Abfertigungskosten und damit der Akzeptanz bei Flughäfen und Fluggesellschaften.

*SESAM Verbundpartner*

- AIRBUS Operations GmbH, Kreetslag 10; 21129 Hamburg
- Diehl Aerospace GmbH, Alte Nußdorfer Straße 23, 88662 Überlingen
- Advanced Space Power Equipment GmbH, In Oberwiesen 16; 88682 Salem-Neufrach
- Airbus Group Innovations, Willy-Messerschmitt-Straße 1, 85521 Ottobrunn
- HS Elektronik Systeme GmbH, Industriestraße 16, 86720 Nördlingen

*Airbus Unterauftragnehmer*

- Airbus Group Innovations, Willy-Messerschmitt-Straße 1, 85521 Ottobrunn
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) / Lufttransportsysteme, Blohmstr. 18, 21079 Hamburg
- Hamburg Innovation GmbH / Helmut Schmidt Universität, Harburger Schloßstraße 6-12, 21079 Hamburg

## **6 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse**

### **6.1 Teilprojekt TP1 - Power Line Kommunikation**

In der ersten Projektphase wurden die Anwendungsbereiche der Power-Line Communication Technologie in der Kabine und im Frachtbereich erfasst und eingegrenzt. Des Weiteren wurden die Anforderungen (High-Level Requirements) des Power Systems (ATA24) und des Daten Systems (ATA44) in der Kabine und für die Kundensysteme (Strom und Daten Abnehmer) erstellt. In einem zweiten Schritt wurden anhand der Anforderungen und der zu überprüfenden Ergebnisse eine Demonstrator Spezifikation erstellt und ein Verifikation und Validierungsplan erarbeitet.

Das Cabin Core System (CCS) stellt eine gemeinsame Strom- und Daten Netzinfrastruktur dar für alle Kabinen- und Frachtsysteme (essentielle und nicht- essentielle Systeme) zur Verfügung. Es wird die grundlegende Dienstleistung für die angeschlossenen Systeme bieten und stellt zusätzlich Verarbeitungskapazitäten für weitere Funktionen. Die Plattform wird durch die Bereitstellung von elektrischer Leistung über den gleichen Daten-Knoten ergänzt.

Durch die Zusammenlegung der Daten- (DEU – Decoder Encoder Unit) und Stromknoten (SPDB – Secondary Power Distribution Box) in einem gemeinsamen Daten- und Stromknoten (CCSN - Cabin Core System Node) ist eine einfache Implementierung von „Power over Ethernet“ oder „Power Line Communication“ möglich.

Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie in der Kabine sind vielfältig. In diesem Projektvorhaben wurde das Seat Power System als Anwendungsfall untersucht, da sich hier vielversprechende Vorteile erzielen lassen:

- BITE Übertragung von Sitz System zur Kontrollsystem der Besatzung
- Verbindung des Sitz Systems zum Kabinenmanagement-System
- PAX Status Aufrufen und Übertragung zum Kontrollsystem der Besatzung
- Umgebungslicht Dimmer Steuerung
- PED Outlet Unit Fern Ausschaltfunktion
- Zentral / PAX Sitzbetätigungssteuer

## **Cabin Core System Node**

Der „Cabin Core System Node“ kombiniert die Daten- und Stromverteilung in der Kabine. Im Vergleich zur aktuellen Architektur muss sich ein Kabinensystem einerseits mit der Decoder Endcoder Unit (DEU) verbinden um Steuerungsdaten vom Cabin Intercommunication Daten System zu erhalten und andererseits mit der Secondary Power Distribution Box (SPDB) um AC oder DC Strom zu erhalten.

Ein wichtiger Punkt, der im Rahmen des Projekts untersucht wurde, ist die funktionelle Komposition des „Cabin Core System Nodes“. Hierzu wurden die Schnittstellen überarbeitet und die Konzepte erstellt. Eine Untersuchung der essentiellen und nicht essentiellen Stromversorgung war Teil der Konzipierung.

Zwischen dem Power Teil (LRM) und dem Daten Teil (DEU) des Cabin Core System Nodes ist ein Datenaustausch aufgrund der zuvor definierten Schnittstellen möglich. Die Konzeptabbildung zeigt eine teilweise oder vollständige Power-over-Datenlösung in beispielhafter Form einer USB-Schnittstelle an dem Abnehmer System. Diese Variante der DC-Knoten ist prädestiniert für die Implementierung einer Power-over-Daten (PoD) Lösung (Nutzung der gleichen Infrastruktur bei der Daten und Strom Verteilung). In diesem Fall erfolgt die PoD Modulation auf dem Datenmodul (DEU) aufgrund einer vollständigen Gleichstromversorgung der DEU.

Der Vorteil dieser Variante ist die zu erreichende geringe Bauhöhe der DEU. Sie entspricht der Hälfte der Höhe der LRM und ermöglicht die Installation von zwei DEUs in einem Knoten (Fläche LRM = 2 Fläche DEU).

Die „Power Line Communication Technologie“ sollte in Zusammenarbeit mit dem „Seat Power System“ demonstriert werden. Eine der essentiellen Vorteile bei dieser Anwendung ist die Anbindung des Seat Power Systems an das Cabin Management System. Diese Anbindung bietet ein enormes Potential an neuen Funktionen und Anwendungen für die Kabine und Instandhaltung Besatzung.

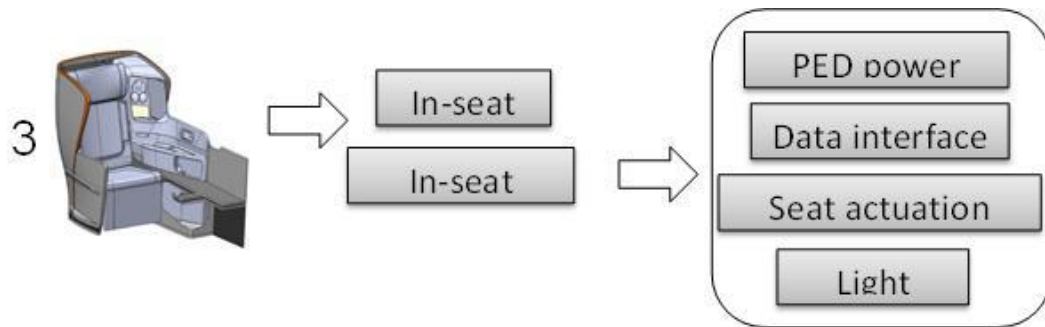


Abbildung 3: Seat Power System

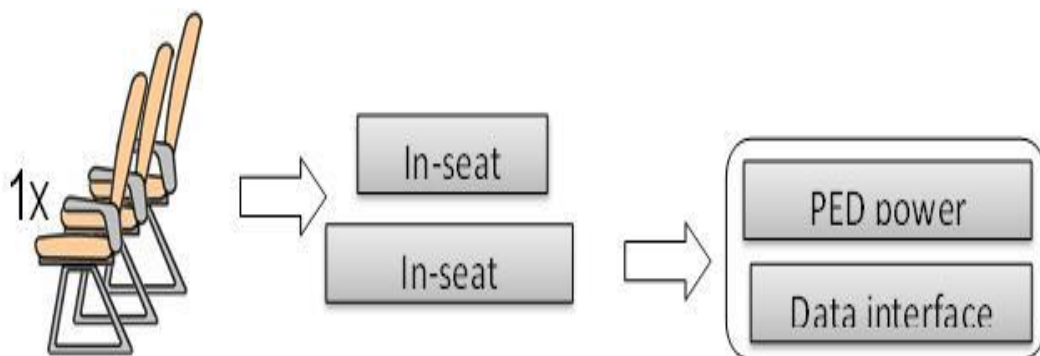


Abbildung 4: Seat Power System

Nachfolgend wurde die Demonstrator-Architektur erarbeitet. Ein Server (EPDC/PLC) dient zur zentralen Energie- und Datenversorgung für die *Power Line Communication (PLC) Node* mit zwei voneinander getrennten Leitungen. Die Fusionierung von Energie- und Datenversorgung erfolgt innerhalb der *Power Line Communication Node*. Für den Demonstrator werden je eine *PLC Node* zur Versorgung der Passagiersitze und des Überkopfbereichs mit Funktionen, wie *Reading Light* und *Attendant Call*, benötigt. Die Trennung von Energie und Daten erfolgt in den Sitzen und im Überkopfbereich auch mithilfe von *Power Line Communication Nodes*.

Auf der zuvor beschriebenen Architektur wurden für den SESAM Demonstrator folgende Funktionen definiert:

- Attendant Call transition from seat to Crew Terminal
- Reading Lights On/Off (Request from PAX, Central Switching)
- Seat actuation control (By PAX, Central control)
- Ambient light dimming control (By PAX, Central control)
- Remote ON/Off function of PED outlet units
- BITE transmission from seat equipment to crew terminal



Weiterhin wurde die detaillierten SESAM Demonstrator-Architektur spezifiziert. Innerhalb jeder Node befindet sich ein SSPC Element zur Energieversorgung, eine MD-DEU als Datenmodul sowie eine Modem Node zur Zusammenführung von Energie und Daten mithilfe der Power Line Communication Technologie. Innerhalb dieser Komponenten erfolgt die Trennung von Energie und Daten mit einem PLC-Modem zur Versorgung der im Sitz und Überkopfbereich vorhandenen Komponenten.

Die zwischen den einzelnen Komponenten dargestellten Nummern repräsentieren die im Projekt zu spezifizierenden Schnittstellen.

Die Untersuchungen eines kombinierten Energie- und Daten-Knoten lieferten drei mögliche Varianten zur Dimensionierung eines solchen Knotens:

- Variante 1: Die Power LRM Karte als maßgeblichen Indikator für die Knoten Dimensionen (ca. 0,25m der Modullänge)
- Variante 2: Nutzung des Modular Rack Principle (MRP) (ca. 0,1m x 0,1m). Diese Chassis-Lösung stellt die kleinste Gehäusevariante da (Modullänge von ca. 0.15m)
- Variante 3: Stellt ein Kompromiss zwischen Variante 1 und 2 dar.

In Abstimmung mit allen beteiligten Verbundpartnern innerhalb dieses Arbeitspaketes, wurde Variante 2 als Miniature MRP Type II für das weitere Vorgehen gewählt. Diese Variante ermöglicht allen Partnern eine weitestgehend autarke Entwicklungstätigkeit und stellt dennoch eine Kompatibilität der einzelnen Komponenten über das modulare Gehäuseprinzip sicher. Für alle drei *Power Line Communication* (PLC) Node-Komponenten: SSPC, MD-DEU und PLC-Modem wurde die Größe D gewählt, womit eine Stapelung umgesetzt werden kann und die Kompatibilität gewährleistet ist.

Anschließend wurde die Systemverkabelung zwischen der Power Line Communication Node und den Passagiersitzen bearbeitet. Hierbei geht es um die genaue Verschaltung der drei Strom-Phasen zur Energieversorgung, auf die durch das PCL-Modem Daten modelliert werden. Eine PLC-Node kann über 6 SSPCs 2 x 3 Strom-Phasen beliefern. Je 3 Phasen können mehrere Passagiersitze in Form einer Daisy-Chain-Verdrahtung verdrahtet werden. Die Phasen rotieren jeweils über die Eingangs- und Ausgangs-Stecker-Belegung, sodass alle Phasen gleichmäßig in der Daisy-Chain-Verdrahtung belastet werden. Dabei wird nur eine Phase pro Sitz zur Energie- und Datenversorgung ausgekoppelt.

Innerhalb der Architektur dient ein Server (EPDC/PLC) zur zentralen Energie- und Datenversorgung für die *Power Line Communication (PLC) Node* mit zwei voneinander getrennten Leitungen. Die Fusionierung von Energie- und Datenversorgung erfolgt innerhalb der *Power Line Communication Node*. Für den Demonstrator werden je eine *PLC Node* zur Versorgung der Passagiersitze und des Überkopfbereichs mit Funktionen, wie *Reading Light* und *Attendant Call*, benötigt. Die Trennung von Energie und Daten erfolgt in den Sitzen und im Überkopfbereich auch mithilfe von *Power Line Communication Nodes*. verweis

Ergänzend zur Demonstrator-Spezifikation wurde ein Testplan erstellt, mit dem die Leistungsfähigkeit und die Kompatibilität der Powerline Communication überprüft werden soll. Hierzu wurden die Anforderungen der DO-160 herangezogen. Darin sind neben den Grenzen der abgestrahlten elektromagnetischen Leistung auch die der Leitungsgebundenen Emission festgeschrieben.

Für die Betrachtung einer Industrialisierung sind diese Werte verpflichtend und müssen daher von Beginn an im Forschungsprojekt berücksichtigt werden. Da im Flugzeug später mehrere Powerline Communication Strecken Einzug erhalten sollen, musste für den Demonstrator somit ein repräsentativer Anwendungsfall geschaffen werden.

Auf Basis des MRP-Gehäusekonzeptes wurden zwei unterschiedliche Designs betrachtet. Wo das erste Design (*old design*), noch einen exponierten Kühlkörper-Aufbau erfordert, liefert das zweite Design (*new design*) eine integrierte Lösung und ermöglicht so die Modulschichtung.

