



DiProPax!

Digitale und sichere Prozesse in der Kabine
für den Passagier und die Besatzung

Teilvorhaben: Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine

Schlussbericht

Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für Flugzeug-Kabinensysteme

Prof. Dr. Ralf God

Neßpriel 5

21129 Hamburg

Tel.: +49 (40) 42878 – 8293

E-Mail: ralf.god@tuhh.de

URL: www.tuhh.de/fks



Förderkennzeichen (FKZ): 20K1302A

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2014 – 30.06.2017

Berichtszeitraum: 01.01.2014 – 30.06.2017

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms V, Erster Programmaufruf 2014 - 2017 (LuFo V-1) gefördert.



Hamburg, Oktober 2017

Projektleitung

Prof. Dr. Ralf God

Projektbearbeitung

Dipl.-Ing. Thorsten Kiehl



DiProPax!

Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine

gefördert vom:



Verbundführer des Vorhabens: Technische Universität Hamburg-Harburg,
Institut für Flugzeug-Kabinensysteme

Partner des Verbundes: KID-Systeme GmbH
NXP Semiconductors Germany GmbH
Technische Universität Hamburg-Harburg,
Institut für Flugzeug-Kabinensysteme
Telit Wireless Solutions GmbH
(vormals Stollmann Entwicklungs- und Vertriebs-GmbH)

Dieser Abschlussbericht entstand unter Mitarbeit und mit Beiträgen von:

Prof. Dr. Ralf God	TUHH, Institut für Flugzeug-Kabinensysteme
Dipl.-Ing. Thorsten Kiehl	TUHH, Institut für Flugzeug-Kabinensysteme
M.Sc. Jan Philip Speichert	TUHH, Institut für Flugzeug-Kabinensysteme
M.Sc. Cemal Nalbantoğlu	TUHH, Institut für Flugzeug-Kabinensysteme
Sandrina Backhaus	Studentin an der TUHH
Mathias Seele	Student an der HAW
Ethan Higgins	Student an der Embry-Riddle Aeronautical University



Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] God, Ralf; Kiehl, Thorsten	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2017	
	6. Veröffentlichungsdatum Oktober 2017	
	7. Form der Publikation Broschüre	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, Neßpiel 5, 21129 Hamburg	9. Ber. Nr. durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 20K1302A	
	11. Seitenzahl 74	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 11019 Berlin	13. Literaturangaben 60	
	14. Tabellen 4	
	15. Abbildungen 54	
16. Zusätzliche Angaben Das Teilvorhaben „Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine“ wurde im Rahmen des Gesamtvorhabens „DiProPax! - Digitale und sichere Prozesse in der Kabine für den Passagier und die Besatzung“ durchgeführt.		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Die Kabine als zentrales Element der Flugreise wird bis heute mit Informationstechnologie nur zurückhaltend ausgestattet und ist nur ungenügend mit anderen digitalisierten Prozessen am Boden verknüpft und harmonisiert. Darunter leiden Effizienz, Zuverlässigkeit und Komfort des Gesamtsystems - ein Effekt, der sich bei höheren Transportleistungen noch verstärken, oder schlichtweg zu einem Begrenzungsfaktor werden kann. Ein Kabinenmanagementsystem der nächsten Generation mit NFC-Schnittstellen wird beim verfolgten Lösungsansatz durch Modellierung der komplexen Prozesse des Gesamtsystems spezifiziert u. entworfen. Durch Nutzung semi-formaler Sprachen wird ein IKT-Systemmodell der Kabine geschaffen, welches beliebig ausbau- u. detaillierbar ist. NFC-Funktionen lassen sich in dieser Umgebung exemplarisch testen. Es wird eine aktuelle informationstechnische Ausstattung erreicht, welche digitale und sichere Transaktionen unterstützt und harmonisiert. Mit den neuen NFC-Schnittstellen ergibt sich für die Flugzeugkabine eine zu den Vorgaben von IATA und SITA am Boden anschlussfähige Gesamtsystemfähigkeit.		
19. Schlagwörter Kabinenmanagementsystem, cyber-physische Systeme, NFC, Smart Card, Smartphone, PAX-Services		
20. Verlag	21. Preis	



Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of document (e.g. report, publication) Final report	
3. Titel Specification and validation of digital and secure processes in the cabin		
4. Author(s) (family name, first name(s)) God, Ralf; Kiehl, Thorsten	5. End of project 30.06.2017	6. Publication date October 2017
	7. Form of publication Brochure	
	8. Performing organization(s) (name, address) Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, Neßpiel 5, 21129 Hamburg	
12. Sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 11019 Berlin	9. Originator's report no.	
	10. Reference no. 20K1302A	
	11. No. of pages 74	
12. Sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 11019 Berlin	13. No. of references 60	
	14. No. of tables 4	
	15. No. of figures 54	
16. Supplementary notes The sub-project "Specification and Validation of Digital and Safe Processes in the Aircraft Cabin" has been conducted within the scope of the overall project "DiProPax! - Digital and Safe Processes in the Aircraft Cabin for the Passenger and the Crew".		
17. Presented at (title, place, date)		
18. Abstract The aircraft cabin as a central element of the air travel is, until today, modestly equipped with information technology and insufficiently combined and harmonized with other digitized processes on the ground. This reduces the efficiency, reliability and comfort of the entire system - an effect which can even increase at higher transport flow-rates, or simply evolve to a limiting factor. In the presented approach a next-generation cabin management system with NFC interfaces is specified and designed by modeling the complex processes of the overall system. Through the use of semi-formal languages, an ICT system model of the cabin is created, which can be arbitrarily expanded or particularized. NFC functions can be tested in this environment. Up-to-date information technology equipment is provided, which supports and harmonizes digital and secure transactions. With the new NFC interfaces in the aircraft cabin, an overall system capability can be achieved, which is compatible with the on ground specifications of IATA and SITA.		
19. Keywords Cabin Management System, cyber-physical Systems, NFC, Smart Card, Smartphone, PAX-Services		
20. Publisher	21. Price	



Inhaltsverzeichnis

KURZDARSTELLUNG	6
1 Aufgabenstellung	6
2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	7
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	8
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	11
4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die benutzt wurden	11
4.2 Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste	12
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
EINGEHENDE DARSTELLUNG	14
6 Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse im Einzelnen und Gegenüberstellung der Ziele	14
6.1 Vorgegebene Ziele	14
6.2 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen	18
6.2.1 AP 1.1: Anwendungsfälle für NFC in der Kabine.....	18
6.2.2 AP 1.3: Nicht-funktionale Anforderungen	24
6.2.3 AP 1.4: Anforderungsmodell für NFC-Schnittstellen in der Kabine	27
6.2.4 AP 2.1: Funktionaler Entwurf Kabinenmanagementsystem mit NFC.....	31
6.2.5 AP 2.2: Architekturentwurf.....	34
6.2.6 AP 2.4: Schnittstellenintegration.....	40
6.2.7 AP 3.3: Aufbau und Integration NFC am Passagiersitz	48
6.2.8 AP 3.4: Demonstration und Test.....	52
6.2.9 AP 3.5: Integrierter Forschungsdemonstrator für Tür-zu-Tür-Prozesse.....	56
6.3 Zusammenfassende Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen	60
7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	63
8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	63
9 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	64
10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen ..	65
11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	67
Literaturverzeichnis	69
Abbildungsverzeichnis	72
Tabellenverzeichnis	74



KURZDARSTELLUNG

1 Aufgabenstellung

Ziel des Gesamtvorhabens DiProPax! war die erstmalige Integration von moderner Nahfeldkommunikation (NFC) in das Kabinenmanagementsystem. Diese kontaktlose Schnittstelle für sichere Transaktionen und gesicherte Kommunikation bietet für Benutzer eine neue Form der intuitiven Bedienung und physischen Interaktion. An Flughäfen ist diese Technologie von IATA¹ und SITA² als Wegbereiter für das digitale Reisen bereits festgelegt worden und eine Nutzung von NFC in der Flugzeugkabine ermöglicht harmonisierte und weitestgehend automatisierte Tür-zu-Tür-Prozesse. Der aktuelle Trend, private Geräte überall zu verwenden („Bring your own device, BYOD“), sollte dabei unterstützt werden. Gleichzeitig sollte die Sicherheit und der Komfort für die Passagiere und die Besatzung erhöht werden.