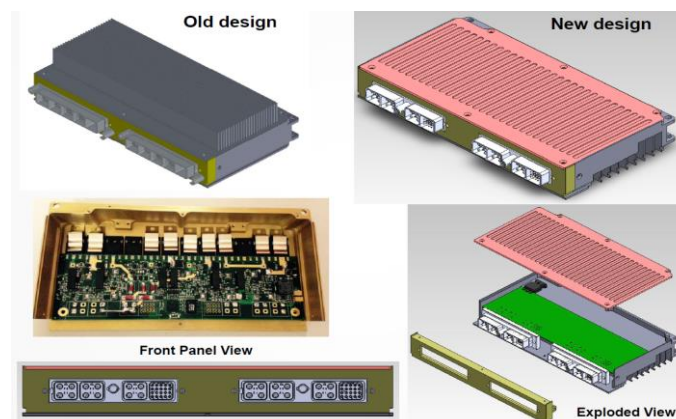


Abbildung 5: SPDB Design unter Berücksichtigung des MRP-Gehäusekonzeptes

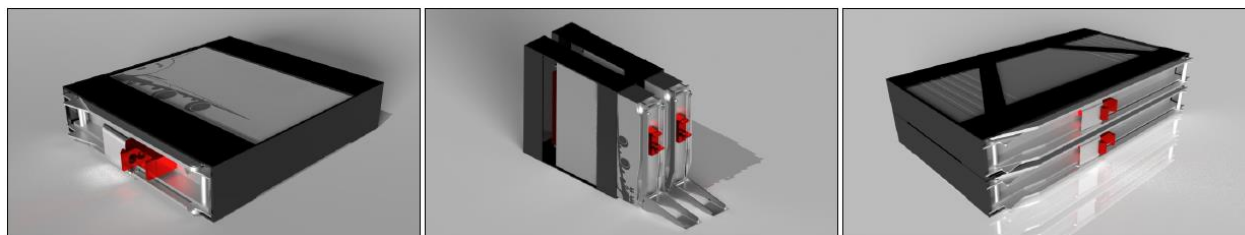


Abbildung 6: Miniature Modular Rack Principle (MRP) Type II Gehäuse Typen

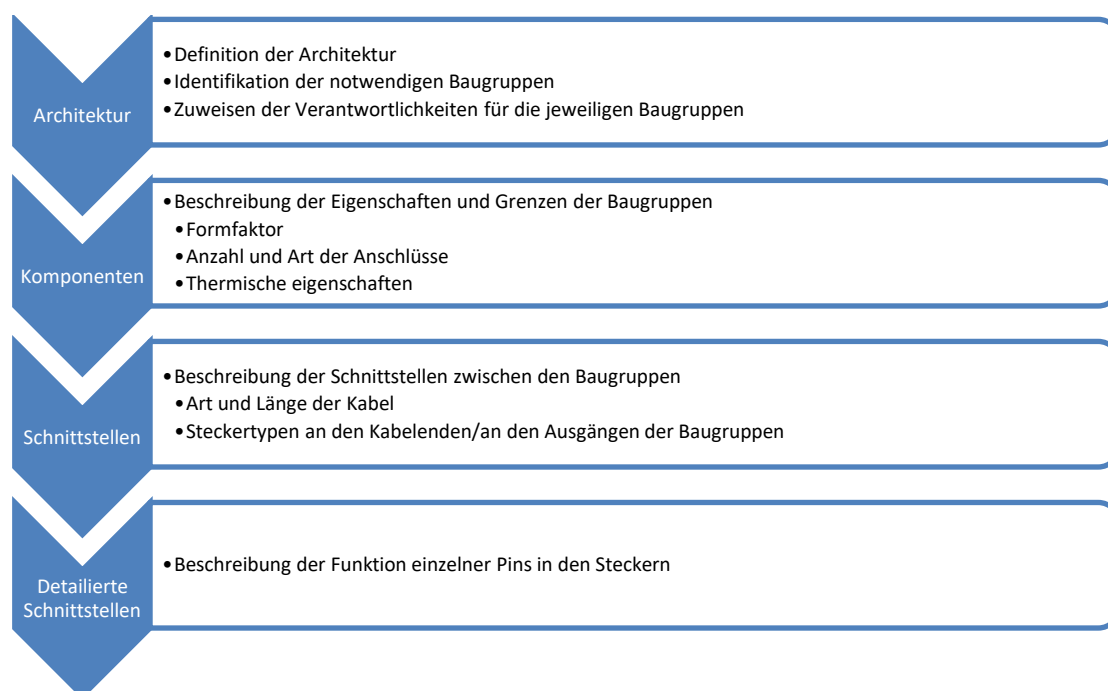


Abbildung 7: Vorgehen bei der Definition der Schnittstellen

In Zusammenarbeit mit Diehl wurden Anpassungen an der Architektur vorgenommen, so dass zumindest für einzelne Baugruppen einige der oben genannten Schritte erneut durchgeführt werden mussten. Aus dieser Zusammenarbeit ist eine neue Architekturvariante entstanden.

Im Vergleich zu der zuvor bekannten Architektur ist der wesentliche Unterschied in der neuen Architektur, dass alle Komponenten jeweils einen Eingang und Ausgang für elektrische Leistung besitzen. Dadurch wird die Flexibilität wesentlich verbessert. Hinzu kommt, dass der Kommunikationsweg weniger Verzweigungen aufweist. Bei der Aufstellung der Schnittstellen-spezifikation der Baugruppen stellte sich dabei heraus, dass durch diese Änderung die Anzahl der benötigten Stecker und Kabel verringert wurde.

Für die Integration der Bauteile in den Demonstrator wurden Wiring-Diagramme erstellt, die die endgültige Spezifikation des Kabelbaumes darstellen. Dabei wurden einige Erweiterungen an der ursprünglichen Definition notwendig.

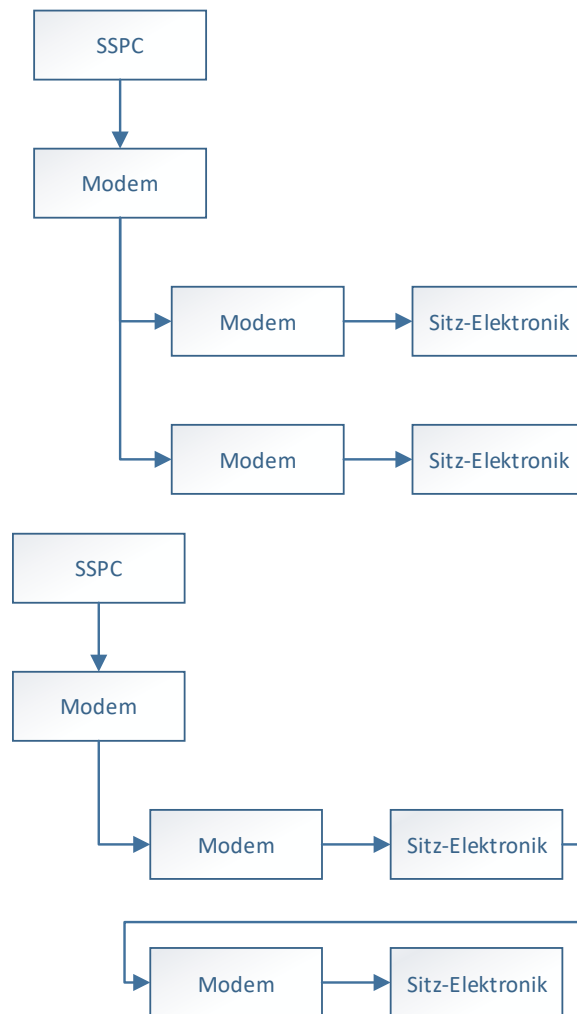


Abbildung 8: Vergleich der Architekturvarianten

Diese Änderung wurde dahingehend ausgearbeitet, dass neben Kabeltypen auch die Belegung der einzelnen Pins in den Steckern deutlich wird.

Des Weiteren wurde identifiziert, dass für die Demonstration eine weitere Schnittstellenkomponente zwischen dem PLC-Modem und der Sitzelektronik benötigt wird. Das war notwendig, da sich eine Modifikation der Sitzelektronik im Rahmen dieses Projektes als zu umfangreich erwiesen hat. Bei einer Integration in ein Flugzeugprogramm ist die Anpassung der Sitzelektronik erforderlich, um entstehende Gewichtsnachteile und Verkabelungskomplexität zu vermeiden.

Nachfolgend wurden die Kabelbündel gefertigt und getestet. Das folgende Foto zeigt das vollständige Bündel für die bevorstehenden Verifikationstests.



*Abbildung 9: Gefertigte Kabelbündel*

Die Kabelbündel wurden bezüglich der ursprünglich geplanten Architektur nochmal verbessert, um die tatsächlichen Schnittstellen im Demonstrator besser bedienen zu können. Das Architekturschaubild wurde entsprechend der nachfolgenden Skizze dahin gehend angepasst.

Die wesentliche Verbesserung ist die Einarbeitung eines bereits zuvor angesprochenen Konverters, der zwischen der Power Line Communication Strecke und den vorhandenen Sitzen vermittelt. Dieser Konverter wird gleichzeitig dafür eingesetzt, die lokale Spannungsversorgung für das Modem bereitzustellen.

Des Weiteren wurde ein Testplan ausgearbeitet, der definiert, welche Untersuchungen am Demonstrator durchgeführt werden. Dieser Testplan lehnt sich an bereits im Vorfeld durchgeführte Messungen mit Off-the-Shelf Komponenten an. Zunächst wird dazu eine möglichst störgrößenfreie Strecke aufgebaut, um die Funktion der Modems unter idealen Bedingungen zu evaluieren. Im nächsten Schritt wurden die Modems wie in der Skizze definiert zusammengeschaltet. Dies stellt den nominalen Anwendungsfall dar. Es wurden außerdem zwei getrennte Strecken gleichzeitig getestet um Wechselwirkungen zu quantifizieren. Im letzten Schritt wurden alle Modems und Verbraucher an einen Strang angeschlossen. Dazu wurde das SPM der zweiten E/C Reihe mit der SIB aus der ersten B/C Reihe verbunden. Dies stellte eine maximale Belastung der Strecke dar, da hier sowohl Verzweigungen als auch lange Pfade als auch viele Störquellen vorhanden sind.

Im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) in Hamburg wurde die Power Line Communication Testumgebung aufgebaut. Airbus Operations GmbH stellte dafür die notwendige

Infrastruktur bereit und führte gemeinsam mit Airbus Group Innovations, Diehl Aerospace und der Hochschule Luzern die Messkampagne durch.



*Abbildung 10: Installation im Cabin and Cargo Teststand*



*Abbildung 11: Messgeräte-Aufbau*

Im Rahmen der Testkampagne konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Die Sitzverstellung konnte über Power Line Communication ferngesteuert bedient werden
- Leselampen- und Passenger-Call-Steuerung konnten über Power Line Communication übertragen werden
- Es wurden keine Wechselwirkungen zwischen mehreren Power Line Communication - Strängen festgestellt
- Die Grenzwerte der DO-160F für leitungsgebundene Emissionen wurden eingehalten
- Die Reaktionszeiten des Netzwerkes entsprachen den Erwartungen
- Die Übertragungsbandbreite wurde ermittelt

Die Projektarbeiten wurden hiermit erfolgreich abgeschlossen.

Die Projektergebnisse fließen in die Definition der zukünftigen Airbus Kabinensystemarchitekturen ein. Ergänzend wird geprüft, ob eine nachträgliche kosteneffiziente Integration über Produkt-Updates und Nach-/ Umrüstungslösungen in die aktuellen Kurz-, Mittel- und Langstreckenflugzeuge mit möglich ist.

## 6.2 Teilprojekt TP2 - Vermaschte Stromnetze

### Anforderungen aus Sicht des Flughafens

Ziel der ersten Phase des Projekts war es Daten über die Operations- und Investmentkosten sowie typische Lebenszyklen der Stromversorgungsinfrastruktur für Flugzeuge an Flughäfen zu eruieren. Dies erfolgte durch eine Marktanalyse und Interviews mit verschiedenen nationalen und internationalen Flughäfen sowie Zulieferbetrieben.

Erster Flughafen, der angesprochen wurde, war der Flughafen Hamburg (Betreiber: Flughafen Hamburg GmbH (FHG), IATA-Code: HAM). Am Flughafen Hamburg gibt es derzeit zwei verschiedene Stromversorgungseinrichtungen für Flugzeuge: stationäre 400 Hz an den Fluggastbrücken (Terminal Aircraft Stands) und mobile Ground Power Units (GPU) für die Vorfeldpositionen (Remote Aircraft Stands).

In den letzten Jahren ist die Sensibilität der Gesellschaft für das Thema Klimaverträglichkeit in der Luftfahrt gestiegen. Auch im Rahmen von Genehmigungsverfahren (v.a. in Deutschland) für infrastrukturelle Erweiterungen nimmt das Thema Lärm- und Schadstoffemissionen eine ständig stärker werdende Bedeutung ein. Dadurch erhöht sich die Bereitschaft zur Anschaffung von technologisch neueren, schadstoffärmeren GPUs. Des Weiteren werden ein Schlepper und eine Arbeitskraft benötigt um die GPUs am Remote Aircraft Stand bereitzustellen. Eine Besonderheit am Flughafen Hamburg ist, dass die Nutzung der Bodenstromversorgung während des Turn Arounds den Fluggesellschaften vorgeschrieben wird. Eine Nutzung der Flugzeug-internen Auxiliary Power Unit (APU) ist verboten.

Allgemeine Informationen:

- Durchschnittliche Positionsbelegung Remote-Positionen 4 x pro Tag (17 h)
- Durchschn. Positionsbelegung Fluggastbrücken (Schengen) 10 x pro Tag (17 h)
- Durchschn. Positionsbelegung Fluggastbrücken (Non-Schengen) 6 x pro Tag (17 h)
- Verkehrsbewegungen: Top 5 Airlines 75 %, DLH 30 %

Ziel der nachfolgenden Phase des Projekts war es, Daten über die Investitions- und Betriebskosten sowie typische Lebenszyklen der Stromversorgungsinfrastruktur für Flugzeuge an Flughäfen zu eruieren. Im Laufe des Berichtszeitraumes wurden zunächst Interviews an deutschen Flughäfen durchgeführt. Zum Flughafen Hamburg sind der Flughafen Frankfurt/Main



(Betreiber: FRAPORT), der Flughafen Köln/Bonn und der Flughafen Dresden hinzugekommen. Durch deren unterschiedliche Größen im Hinblick auf das jährliche Passagier- und Flugbewegungsaufkommen, bilden sie einen guten Querschnitt durch die deutsche „Flughafenlandschaft“.

### *Stationäre 400 Hz Anlagen*

Die Investitionskosten für eine 400Hz-Anlage können in beträchtlicher Größenordnung schwanken. Dies liegt einerseits an den verschiedenen Installationsarten. Die Anlagen können im Terminal (Dresden) selbst oder an der Fluggastbrücke (Köln) verbaut werden. Aber auch eine aufwendige Bodenstromversorgung wie in Frankfurt ist möglich. Ebenfalls kommen durch unterschiedliche Kabellängen Schwankungen in den Kosten zustande. Andererseits spielt die Größe der Anlage eine entscheidende Rolle, d.h. ob die Anlage für ICAO Aircraft Category C oder E/F (die Airbus A380 benötigt 4 Stecker) geeignet ist.

Weitere Anmerkungen der Flughäfen:

- Die Lebensdauer der Anlagen ist nach Expertenmeinung bei regelmäßiger Wartung sogar länger.
- Eine längere Phase mit verschiedenen Stromversorgungen ist nicht realisierbar aufgrund von daraus folgenden betrieblichen Einschränkungen (vor allem bei größeren Flughäfen)
- Die Nutzung der APUs (Auxiliary Power Unit) ist aus Umweltgesichtspunkten an den Flughäfen nicht erwünscht, obwohl kein direktes Verbot (außer in Hamburg) besteht
- Synergien zu anderen Verbrauchern werden kaum gesehen, einzige Ausnahme könnte die Ladestromversorgung von Elektrofahrzeugen sein

### *Mobile Ground Power Units (GPUs)*

Die Kosten für mobile Mobile Ground Power Units streuen in kleinerem Ausmaß. Schwankungen hierbei kommen durch verschiedene Abgasnormen (KOM 3A ohne Partikelfilter, KOM 3B/4 mit Partikelfilter) zustande, die sich innerhalb der letzten Jahre verschärft haben.

*Anmerkungen der Flughäfen:*

- Variabel in einer Übergangsphase einsetzbar

- Hohe Anforderungen an GPUs in Deutschland, modifizierte Schutztrennung muss bei DC vorhanden sein (keine Erdungsmöglichkeit)

Ein Punkt der angesprochen wurde, ist, dass andere große Flugzeughersteller ebenso mitziehen müssten, um eine dauerhafte Parallelversorgung zu vermeiden. In Bezug auf Gleichspannung (kein Nulldurchgang, Gefahr von Lichtbögen) werden erhöhte Risiken für die Mitarbeiter und somit ein Erhöhter Aufwand für Schutzmaßnahmen gesehen, der aber derzeit nicht beziffert werden kann.

### Stromnetz-Architekturen

Zurzeit sind in den meisten Flugzeugtypen elektrische Bordnetze mit einer 115 V Wechselspannung Standard. In neueren Flugzeugtypen werden Generatoren mit der Spannungsebene 230 V AC eingesetzt. Die Netzfrequenz ist entweder 400 Hz oder 360-800 Hz in frequenzvariablen Netzen.

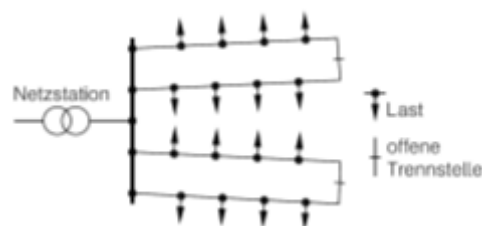


Abbildung 12: Ringleitung offen betrieben

Es existieren linksseitige und rechtsseitige Generatoren, die über die PEPDC (Primary Electrical Power Distribution Center) jeweils einen eigenen Netzabschnitt versorgen. Das elektrische Bordnetz ist entweder ein Stern- oder ein Baumnetz. Die Überlegungen führten zu einem offen betriebenen Ringnetz, das im Fehlerfall den betroffenen Netzabschnitt freischaltet wie in Niederspannungsnetzen der öffentlichen Energieversorger (siehe Abbildung 12). Für diese Netzstruktur besteht das Optimierungspotential im Feederbalancing. Beim Feederbalancing werden aktiv Lasten auf die Feeder im Flug verteilt, so dass eine symmetrische Netzbelastung entsteht. Diese Ansätze sind jedoch nicht Teil dieses Projektes, da sie sich auf Strahlennetze beziehen. Sie werden jedoch als Vergleich herangezogen, um die Gewichtseinsparungen eines vermaschten Netzes zu validieren. Grundsätzlich können in Wechselspannungsbordnetzen nur Feeder gleicher Phasen und gleicher Generatoren miteinander verschaltet werden. Es sei denn man synchronisiert alle Generatoren auf Frequenz, Phasenwinkel jeder Phase sowie die Spannungshöhe. Dies bedeutet eine zusätzliche komplexe Regelungsstruktur und

entsprechend aufwendige Leistungselektronik. Gleichspannungsnetze sind wesentlich flexibler einsetzbar, da man jeden Feeder mit jedem vernetzen kann. Sie besitzen das größere Potential gegenüber konventionellen Bordnetzen mit Wechselspannung hinsichtlich einer Vermaschung. Es gilt jedoch zu beachten, dass verhindert werden muss, dass Generatorpendelungen auftreten. Hierfür ist eine übergeordnete Spannungsregelung einzusetzen. Alternativ ist es möglich, wie zurzeit praktiziert, jedem Generator ein Netzabschnitt zuzuordnen.

Des Weiteren haben aktuelle Forschungsergebnisse der Professur für Elektrische Energiesysteme der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr gezeigt, dass Gleichspannungsnetze mit 270 V bei Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen ein geringeres Gewicht als AC-Netze mit 115 V aufweisen.

Aus den vorgenannten Gründen wurde der Fokus auf die Gleichspannungsnetze gelegt, insbesondere auf Hochvolt-Gleichspannungsnetze. Die Integration von Brennstoffzellensystemen ist hier ebenfalls leichter zu realisieren, als in einem Wechselspannungsnetz. Es werden die Spannungsebenen  $\pm 270$  V DC und 270 V DC / 0V (mit Rückleiteranschluss) gewählt, da die neuesten Generatoren 230 V AC erzeugen und die Spannungsebenen noch unter dem Paschenminimum liegen.

Bei HVDC-Netzen existieren folgende grundlegende Fragestellungen, die betrachtet werden müssen:

- Löschung von Kurzschlussströmen: Es existiert kein Nulldurchgang im Stromverlauf, dies erhöht die Anforderung an den Schutzschalter bzw. die eingesetzte Sicherung.
- Höherer Kurzschlussstrom bei HVDC-Netzen: Bei HVDC-Netzen begrenzt nur der ohmsche Anteil der Zuleitung die Höhe des Kurzschlussstroms, wohingegen bei AC-Netzen die Impedanz den maximal auftretenden Strom begrenzt.

In einem vermaschten HVDC-Netz war zu untersuchen, ob eine Leistungsflusssteuerung über spezielle SSPC (Solid State Power Controller) in-Schalter möglich ist, wie es sogenannte FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) in Energieversorgungsnetzen tun. Der lineare Bereich eines MOSFETs kann genutzt werden, um den ohmschen Widerstand bestimmter Leitungsabschnitte zu erhöhen. Auf diese Weise ist der Innenwiderstand und somit der Leistungsfluss im elektrischen Netz veränderlich. Es war zu untersuchen, welches Potential ein SSPC Bezug auf die Leistungsflusssteuerung besitzt.

---

Ein DC-SSPC für +/-270 V wurde konzipiert. Bisher existierten für 540 V DC keine industriell gefertigten SSPCs. Für den Schalter wurden die folgenden Spezifikationen erarbeitet. Der Mikrocontroller wurde ohne galvanische Trennung implementiert und kann über einen isolierten CAN-Bus kommunizieren. Die Strom- und Spannungsmessung musste deshalb nicht isoliert erfolgen. Der Vorteil ist, dass nicht isolierte Messsysteme Signale höherer Frequenz erfassen, was die nachträgliche Implementierung zusätzlicher Fehlererkennungen wie z.B. von Lichtbogenfehlern (Arc-fault) erleichtert. Als Leistungshalbleiter wurde ein Siliziumkarbid-MOSFET (SiC-MOSFET) der Firma Microsemi mit einer Sperrspannung von 1200 V, der derzeit noch nicht auf dem Markt verfügbar ist, eingesetzt. Das Schaltungskonzept sah keine zusätzliche Energiequelle vor, damit war das SSPC-Konzept als Primärschutz geeignet und unabhängig von einer 28 V DC Versorgung. Für die Spannungswandlung von 540 V auf 24 V war ein passives Konzept vorgesehen. Geeignete kommerzielle Lösungen waren nicht verfügbar. Passive Wandler sind platzsparender, und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)-verträglicher als Schaltnetzteile. Der geringere Wirkungsgrad ist bei geringen Leistungsaufnahmen nicht nachteilig.

Der DC-SSPC (DC – Solid State Power Controller) wurde aufgebaut und in Laborversuchen auf seine Eignung für Bordnetze geprüft. Den ersten fertiggestellten Prototypen zeigt die Abbildung 13.

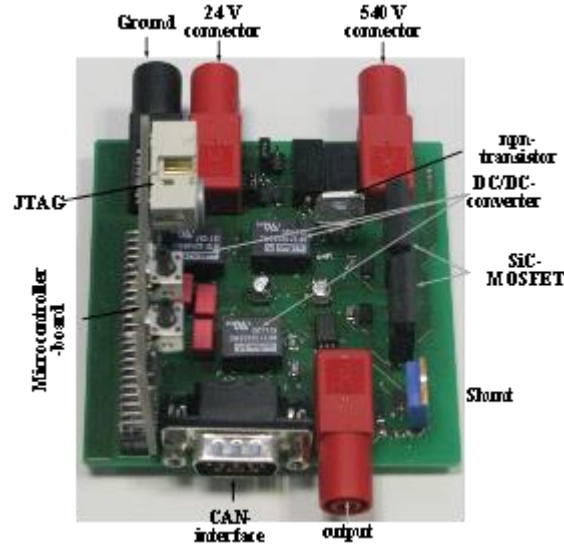


Abbildung 13: Prototyp des DC-SSPC +/-270 V

Zunächst wurde das thermische Verhalten bei Nennströmen  $I_n$  von 3 A, 7 A, 10 A und 15 A sowie einer Spannung von  $U_n = 270$  V DC analysiert. Hierfür wurde der SSPC mit einem konstanten Strom  $I_n$  beaufschlagt und der Temperaturverlauf über die Zeit mit einer Thermokamera aufgenommen.

Das Verhalten einer thermischen Sicherung bis zu einem Schwellwert, ab dem der SSPC sofort abschaltet, ist in der Abbildung klar zu erkennen. Die Laborergebnisse zeigen, dass der Schalter für Bordnetze eingesetzt werden kann. Aus den erhaltenen Ergebnissen wurde die Veröffentlichung erstellt.

### *Vermaschung innerhalb der Secondary Power Distribution Box (SPDBs)*

Nachfolgend wurde ein Simulationskonzept erstellt. Als erster Ansatz wurde eine Vermaschung innerhalb der SPDBs gewählt, da hierdurch keine zusätzlichen Leitungen installiert werden müssen. Des Weiteren konnten die notwendigen zusätzlichen Schutzelemente in den SPDBs mit installiert werden. Dadurch wird der Wartungsaufwand minimiert. Ein zusätzliches Schutzelement pro angeschlossenen Feeder an dem jeweiligen SPDB war notwendig, um den Leitungsschutz und die selektive Abschaltung im Fehlerfall zu gewährleisten. Eine solche Konfiguration mit zwei Feedern ist exemplarisch in Abbildung 14 aufgezeigt.

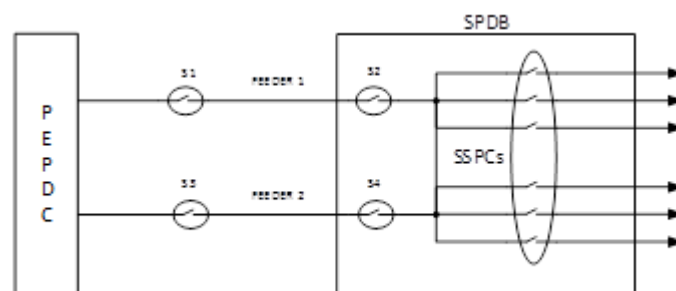


Abbildung 14: SPDB-Konfiguration mit wenigen zusätzlichen Schutzelementen

Eine weitere mögliche Konfiguration zur Vermaschung innerhalb der SPDB stellt die Abbildung 15 dar. Der Vorteil dieser Konfiguration ist, dass die zusätzlichen Schutzelemente nur den Strom einer einzelnen Last tragen müssen, im Gegensatz zur Konfiguration aus Abbildung 14, in der der Nennstrom der Schutzelemente S2 bzw. S4 gleich dem Nennstrom des Feeders ist. Der Vorteil dieser Anordnung liegt jedoch darin, dass die zusätzlichen Schutzfunktionen, wie sie in vermaschten Netzen notwendig sind, nur in S1 bis S4 implementiert werden müssen und nicht in allen SSPCs der SPDB. Es müsste somit kein Eingriff in die bereits vorhandenen SSPCs getätigt werden, welche die Lasten absichern.

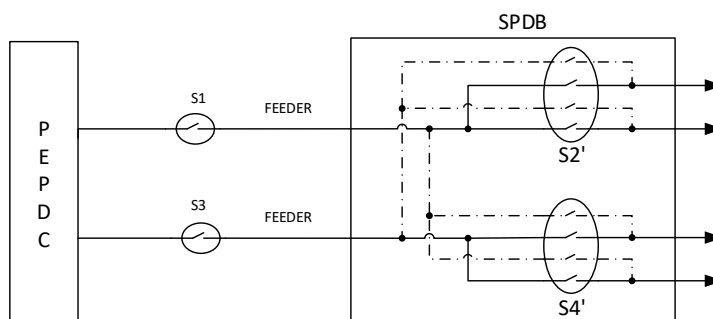


Abbildung 15: SPDB-Konfiguration mit hoher Anzahl an zusätzlichen SSPCs

Die zusätzlichen Schutzelemente müssen selektiv trennen können, da ein auftretender Fehler in einem vermaschten Netz von mehr als einer Seite gespeist werden kann. Daher ist es notwendig, dass der Schutz, der weiter vom Fehlerort entfernt ist später reagiert. So kann ein vollständiger Netzausfall verhindert werden. Abbildung 16 zeigt einen möglichen Leitungsfehler (Erdschluss) in der Vermaschungskonfiguration nach Abbildung 14.