Für die Flugzeugkabine sollte dazu einerseits der prospektiv erwartete Nutzen formuliert und andererseits die spezifischen Anforderungen für das System Flugzeug, für die das Flugzeug betreibende Fluggesellschaft und ihre Mitarbeiter (Besatzung und Wartungspersonal) und für den reisenden Passagier berücksichtigt werden. Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es, für den reisenden Passagier, aber auch für alle anderen Stakeholder im Umfeld der Flugzeugkabine eine Plattform zu integrieren, mit der Service- und Betriebsprozesse verbessert werden können. Insbesondere sollte für die Fluggesellschaft und den Passagier eine durchgängige Service-Prozesskette entworfen werden, welche neuartige *Self-Service*-Dienstleistungen nicht nur am Flughafen, sondern erstmals auch in der Flugzeugkabine zulässt. Die Risiken und Chancen, die sich aus dem BYOD-Trend ergeben, sollten für *Portable Electronic Devices* (PED) der Passagiere, aber vor allem auch für PEDs der Besatzung und des Wartungspersonals, berücksichtigt werden.

Im Teilvorhaben des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) sollte dazu eine Modellierung des Gesamtsystems mittels der semi-formalen Sprache *Systems Modeling Language* (SysML) eine modellbasierte Prozess- und Systemspezifikation durchgeführt werden. Die Anforderungen der Service- und Betriebsprozesse sollten, ergänzt um die parallel ablaufenden Sicherheitsprozesse, modellbasiert erfasst werden, um so eine umfassende Betrachtung aller Anforderungen zu ermöglichen. Hierzu zählten neben funktionalen Anforderungen und Kundenanforderungen auch nicht-funktionale Anforderungen, die sich unter anderem aus der Verwendung einer neuartigen Funkschnittstelle im Flugzeug ergeben haben. Eine umfassende Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) der NFC-Technologie sollte dabei zeigen, ob ein Betrieb dieser Funkschnittstelle allen Sicherheits- und Betriebsanforderungen in einer Flugzeugumgebung genügt und eine Verwendung damit überhaupt möglich ist.

Hierauf basierend sollte ein Gesamtsystem entworfen werden, welches ein harmonisiertes Sicherheits- und Servicekonzept für den gesamten Reiseverlauf ermöglicht. Ein prototypischer Aufbau des Gesamtsystems, welches insbesondere eine prototypische Integration und Nutzung eines digitalen

¹ International Air Transport Association

² SITA S.C.: IT-Unternehmen, welches für die Luftfahrt Datenverarbeitungs- und Kommunikationsdienste anbietet



Prozessschlüssels (eID) beinhaltet, sollte diese Modellierung validieren. Diese durchgängige Lösung für Passagiere und die Besatzung sollte im Rahmen von Tür-zu-Tür Prozessketten ihre volle Wirkung entfalten und gleichzeitig zu mehr Sicherheit beitragen. Der Demonstrator soll im TechCenter des Hamburger PPP³-Projekt „Zentrum für angewandte Luftfahrtforschung“ einer breiten Öffentlichkeit dauerhaft zugänglich sein und als integrale Forschungsplattform für weiterführende Forschung über das Projekt hinaus zur Verfügung stehen. Mit dieser Forschungsplattform lassen sich dann auch zukünftig Szenarien des digital unterstützten Lufttransports optimal untersuchen sowie regionale, nationale und europäische Ziele in der domänenübergreifenden Forschung verfolgen.