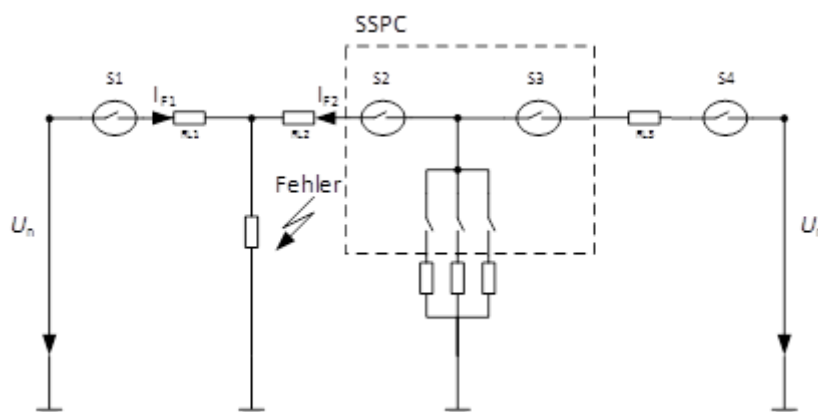


Abbildung 16: Ersatzschaltbild mit Fehler

Die Schutzschalter S1 und S2 müssen vor S3 und S4 reagieren, um den Fehler zu isolieren. Dieses Prinzip ist unter dem Namen Distanzschutz bekannt. Der beschriebene Schutz misst den Strom  $I$  sowie die Spannung  $U$  und ermittelt die Augenblicksimpedanz  $Z$ . In Abhängigkeit von  $Z$  wird die Auslösezeit festgelegt, so dass die Schutzschalter S1 und S2 rechtzeitig öffnen und die Fehlerstelle freischalten.

Mit der Toolbox Simscape wurde das Simulink-Modell erstellt. Die einzelnen Leitungabschnitte der Feeder 232XP, 234XP, 222XP und 224XP wurden durch ohmsche Widerstände repräsentiert. Die Widerstände wurden aus den Längenangaben und den spezifische Widerständen pro Längeneinheit berechnet. Die Übergangswiderstände der SSPCs sind ebenfalls durch ohmsche Widerstände vor den einzelnen Lasten in der Simulation enthalten. Versorgt wurde das Netzwerk in der Simulation von einer 270 V Gleichspannungsquelle.

Die Lasten wurden durch Stromquellen abgebildet, die in Abhängigkeit der Leistung den Laststrom einstellen. Die Leistung der einzelnen Lasten und Flugphasen wurden extrahiert und in Matlab eingepflegt, sodass alle Lasten an den dafür vorgesehenen Slots angeschlossen waren.

Die Vermaschung in den SPDBs wurde durch Schalter hergestellt, die in den Subsystemen SPDB 2, 4, 6 und 8 enthalten sind. Für jede SPDB existierte ein Vektor „MESH\_VECTOR\_SPDBx“ mit sechs Einträgen, der angibt ob und wie die Slots miteinander verbunden waren.

Mit diesem System wurden systematische Untersuchungen vorgenommen und die Kombinationsmöglichkeiten validiert. Zunächst wurde eine Simulation der Grundkonfiguration ohne Vermaschung durchgeführt. Anschließend wurden die einzelnen Vernetzungen nacheinander mit der absolut maximalen Leistung simuliert und miteinander verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die vollständige Vermaschung eine Anomalie bildet, da sie keine Verbesserung sondern eine Verschlechterung der Ergebnisse bringt. Wohingegen die Teilvermaschung 1 sehr gute Ergebnisse liefert. Die sich ergebenden Feeder-Ströme weichen nur gering vom mittleren Strom ab. Eine weitere Vermaschung innerhalb der SPDB 8 (Teilvermaschung 3) liefert hinsichtlich der maximalen Ströme keine wesentlichen Vorteile, würde jedoch eine Erhöhung der Versorgungssicherheit bedeuten. Daher empfiehlt sich die Teilvermaschung 3. Nach der Simulation mit den maximalen Leistungswerten, wurde die Granularität der Simulation verfeinert. Es wurden die spezifischen Leistungen der einzelnen Lasten je Flugphase mit einbezogen. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Teilvermaschung bezüglich der Ausgeglichenheit der Feeder-Ströme bei unterschiedlicher Belastung die besten Ergebnisse erzielt. In der Simulation wurden die unterschiedlichen Ground-Phasen zusammengefasst, da zwischen den einzelnen Phasen kein signifikanter Lastunterschied besteht. Die Operational-Phasen wurden analysiert.

Es ist festzustellen, dass sich der maximal auftretende Strom reduziert. Es ist also zu prüfen, ob man den Querschnitt der Feeder verringern und somit Gewicht eingespart werden kann.

Die gewonnen Simulationsergebnisse zeigen, dass eine Vermaschung innerhalb der SPDBs zu einer Verbesserung der Auslastung des elektrischen Bordnetzes führt. Es stellt sich eine gleichmäßigere Stromverteilung in den einzelnen Feeder ein. Des Weiteren wird die Verfügbarkeit der einzelnen Lasten erhöht. Die Lasten können auch beim Ausfall eines Feeders durch einen anderen versorgt werden.

Auf Basis des erstellten systematischen Überblicks über die relevanten als auch kritischen Anforderungen für eine mögliche Vermaschung, erfolgte die Auslegung für ein mögliches vermaschtes Netz der Küchen- und Frachtraumverbraucher. Auch wurde ein Gewichtvergleich mit dem bisherigen Strahlennetz durchgeführt.



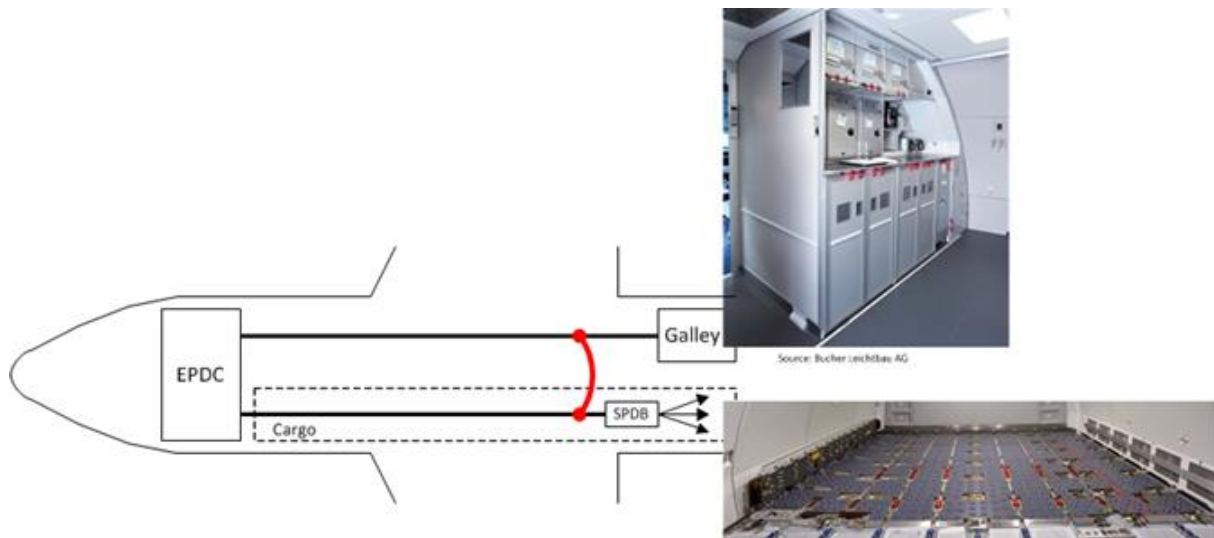


Abbildung 17: Vermaschte Netzstruktur für die Frachtraum- u. Küchenstromversorgung

Für die Anforderungsanalyse wurden die CS-25 der EASA sowie die airbuspezifischen Anforderungsdokumente ABD0100.1.8.1 und TDD92 herangezogen. In der CS-25 sind die Mindestanforderungen für die Zulassung eines „großen“ Flugzeugs (>25m Länge) festgelegt. Wichtige Forderungen für vermaschte Netzstrukturen sind dabei:

- Sicherheit (Fehlerszenarien und deren Kategorisierung)
- Klassifizierung essentieller Systeme und deren Integrität
- Vermeidung von Fehlerfortpflanzung
- Leitungsschutzeinrichtungen, usw.

In der TDD92 werden die Regeln für die Installation der elektrischen Systeme festgelegt. Der wichtigste Punkt aus der Sicht von vermaschten Netzstrukturen ist die Forderung nach Segregation auf den verschiedenen Ebenen (Netzwerke/ Redundanz, essentielle/ nicht-Essentielle Systeme, Kabeltrassen). Die ABD0100.1.8.1 beschreibt hingegen im Wesentlichen die Anforderungen an die Spannungsqualität des betrachteten Versorgungssystems. Im Anschluss an die Anforderungsanalyse wurden die Auswirkungen, die eine Vermaschung auf das Netz hat, betrachtet. Das hierbei erfolgte Vorgehen wird im Folgenden anhand eines Beispiels kurz erläutert. Abbildung 18 zeigt dafür eine Vereinfachte Netzdarstellung für die Auswirkungsanalyse.

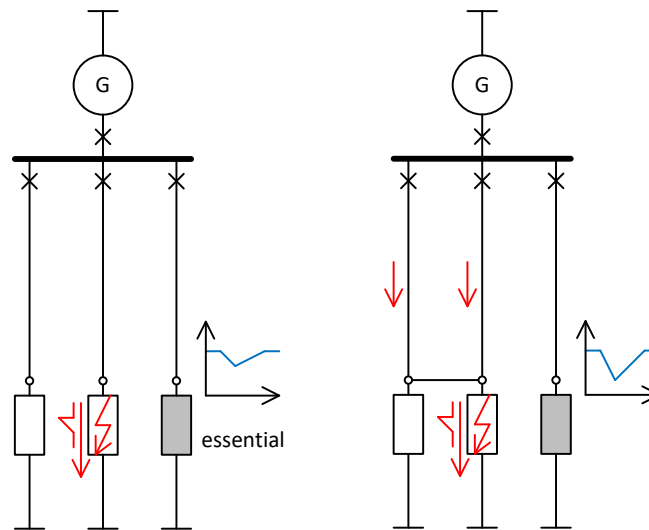


Abbildung 18: Vereinfachte Netzdarstellung für die Auswirkungsanalyse

Im oberen Teil der Abbildung ist jeweils ein Generator zu erkennen, welcher zum oberen Rand mit der Erde und nach unten mit einer Sammelschiene verbunden ist. An der Sammelschiene sind drei Leitungen angeschlossen, welche zwei nicht-essentielle und eine essentielle Last versorgen. Die linke Abbildung (Strahlennetz) bildet den Ausgangspunkt für den Vergleich. Tritt beispielsweise am mittlere (nicht-essentiellen) Verbraucher ein Kurzschluss auf (rot), so bewirkt dies einen Spannungseinbruch (blau) an der Sammelschiene und damit auch am essentiellen Verbraucher. In der rechten Abbildung ist ein mögliches (nicht-essentielles) vermaschtes Netz dargestellt. Tritt hier ein Kurzschluss am mittleren Verbraucher auf, wird er durch zwei Feeder (Leitungen) gespeist und es fließt im Vergleich zum Strahlennetz ein erhöhter Kurzschlussstrom. Dieser erhöhte Strom bewirkt einen stärkeren Spannungseinbruch. Für diesen Fall gilt es zu prüfen, ob der Spannungseinbruch ein Ausfallen des essentiellen Verbrauchers herbeiführen kann. Dazu wurden verschiedene Untersuchungen für verschiedene Fehlerszenarien durchgeführt. Es kann festgehalten werden, dass die CS25 und die TDD92 das Vermaschen von nicht-essentiellen Verbrauchern erlauben, wenn die physikalische und funktionale Sicherheit gewährleistet ist. Herausforderungen bezüglich Zertifizierungsanforderungen treten erst bei der Vermaschung von essentiellen u. nichtessentiellen Verbrauchern sowie redundanten Netzwerken auf.

Im nächsten Schritt wurde eine vermaschte Netzstruktur (vgl. Abbildung 19) auf Basis eines aktuellen Flugzeuges festgelegt und eine Leitungsauslegung durchgeführt. In der Abbildung 19 ist dargestellt, dass die Feeder der Frachtraum- und Küchenstromversorgung am Ende vermascht wurden, sodass ein Ringnetz entstand. Zur Auslegung wurde ein Simulationsmodell des Netzes erstellt und die Lastprofile der jeweiligen Verbraucher aus einer Lastanalyse

extrahiert. Mit Hilfe des Modells und der Lastprofile wurde dann die gewichtsoptimale Leitungs-konfiguration bestimmt, wobei die Berücksichtigung der Auslegungskriterien aus der TDD20 erfolgte.

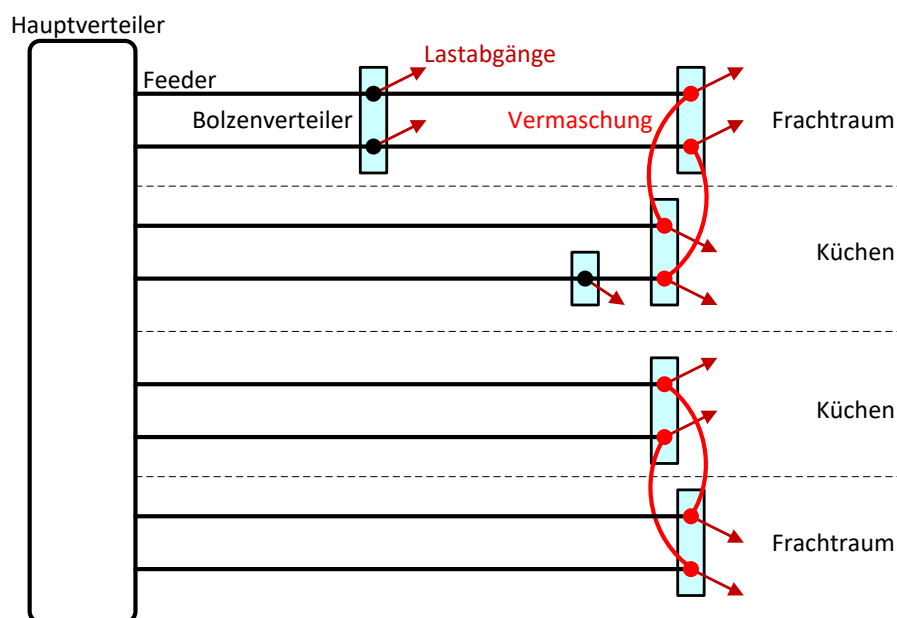


Abbildung 19: Vermaschte Netzstruktur für die Frachtraum- u. Küchenstromversorgung

Die Ergebnisse zeigten, dass eine Vermaschung der Bordnetzstruktur die Strombelastung der einzelnen Feeder verringert und darüber eine Reduzierung der Leitungsquerschnitte der Einzelleitung möglich erscheint und zu einer Gewichtsreduzierung des Gesamtsystemgewichts führen kann. Die Vermaschung selber erfolgt dabei innerhalb der Unterverteilungsmodule (Secondary-Power-Distribution-Box SPDB). So ist auch der konstruktive Aufwand, den zusätzliche Leitungen zur Vermaschung bilden, reduziert.

Die Anforderungen der EASA-Zulassungsvorschrift für Großflugzeuge „CS-25“ und die technischen Design Richtlinie der „TDD92“ wurden auf ihre Kritikalität hin in Bezug auf ein vermaschtes Kabinen- und Frachtraumbordnetz überprüft. Als Ergebnis hieraus konnte festgehalten werden, dass das Vermaschen von nicht-essentiellen Verbrauchern erfolgen darf, sofern die physikalische und funktionale Sicherheit gewährleistet werden. Weiterhin wurde ein erstes Simulationsmodell einer vermaschten Frachtraum- und Küchenfeederarchitektur ausgearbeitet. Dies führte bisher zu einer Gewichtsreduzierung der Stromversorgungsarchitektur von ca. 20%.

Mit dem Matlab-Simulink-Tool wurde eine vermaschte Kabinen- und Frachtraumfeederarchitektur erstellt und gewichtsoptimal ausgelegt. In diesem Model ist die modulare, vertikale Anordnung der Komponenten zu einem vermaschten Gesamtnetz erkennbar. Damit ist nun eine flexible Anpassung der neu erstellten vermaschten Architekturen möglich und somit komplett neue Vermaschungen ausgehend von einem konventionellen Strahlennetz denkbar. Eine zweite Vermaschung innerhalb der neuen Feederarchitektur ist auf der rechten Flugzeugseite zwischen Küchen- und Frachtraumfeeder zu sehen (Abbildung 20: Gewichtsoptimal vermaschte Feederarchitektur oben).

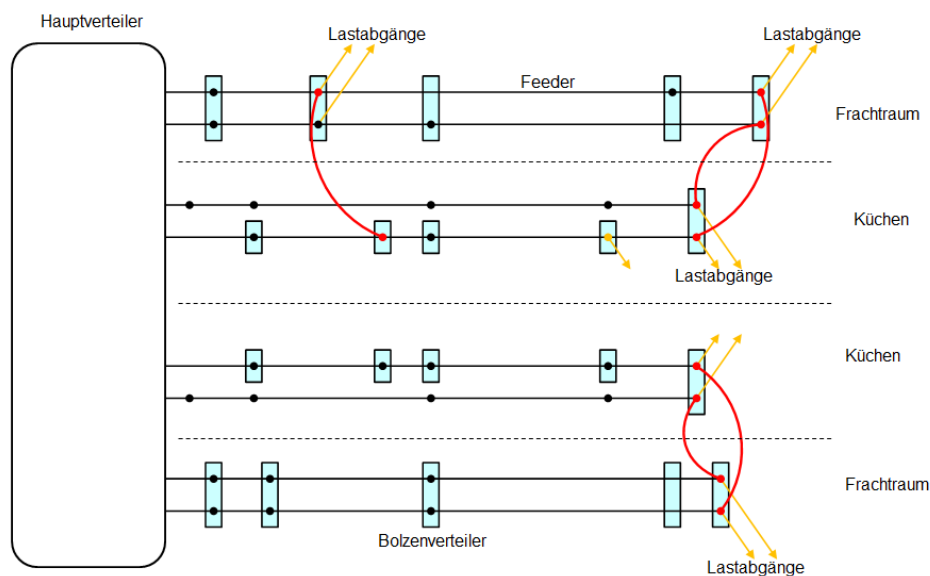


Abbildung 20: Gewichtsoptimal vermaschte Feederarchitektur

Wie aus der Anforderungsanalyse zu entnehmen ist, werden für die vermaschte Kabinen- und Frachtraumfeederarchitektur neue Schutzeinrichtungen benötigt. Im Falle eines Fehlers würden, bei einer Vermaschung von Kabinen- und Frachtraumfeeder, die im Hauptverteiler bestehenden Schutzeinrichtungen auslösen. Somit werden die Kabinen- und Frachtraumfeeder immer paarweise deaktiviert. Um dies zu verhindern müssen an den neu geschaffenen Verbindungsfeeder zwischen Kabinen- und Frachtraum zusätzliche Schutzelemente installiert werden. Dafür wurden verschiedene Schutzelemente betrachtet, u.a.: Überstromschutz-, Differentialschutz und Impedanzschutzeinrichtungen. Die Kriterien für die Auswahl des passenden Schutzelementes waren: Das (n-1)-Kriterium, die Zuverlässigkeit, die Selektivität, die Ausschaltgeschwindigkeit, die Empfindlichkeit, die wirtschaftlichen Aspekte und die Kommunikationsstruktur.

So fand bezogen auf die drei zur Verfügung stehenden Schutzkonzepte eine Bewertung dieser nach den genannten Kriterien statt. In Folge dieses Auswahlverfahrens wurde der Distanz- bzw. der Impedanzschutz ausgewählt und in das Simulationsmodell eingefügt. In einer Standard-Konfiguration wurden die Impedanzschutzelemente an den Knotenpunkten der vermaschten Feederarchitektur angeordnet um im Fehlerfall jeden Leitungsabschnitt separat abtrennen zu können (Abbildung 21: Impedanzschutzeinrichtungen). Für den Funktionsnachweis können innerhalb der Architektur zwischen den Knotenpunkten folgende Fehler eingespeist werden: Offene Leitung, ein einfacher- und dreifacher Kurzschluss. Diese Konfiguration wurde in ihrer Funktion erfolgreich simuliert. Als Alternative dazu wurden in einer „light“-Variante nur die betroffenen Vermaschungsfeeder, welche die elektrische Verbindung zwischen Frachtraum- und Flugzeugkabinenfeeder darstellen, mit den erforderlichen Schutzelementen ausgestattet (Abbildung 22: Alternative Impedanzschutzeinrichtungen). Der Vorteil dieser Schutzarchitektur ist eine einfachere Implementation, jedoch müssen im Fehlerfall der komplette Küchen- bzw. Frachtraumfeederstrang abgeschaltet werden. Beide Schutzarchitekturen wurden erfolgreich simuliert.

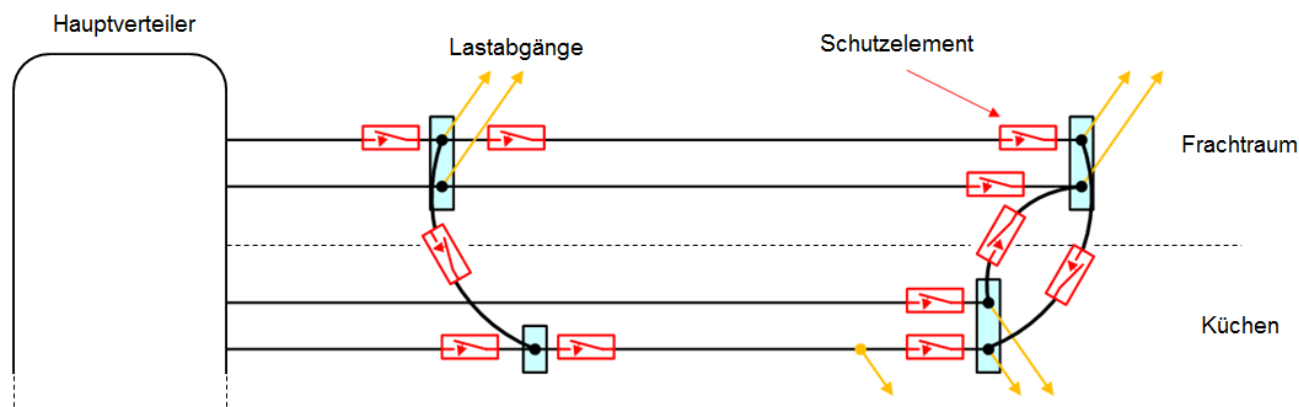


Abbildung 21: Impedanzschutzeinrichtungen

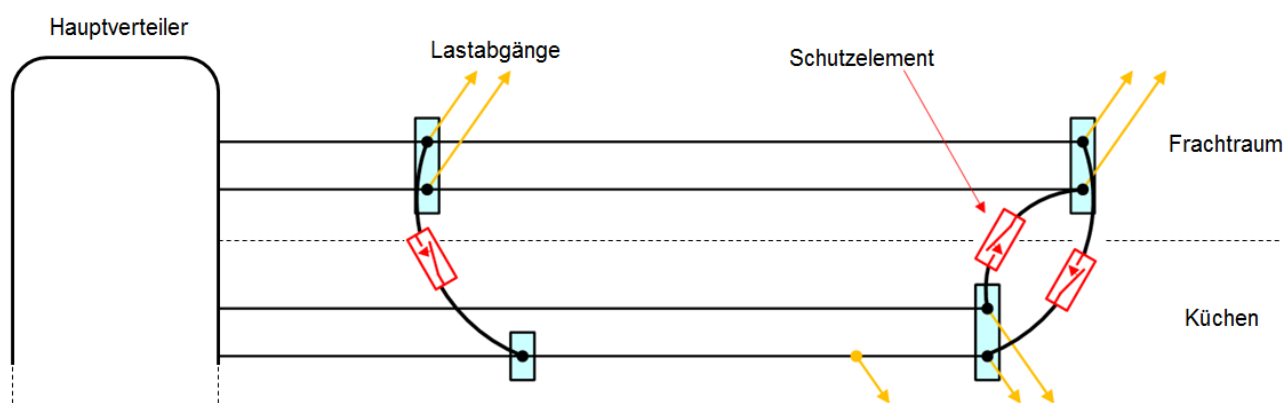


Abbildung 22: Alternative Impedanzschutzeinrichtungen

Ergänzend zum Impedanzschutz, wurde auch die Umsetzung eines Differentialschutzes evaluiert. Der Differentialschutz, wie in Abbildung 23 dargestellt, würde zwischen den Knoten eingesetzt werden. Mikrocontroller basierte Halbleiterschuttschalter bilden eine Kombination aus Maximalstromzeitschutz (UMZ) und Messwerterfassung für den Differentialschutz. Eine zeitliche Synchronisierung könnte über einen Datenbus wie CAN implementiert werden. Die Absicherung der Lastabgänge erfolgt mit der standardisierten SSPC-Schutztechnik.

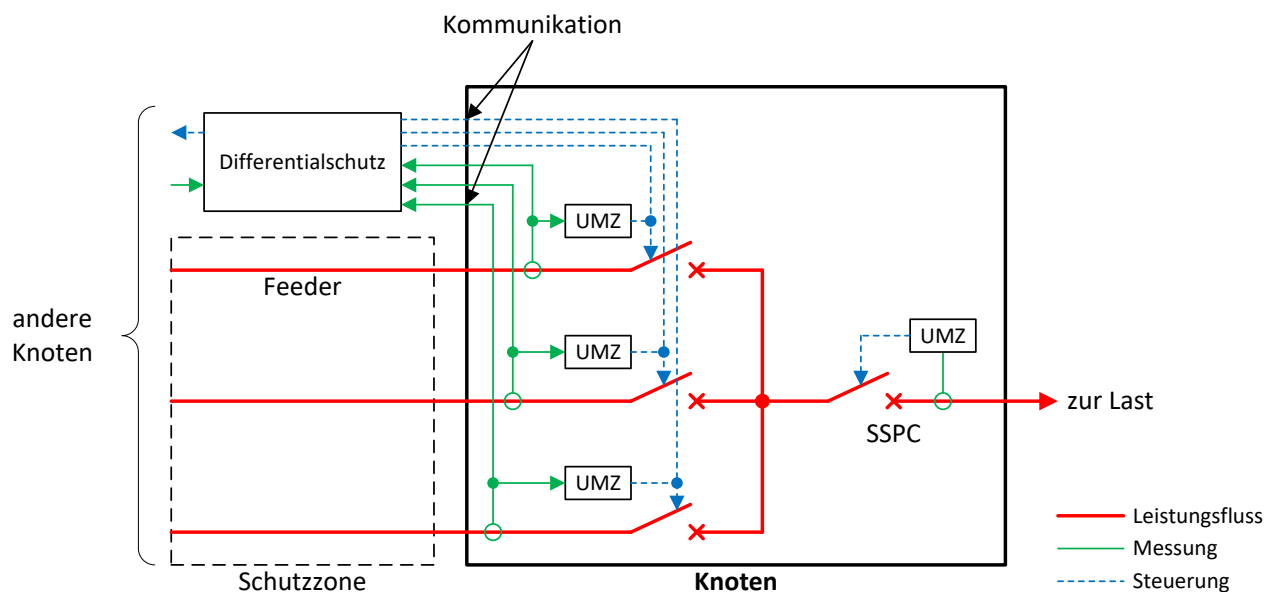


Abbildung 23: Knoten für den Differentialschutz

Ein Vorteil des Differentialschutzes ist die Erkennung von hochohmigen Erdschlüssen in der Schutzzone. Beim Distanzschutz ist die Erkennung komplizierter, da die Leitungen im Flugzeug relativ kurz sind.

Des Weiteren ist zu erwarten, dass die kapazitiven Ableitströme den Schutz weniger beeinflussen als das nicht lineare lastabhängige Kennfeld des Distanzschutzes in einem frequenzvariablen Netz. Nachteil des Differentialschutzes ist, dass mit der Leitung zwischen den Knoten kein Equipment verbunden werden kann. Die Lastanbindung und die Einspeisung von Generatoren sind auf die Knotenpunkte beschränkt. Ein weiterer Vorteil hingegen wäre, dass durch die Anordnung der Messwandler der Lastfluss des Knoten-Netzes bekannt ist. Dies könnte für die Zustandsüberwachung genutzt werden.

Nachfolgend wurden alle drei Schutzkonzepte (Zeitstaffelüberstromschutz, Differentialschutz und Impedanzschutz) in den bisher dargestellten Anwendungsfall einer Vermaschung zwischen Bördküchenfeeder und Cargofeeder untersucht. Begonnen wurde mit dem Zeitstaffelüberstromschutz mit Stromrichtungscharakteristik. Die Nutzung mehrerer Schutzelemente dieser Klasse bedingt eine Zeitstaffelung.

Diese wurde für den Anwendungsfall der vermaschten Bordküchen- und Cargoarchitektur übernommen. Die Schutzelemente wurden zum einen in die zentrale elektrische Energieverteilungseinheit, dem Hauptverteiler, integriert und zum anderen entlang der neuen Feedervermaschung platziert (siehe Abbildung 24). So wurden die Schutzelemente an besonderen

Punkten zwischen den Cargo-, den Bordküchenzonen und im Bereich der bisherigen Feederenden integriert. Generell erfolgt die Zeitstaffelung entlang eines Feederringes beginnend vom Hauptverteiler (0,9 s) mit zeitlicher Abstufung in Richtung des Ringendes zum Hauptverteiler (0,1 s) hin. Mit der zeitlichen Abfolge wird die Anforderung der Selektivität erreicht. Ein Nachteil dieser Schutzarchitektur ist allerdings ein Fehlerfall (z.B. Erdschluss) in der Nähe des Hauptverteilers. Hier würde das Schutzelement im Hauptverteiler erst nach der maximal eingestellten Auslösezeit schalten, hier exemplarisch

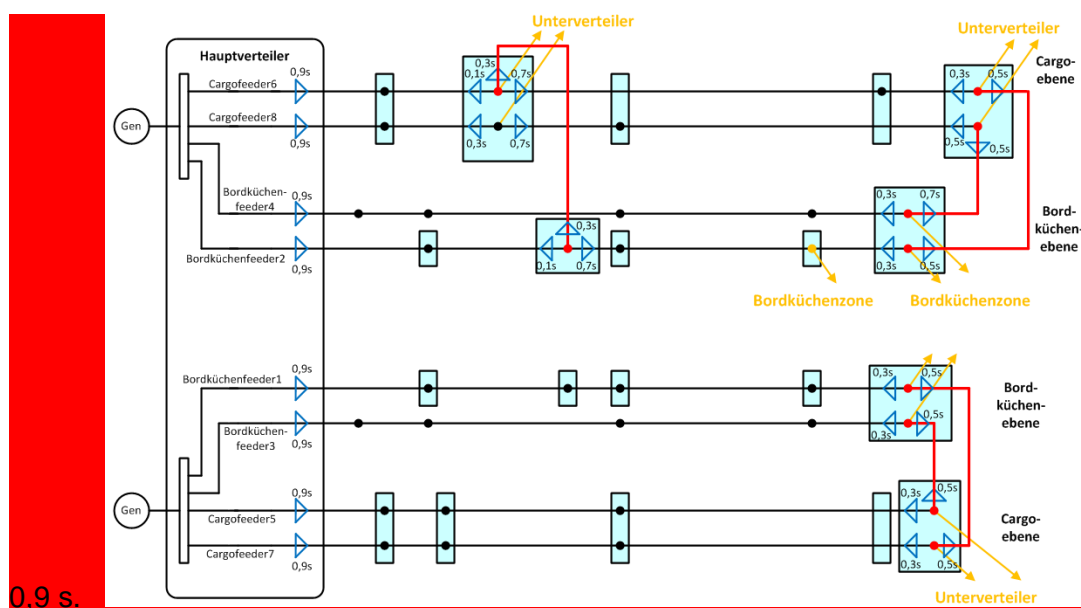


Abbildung 24: Überstromzeitstaffelschutz bei vermaschter Bordküchen-/ Cargoarchitektur

Im nächsten Schritt wurde der Differentialschutz für den Anwendungsfall einer Vermaschung zwischen Bordküchen- und Cargofeeder implementiert. Die allgemeine Funktionsweise eines Differentialschutzes besteht darin an beiden Enden eines zu schützenden elektrischen Leiters elektrische Wandler (Spulen) mit einem Leistungsschalter zu integrieren. Beide Wandler wurden elektrisch über zwei Leitungen miteinander verbunden. Bei normalem Stromfluss durch den zu schützenden Leiter wurden in beiden Wandlern Ströme induziert. Die Stromdifferenz der Wandlermessleitungen darf hierbei nur unterhalb einer eingestellten Schwelle liegen. Idealerweise ist die Summe der Messströme hier gleich null. Im Fehlerfall übersteigt die Stromdifferenz der Wandlermessleitungen die eingestellte Stromschwelle und beide Leistungsschalter lösen an dem jeweiligen Kabelende aus. Dieses Prinzip wurde nun für die vermaschte Bordküchen- und Cargoarchitektur übernommen. Die Schutzelemente werden an den gleichen Positionen wie beim zuvor betrachteten Überstromzeitstaffelschutz eingesetzt. Wie in Abbildung 25 zu sehen fallen die notwendigen Wandlermessleitungen auf. Diese zusätzlichen Leitungen



lassen die Massenbilanz der Schutzelemente negativ auffallen. Da der Differentialschutz zwischen zwei Schutzelementen wirkt, lässt sich die vermaschte Bordküchen- und Cargoarchitektur in sogenannte überlappende Schutzzonen einteilen. So lässt sich feststellen, ob alle Feederabschnitte durch den Differentialschutz geschützt werden. Im Fehlerfall eines Schutzelementes würde das angrenzende Schutzelement die Schutzfunktion des Kabelabschnittes übernehmen und somit das (n-1)-Kriterium erfüllen.

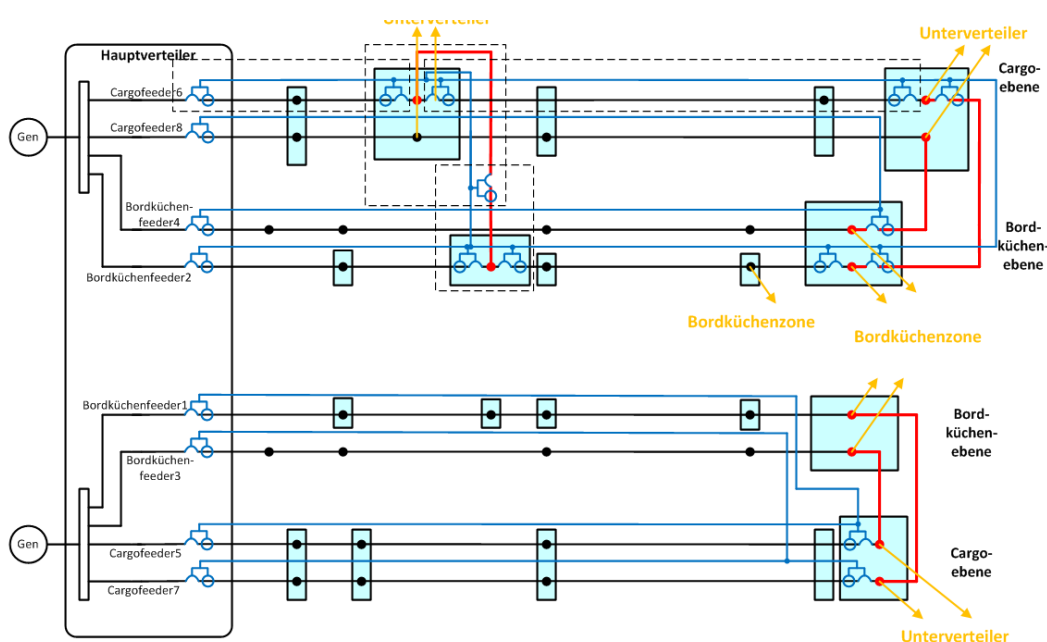


Abbildung 25: Differentialschutz bei vermaschter Galley-/ Cargoarchitektur

Anschließend wurde ein neuartiges, universell nutzbares elektrisches Versorgungskonzept, das Cube-Konzept, erarbeitet. Dieses basiert auf Untersuchungen zu vermaschten Netzen in der elektrischen Kabinenversorgung.

Bei steigenden Bestellmengen und einer möglichst hohen Flexibilität bei der Fertigung sowie bei der Anpassung von Flugzeugen an kundenspezifische Erfordernisse stellen die heutigen Verkabelungskonzepte für Flugzeugkabinen einen hohen Zeit- und Kostenfaktor dar. Deshalb wurde eine universell einsetzbare, flexible, typen-, geometrie- und kundenunabhängige elektrische Struktur angestrebt. Hierbei sollten aktuelle und zukünftige Anforderungen berücksichtigt werden:

- Systematische und einfache Skalierbarkeit innerhalb von Typenausführungen in verschiedenen Rumpflängen
- Übertragbarkeit zwischen verschiedenen Typenausführungen mit unterschiedlichen Rumpfdurchmessern

- Freie Wahl des Lastschwerpunktes und damit grundsätzlich freie Konfigurierbarkeit des elektrischen Kabinennetzes hinsichtlich elektrischer Grundstruktur (Topologie, Abzweige, Secondary Power Distribution Box (SPDB)) sowie freier Konfigurierbarkeit nach Kundenanforderungen
- Hohe elektrische Verfügbarkeit
- Übertragung des Segregationsprinzips in die elektrische Grundstruktur
- Flexible Nutzung von Netzabschnitten nach Konfiguration und Schaltzuständen von Lasten
- Sicherer Netzschutz bei hoher Systemflexibilität
- Möglichkeit zur zukünftigen Integration des elektrischen Systems in Strukturen, z.B. bei Fertigung in 3-D-Drucktechnologie
- Möglichkeit zum flexiblen Anschluss von Verbrauchern auch bei zukünftiger Strukturintegration des elektrischen Systems
- Hohe Übertragbarkeit der Ergebnisse: Möglichkeit zur Übertragung von Zwischenergebnissen des Projekts in laufende Optimierungs- und Redesign-Aktivitäten verschiedener Flugzeugtypen

Die genannten Anforderungen lassen sich durch eine vermaschte Struktur mit einer Kette geometrischer Würfel (Cube-Konzept) am besten erfüllen. Abbildung 26 zeigt den schematischen Aufbau des Cubes. Das Konzept besteht aus aufeinanderfolgenden vertikalen Ebenen. Die Haupt-Feeder bilden die äußeren Längsverbindungen. Die Querverbindungen (Horizontal- und Vertikal-Feeder) vervollständigen eine vertikale Ebene. Die Generatoren sind an der vordersten Ebene und die Lasten nur an den Knoten angeschlossen.

Die Knotenabstände der vertikalen Ebene sind durch die Maße des Flugzeugrumpfes festgelegt, während der Abstand der vertikalen Ebenen zueinander flexibel an die Situation angepasst werden kann, siehe Abbildung 27. Eine Secondary Power Distribution Box (SPDB) bildet einen Knoten. Im Normalzustand sind die Querverbindungen aufgetrennt, so dass ein System mit vier unabhängigen Haupt-Feedern entsteht. Dadurch ist der Kabelquerschnitt der Querverbindungen reduziert. Dies erleichtert den Verkabelungsaufwand während der Fertigung. Das Cube Konzept ist ein hoch flexibles Netzwerk. Es kann die Topologien Maschen-, Ring- oder Strahlennetz annehmen.

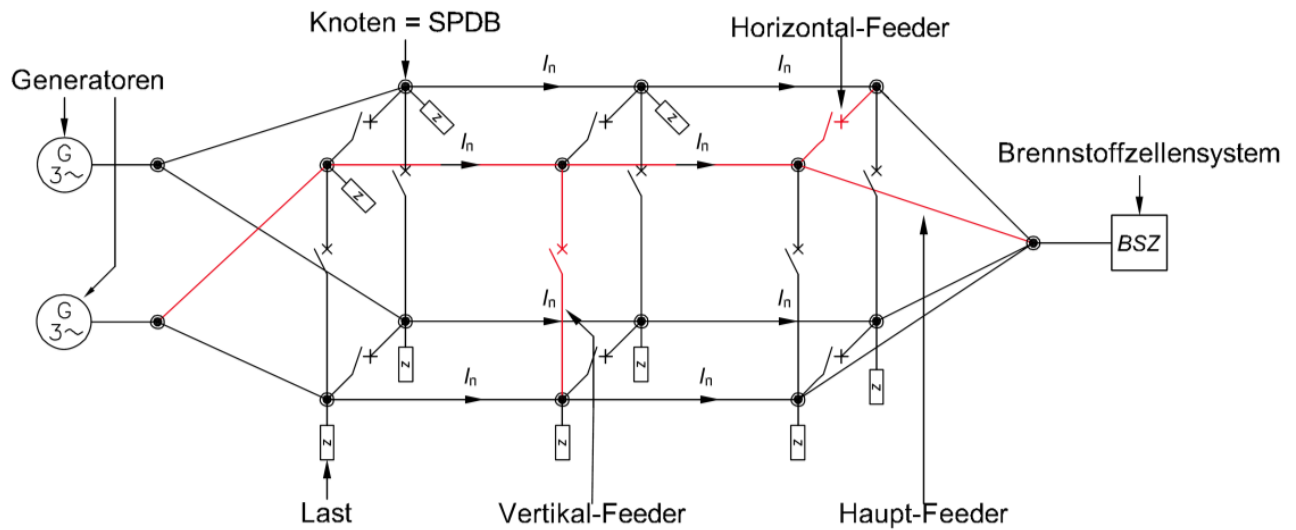


Abbildung 26: Schematische Darstellung des Cube-Konzeptes

Bildet man das Netzwerk mit einem Graphen ab, kann man mit dem Matrix-Gerüst-Satz (oder Satz von Kirchhoff-Trent) die Anzahl der möglichen Spannbäume berechnen. Die Anzahl der Spannbäume entspricht der Anzahl der möglichen Konfigurationen als Strahlennetz. In einem Netzwerk mit 14 Knoten sind 2,559 Millionen Strahlennetzkonfigurationen möglich. Es ist somit ein inhärent redundantes System. Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist, dass kein eigenes Netz zur Absicherung der flugrelevanten Lasten benötigt wird. Ebenso kann das 28 V-DC-Netz durch eine dezentrale Versorgung der 28 V-Lasten ersetzt werden, wenn die Halbleiterschalterschalter in den SPDBs keine externe Spannungsversorgung benötigen. Eine dezentrale Versorgung bietet ein erhebliches Gewichtseinsparpotential.

Die nachfolgende Abbildung zeigt des 3D-Modell mit drei vertikalen Ebenen im Rumpf (links) und die entsprechenden Knotenabstände (rechts).

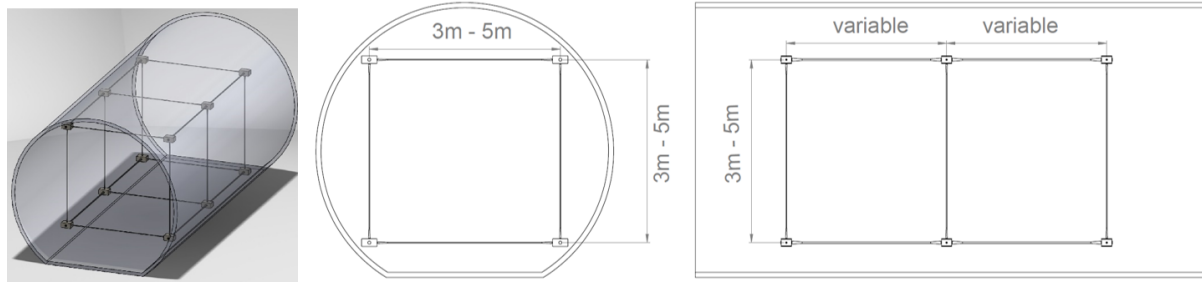


Abbildung 27: 3D-Modell mit drei vertikalen Ebenen im Rumpf

Es bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten die flugrelevanten Lasten zu versorgen. Das Netzwerk kann so konfiguriert werden, dass nur die Knoten mit den flugrelevanten Lasten verbunden sind. Das wäre eine spezielle Strahlennetzkonfiguration innerhalb des Netzwerkes. Alternativ besteht die Möglichkeit, das Netz in einzelne Inselnetze zerfallen zu lassen. Die Netzinseln (Abbildung 28) würden durch lokale Energiespeicher, wie Batterien, Brennstoffzellensysteme (BSZ) oder Supercap-Systeme gepuffert. Durch die beiden Möglichkeiten ergeben sich mehrere Möglichkeiten im Notfall die Energieversorgung aufrechtzuerhalten.

Jedes Notstromsystem bildet bei der Zuverlässigkeitsanalyse ein paralleles System, da sie sich redundant zueinander verhalten. Hat jede Notfallversorgung annähernd die gleiche mittlere Ausfallrate  $\lambda$ , ergeben sich die mittleren Betriebsdauern bis zu einem Fehler (engl. Mean Time to Failure (MTTF) aus der nachfolgenden Tabelle. Es ist zu erkennen, dass im Fehlerfall mit einem Brennstoffzellensystem und einer Batterie fast die dreifache mittlere Betriebsdauer zu erreichen ist.

Die nachfolgende Abbildung zeigt Netzinseln innerhalb des Cube-Konzeptes. Links das Batterie gepuffertes System, rechts ein System, welches über eine Brennstoffzellensystem gepuffert ist.

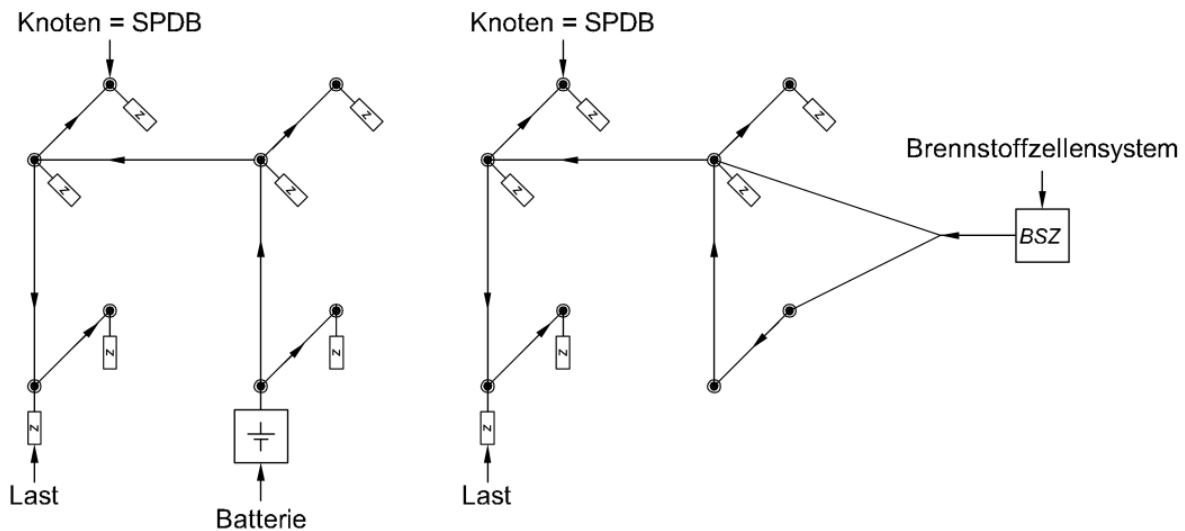


Abbildung 28: Netzinseln innerhalb des Cube-Konzeptes

Aus den unterschiedlichen Netztopologien (Ring-, Strahlen- und Inselnetz) in Kombination mit den verschiedenen Energiequellen (Synchronmaschine, Brennstoffzellen-System, Batterie-System) ergeben sich die folgenden unterschiedlichen Kurzschlussbedingungen:

- Hohe Kurzschlussleistung bei Speisung durch Synchronmaschinen oder Batterie-systeme. Der transiente Kurzschlussstrom kann bis zum zwanzigfachen des Nennstromes ansteigen.
- Geringe Kurzschlussleistung bei Speisung mit Brennstoffzellen-Systemen oder aktiver leistungselektronischer Koppelung durch Wechsel- / Gleichrichter. Hier beträgt das Verhältnis der Kurzschluss- zur Nennleistung 1 bis 1,4.

Ein Schutzsystem muss, demnach in der Lage sein die folgenden Eigenschaften abzubilden:

- Bei Speisung durch Synchronmaschinen kann in einer Strahlennetzkonfiguration der klassische Überstromzeitschutz (ÜSZ) oder der Zeitstaffelschutz (ZSS) angewendet werden. Die Selektivität wird über Zeit- bzw. Stromstaffelung hergestellt.
- In einem vermaschten System muss auf ein Differentialschutzprinzip zurückgegriffen werden, da die Leitungen für ein Distanzschutzverfahren zu kurz und die Betriebsimpedanzen der Flugphasen zu unterschiedlich sind. Der Vorteil der kurzen Leitungen ist, dass die Betriebskapazität zwischen den Messgliedern gering ist. Somit hat der frequenzabhängige kapazitive Ableitstrom keinen Einfluss auf die Schutzanregung.

- Eine Versorgung mit einer Brennstoffzelle hat den Nachteil, dass ein Überstromzeit-schutz oder Zeitstaffelschutz nicht anwendbar ist, weder in einem vermaschten noch in einem Strahlennetz. Die Schutzanregung muss auf der Netzspannung basieren.

Selbstversorgte Schutzschalter bilden die Grundlage eines adaptiven Schutzsystems, dass für das Cube-Konzept notwendig ist. Es wurde ein System aufgebaut und getestet. Abbildung 29 zeigt das Schutzsystem. Es besteht aus einem speziellen Unterspannungsschutz, einer zentralen Steuerlogik und dezentralen Halbleiterschaltaltern. Dieses System ist für die Wechselspannungen 115 V<sub>AC</sub>, 230 V<sub>AC</sub> und für die Gleichspannungen 270 V<sub>DC</sub>, 540 V<sub>DC</sub> geeignet. Die prinzipielle Funktionsweise für verschiedene Fehlerszenarien wurde im Labor nachgewiesen. Jedoch besteht bei den Reaktionszeiten des Systems noch Optimierungsbedarf.

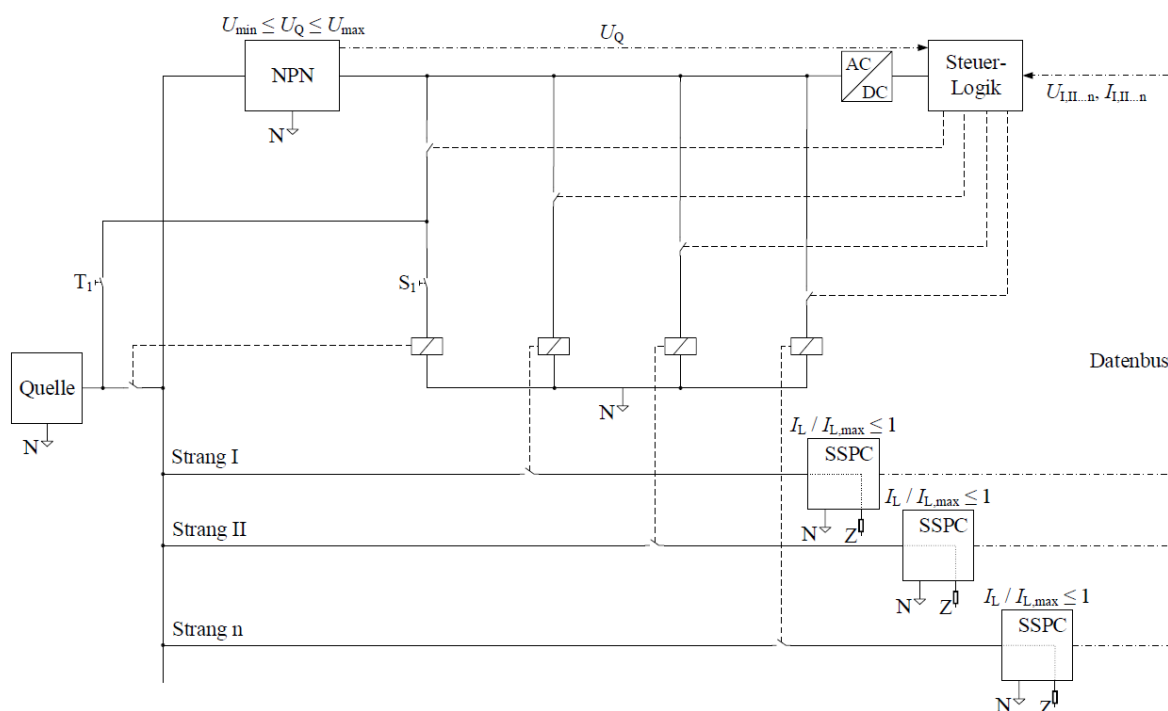


Abbildung 29: Flexibles Schutzsystem zur Absicherung der einzelnen Knoten

Es bestand die Aufgabe, eine neue Topologie für elektrische Kabinennetze zu untersuchen, die für verschiedene Flugzeugtypen nutzbar ist und innerhalb von Typenklassen skaliert werden kann. Für eine hohe Flexibilität bei der elektrischen Systemkonfiguration muss der Lastschwerpunkt frei wählbar bleiben. Die zu untersuchenden Anforderungen betreffen eine hohe elektrische Verfügbarkeit, die flexible Nutzung von Netzabschnitten nach Konfiguration und Schaltzuständen von Lasten sowie den sicheren Netzschutz. Gleichzeitig soll die neue Topologie zur zukünftigen Integration des elektrischen Systems in Strukturen, z.B. bei Fertigung in 3D-Drucktechnologie, geeignet sein. Das Cube-Konzept stellt eine hoch flexible elektrische

Bordnetzstruktur dar. Die variablen Abstände der vertikalen Würfebenen erzeugen ein skalierbares System. Es ist möglich, durch Verdichtung der Würfebenen Lastschwerpunkte zu setzen. Diese Struktur kann ohne hohen Entwicklungsaufwand auf verschiedene Flugzeugtypen übertragen werden, denn die entwicklungsintensiven Teile, wie die SPDB-Knoten mit der enthaltenen Schutz- und Kommunikationstechnik, können standardisiert werden. Lediglich die passiven elektrischen Verbindungsteile müssen auf die Flugzeugtypen angepasst werden. Jedoch kann hier die Integrationsmöglichkeit in die elektrische Struktur mittels zukünftiger 3D-Druck-Verfahren erhebliche Kostenreduktion und eine Beschleunigung der Entwicklungsdauer bringen.

Die hohe Redundanz, bedingt durch die flexible Konfigurierbarkeit und Anbindung von zusätzlichen Energiespeichern, erzeugt ein sicheres Energieversorgungssystem. Die Versorgung flugrelevanter Lasten lässt sich auch beim Ausfall mehrerer Secondary Power Distribution Box Knoten sicherstellen. Ebenso kann die Netztopologie durch Öffnen und Schließen der Solid State Power Controller (SSPC) der horizontalen und vertikalen Feeder an die jeweilige vorherrschende Lastsituation angepasst werden. Dies bietet die Möglichkeit zur Optimierung der Kabelquerschnitte der Haupt-Feeder. Somit ist eine Reduktion der Masse möglich.

Das adaptive Schutzsystem ermöglicht die sichere Integration von Energiequellen mit unterschiedlichem Kurzschlussverhalten in die Versorgung. Durch Bus-Anbindung der SSPC in den SPDBs kann zusätzlich zum Überstromschutz ein dezentrales Differentialschutzsystem erzeugt werden. Somit kann der sichere Betrieb eines vermaschten Netzes gewährleistet werden. Ebenso macht diese Schutztechnik das Cube-Konzept unabhängig von der Spannungsform.

Die zukünftige Integration des elektrischen Cube-Konzeptes in Strukturen, z.B. bei Fertigung in 3D-Drucktechnologie, muss in weitergehenden Untersuchungen bewertet werden. Hierbei sind fachliche Diskussionen zur zukünftigen Versuchs- und Detailplanung von strukturintegrierten elektrischen Systemen erforderlich.

Bei steigenden Bestellmengen und einer möglichst hohen Flexibilität im Bereich der Fertigung sowie bei der Anpassung von Flugzeugen an kundenspezifische Erfordernisse stellen die heutigen Verkabelungskonzepte für Flugzeugkabinen einen hohen Zeit- und Kostenfaktor dar. Deshalb wurde eine universell einsetzbare, flexible, typen-, geometrie- und kundenunabhängige elektrische Struktur angestrebt. Die genannten Anforderungen lassen sich durch eine vermaschte Struktur mit einer Kette geometrischer Würfel (Cube-Konzept) erfüllen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass vermaschte Strukturen für die Stromversorgung in der Kabine

einen sehr hohen Grad an Zuverlässigkeit besitzen und vergleichsweise geringe Leitungsverluste aufweisen.

Die Ergebnisse der Arbeiten zu den vermaschten Netzen haben bei detaillierter Betrachtung des Business Cases jedoch auch gezeigt, dass die Vorteile durch einen erhöhten Aufwand in der Auslegung, der Planung und der Überwachung im Betrieb erkauft werden müssen. Die deutlich höhere Anzahl an Bauteilen wirkt sich nachteilig auf die wiederkehrenden Kosten (RC) und die einmaligen Kosten (NRC) aus. Leider hat sich herausgestellt, dass der Vorteil der höheren Zuverlässigkeit durch vermaschte Strukturen im Flugzeugbau nicht verrechnet werden kann, da die heute angewendeten radialen Netze bereits eine ausreichende Zuverlässigkeit entsprechend der derzeitigen Luftfahrtanforderungen besitzen.

Ergänzend dazu fordern die Zulassungsregularien für Verkehrsflugzeuge, dass kritische Ereignisse nicht von einzelnen Fehlern ausgelöst werden dürfen. Aus diesem Grund wurden die derzeitigen Bordnetze bereits gezielt so entworfen, dass zum einen eine Segregation zwischen Netzabschnitten implementiert ist und dass zum anderen eine hierarchische Topologie dafür sorgt, dass die damit verbundenen vorhersagbare Fehlerpropagation deterministisch unterbunden werden kann.

Als Konsequenz daraus wurden die Arbeiten zu den vermaschten elektrischen Versorgungskonzepten abgeschlossen und die Ergebnisse dokumentiert. Sie stehen für ein zukünftiges Flugzeug mit ggf. neuartigen Power-Architekturen zur Verfügung.



## **7 Veröffentlichungen**

### **7.1 Sonstige Veröffentlichungen**

Innerhalb des Projektzeitraumes erfolgten folgende Veröffentlichungen:

- Terörde, M. ; Grumm, F.; Schulz, D.; Wattar H.; Lemke, J.: Implementation of a Solid-State Power Controller for High-Voltage DC Grids in Aircraft, Power and Energy Student Summit 2015 PESS 2015, Dortmund, 12-14 January 2015

### **7.2 Diplomarbeiten/Studienarbeiten**

Innerhalb des Projektzeitraumes wurden keine Diplom-/Studien-/Bachelor-Arbeiten erstellt.

### **7.3 Erfindungsmeldungen**

Innerhalb des Projektzeitraumes wurden keine Erfindungsmeldungen beantragt.

## 8 Verzeichnisse

### Quellenverzeichnis

- Brombach, J.: Methoden zur Gewichtsreduktion in elektrischen Flugzeugkabinennetzen. Dissertation, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg 2014
- Brombach, J.; Schröter, T.; Lücken, A.; Schulz, D.: Optimizing the Weight of an Aircraft Power Supply System through a +/- 270 VDC Main Voltage, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), PL ISSN 0033-2097, R. 88 NR 1a/2012
- Brombach, J; Lücken, A.; Schulz, D.; Schutzglied mit integriertem Distanzschutz mit einer Echtzeitanpassung der Auslösezeit zur Detektion und Separierung von hochohmigen Fehlern in vermaschten Netzen. Patentanmeldung DE102011115243 A1 (28.03.2013)
- DIN EN 2267 Norm: Luft-und Raumfahrt - Leitungen, elektrisch, für allgemeine Verwendung – Betriebstemperaturen zwischen -55°C und 260 °C. 2003
- W. Doemeland, Handbuch Schutztechnik, Berlin: VDE Verlag GmbH, 2006
- Engmann, K.: Technologie des Flugzeuges. 5. Auflage. Würzburg: Vogel Buchverlag 2009
- T. Fehally und A. J. Forsyth, „A MOSFET based solid-state power controller for aero DC networks,“ in Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014), 7th IET International Conference on, Manchester, 2014
- GHOSH, R., KÖLKER, K. und TEREKHOV, I. Future Passenger Air Traffic Modeling: A theoretical concept to integrate Quality of Travel, Cost of Travel and Capacity Constraints. 19th ATRS World Conference. Singapore, June 2015
- Heuck, F. K.; Dettmann, K.D.; Schulz, D.: Elektrische Energieversorgung. 8. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2013
- D. Izquierdo, A. Barrado, C. Raga, M. Sanz und A. Lázaro, „Protection Devices for Aircraft Electrical Power Distribution Systems: State of the Art,“ IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, pp. 1538-1550, July 2011
- W. J. Hughes, „Solid-State Secondary Power,“ National Technical Information Service (NTIS), Springfield, 2014.

- 
- KÖLKER, K., BIEßLICH, P. und LÜTJENS, K. FoAM - From Passenger Growth to Aircraft Movements. 18th World Conference of the Air-Transport-Research-Society. Bordeaux, France, July 2014
  - Lücken, A.; Kut, T.; Langkowski, H.; Dickmann, S.; Schulz, D.: Concept Analysis of an Electrical Fuel Cell Integration in Modern Aircraft, IEEE 4th International Conference on Clean Electrical Power ICCEP 2013, Renewable Energy Resources Impact, Alghero (Italy), 11-13 June 2013
  - I. Moir und A. Seabridge, Aircraft Systems, Wiley, 2011
  - L. Müller und W. Matla, Selektivschutz elektrischer Anlagen, Frankfurt am Main: VWEW Energieverlag GmbH, 2001
  - C. Meyer, M. Kowal und R. W. De Doncker, „Circuit breaker concepts for future high-power DC-applications,“ in Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), 2005
  - D. Naunin, Einführung in die Netzwerktheorie (Vorlesungsskript), Berlin: Technische Universität Berlin, 2003
  - H. Opperskalski, Verhalten impedanzbestimmender Distanzschutzalgorithmen, Düsseldorf: VDI Verlag, 1991
  - SABRE AIRLINE SOLUTIONS. AIRPORT DATA INTELLIGENCE (ADI) ; [HTTP://WWW.SABREAIRLINESOLUTIONS.COM/HOME/SOFTWARE\\_SOLUTIONS/AIRPORTS](http://www.sabreairlinesolutions.com/home/software_solutions/airports)
  - SCHITTENHELM, Y. Passenger Routing Network in WeCare. DLR-LY interner Bericht, IB-328-2015-49, 2015
  - W. Schossig und R. R. Cichowski, Netzschutztechnik, Frankfurt am Main: VWEW Energieverlag GmbH, 2007
  - Terörde, M.; Jordan, M.; Schulz, D.: Implementation of Multiplex-Switches for Power Feeder Balancing in Aircraft, IEEE 48th Universities' Power Engineering Conference UPEC 2013, Dublin (Irland), 2-6 September 2013
  - WENZEL S., KÖLKER, K., BIEßLICH P., und LÜTJENS K. Approach to Forecast Air Traffic Movements at Capacity-Constrained Airports. Journal of Aircraft, 2015
  - G. Ziegler, Digitaler Differentialschutz: Grundlagen und Anwendungen, Wiley, 2013.

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Projektstruktur SESAM .....	9
Abbildung 2: Projektphasen.....	10
Abbildung 3: Seat Power System .....	16
Abbildung 4: Seat Power System .....	16
Abbildung 5: SPDB Design unter Berücksichtigung des MRP-Gehäusekonzeptes.....	18
Abbildung 6: Miniature Modular Rack Principle (MRP) Type II Gehäusetypen.....	19
Abbildung 7: Vorgehen bei der Definition der Schnittstellen .....	19
Abbildung 8: Vergleich der Architekturvarianten .....	20
Abbildung 9: Gefertigte Kabelbündel .....	21
Abbildung 10: Installation im Cabin and Cargo Teststand.....	22
Abbildung 11: Messgeräte-Aufbau .....	22
Abbildung 12: Ringleitung offen betrieben .....	26
Abbildung 13: Prototyp des DC-SSPC +/-270 V .....	29
Abbildung 14: SPDB-Konfiguration mit wenigen zusätzlichen Schutzelementen .....	30
Abbildung 15: SPDB-Konfiguration mit hoher Anzahl an zusätzlichen SSPCs.....	30
Abbildung 16: Ersatzschaltbild mit Fehler.....	31
Abbildung 17: Vermaschte Netzstruktur für die Frachtraum- u. Küchenstromversorgung .....	33
Abbildung 18: Vereinfachte Netzdarstellung für die Auswirkungsanalyse .....	34
Abbildung 19: Vermaschte Netzstruktur für die Frachtraum- u. Küchenstromversorgung .....	35
Abbildung 20: Gewichtsoptimal vermaschte Feederarchitektur.....	36
Abbildung 21: Impedanzschutzeinrichtungen .....	38
Abbildung 22: Alternative Impedanzschutzeinrichtungen.....	38
Abbildung 23: Knoten für den Differentialschutz .....	39
Abbildung 24: Überstromzeitstaffelschutz bei vermaschter Bordküchen-/ Cargoarchitektur..	40
Abbildung 25: Differentialschutz bei vermaschter Galley-/ Cargoarchitektur .....	41
Abbildung 26: Schematische Darstellung des Cube-Konzeptes .....	43
Abbildung 27: 3D-Modell mit drei vertikalen Ebenen im Rumpf .....	44
Abbildung 28: Netzinseln innerhalb des Cube-Konzeptes .....	45
Abbildung 29: Flexibles Schutzsystem zur Absicherung der einzelnen Knoten.....	46

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht	
3a. Titel des Berichts Schlussbericht / Verbundvorhaben <b>LUFO V-1 SESAM</b> – Smart Energy Storage and Management		
3b. Titel der Publikation Schlussbericht / Verbundvorhaben <b>LUFO V-1 SESAM</b> – Smart Energy Storage and Management		
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Döbertin, Oliver	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.09.2017	
	6. Veröffentlichungsdatum 31.09.2018	
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) Döbertin, Oliver	7. Form der Publikation Schlussbericht	
	9. Ber.Nr. Durchführende Institution	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Airbus Operations GmbH Kreetslag 10 21129 Hamburg	10. Förderkennzeichen 20Y1303B	
	11a. Seitenzahl Bericht 52	
	11b. Seitenzahl Publikation 52	
	12. Literaturangaben 0	
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin	14. Tabellen 0	
	15. Abbildungen 29	
	16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Projektträger Luftfahrtforschung und -technologie		
18. Kurzfassung Im Verbundvorhaben LuFo V-1 SESAM „Smart Energy Systems And Management“ wurden Ansätze für ein effizientes Energie-Management und die Kappung von Leistungsspitzen untersucht. So sollte die gleichzeitige Nutzung von Stromkabeln zur Datenübertragung für ein AC-Netz, für ein DC- und erstmals auch ein HVDC-Netz realisiert werden. Verbunden damit sollten die HVDC-Bordnetze und Power Grids, gespeist aus mehreren Energiequellen, konzeptionell auf ihre Eignung als Kabinenbordnetz, und auf ihre Auswirkung auf die Flughafeninfrastruktur (Ground Power) untersucht werden. Im Verbund mit der Firma Diehl hat die Airbus Operations GmbH als Partner unter dem Thema „Kombiniertes Power- und Datennetzwerk“ die Power Line Kommunikation (PLC) am Beispiel des Seat Power Supply Systems erarbeitet und aufgebaut. In diesem Projekt wurden weiterhin gemeinsame Energie- und Datennetzstrukturen für Kabinen- und Frachtraumkomponenten für die DAL-Level B bis E des Cabin Core Systems erarbeitet.		
19. Schlagwörter Energy Management, Kabinenarchitekturen, Luftfahrtforschung		
20. Verlag	21. Preis	

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report
3a. Report Title Closure Report / Compound project <b>LUFO V-1 SESAM</b> – Smart Energy Storage and Management	
3b. Title of Publication Closure Report / Compound project <b>LUFO V-1 SESAM</b> – Smart Energy Storage and Management	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Döbertin, Oliver	5. End of Project 31.09.2017
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Döbertin, Oliver	6. Publication Date 31.09.2018
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Airbus Operations GmbH Kreetslag 10 21129 Hamburg	7. Form of Publication Final Report
13. Sponsoring Agency (Name, Address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 20Y1303B
	11a. No. of Pages Report 52
	11b. No. of Pages Publication 52
	12. No. of References 0
	14. No. of Tables 0
	15. No. of Figures 29
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Projektträger Luftfahrtforschung und -technologie	
18. Abstract Within the compound project LuFo V-1 SESAM „Smart Energy Systems and Management“ approaches for an efficient energy management and a cutting of peak performances were examined. So the simultaneous usage of power cables for data transmission could be realized for an AC-power net, for a DC-power net and for the first time also a HVDC-power net. The HVDC-Power Systems and Power Grids, fed from several energy sources, were examined regarding their usability as cabin electrical system and their impacts for the airport infrastructure (Ground Power). The company Diehl Aerospace Systems and Airbus Operation GmbH developed a Power-Line-Communication for the Seat Power Supply System. Additionally Cabin Core System energy and data network structures for cabin and cargo components (DAL level B to E) were compiled.	
19. Keywords Energy Management, Cabin Architectures, Aviation Research	
20. Publisher	21. Price