2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Der vom ACARE⁴ veröffentlichte „Flightpath 2050“ stellt unter „Meeting Societal & Market Needs“ die Flugreise als Herzstück einer integrierten und nahtlosen Tür-zu-Tür-Prozesskette dar. In der Kabine treffen heute modernste mobile Passagiergeräte und Kabinensysteme, die weit in der Vergangenheit entwickelt und zertifiziert wurden, aufeinander. Für eine passagierfreundliche Kabine und für effiziente, harmonisierte und digital unterstützte Geschäftsprozesse erhält die IT-Ausstattung daher einen sehr hohen Stellenwert. Allerdings ist die Kabine als zentrales Element der Flugreise bis heute informationstechnisch einfach ausgestattet und nur ungenügend mit anderen digitalisierten Prozessen am Boden verknüpft und harmonisiert. Darunter leiden Effizienz, Sicherheit und Komfort des Gesamtsystems - ein Effekt, der sich bei höheren Transportleistungen noch verstärken, oder schlichtweg zu einem Begrenzungsfaktor werden kann.

Dabei hat in den letzten Jahren verstärkt drahtlose Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in die Flugzeugkabine Einzug gehalten. So wurden z.B. von der Firma Airbus Operations GmbH mit ihrer Tochter KID-Systeme GmbH und weiteren Partnern WLAN⁵- und GSM⁶/UMTS⁷-Systeme für Internet und Mobiltelefonie entwickelt und erfolgreich zugelassen, um dem Passagier in der Flugzeugkabine drahtlose Schnittstellen zur Verfügung stellen zu können (vgl. Abbildung 1).

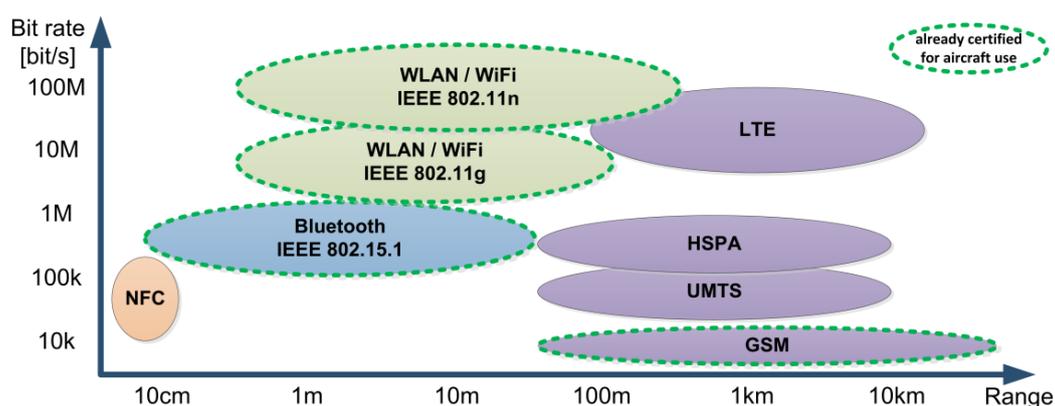


Abbildung 1: Vergleich von drahtlosen Kommunikationstechnologien in der Flugzeug-Kabine [KG13]

³ Public-Private Partnership

⁴ Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe

⁵ Wireless Local Area Network

⁶ Global System for Mobile Communications

⁷ Universal Mobile Telecommunications System



WLAN und GSM in der Flugzeugkabine sind aber in der Handhabung nur begrenzt sicher und komfortabel und können nur eingeschränkt eine geeignete Lösung für sichere Transaktionen und gesicherte Kommunikation bieten. Unter den kontaktlosen Technologien nimmt der neue Kommunikationsstandard NFC eine besondere Stellung ein, weil damit eine kryptographische Kommunikation und sichere Transaktionsprozesse auf Basis einer Authentifizierung realisierbar sind. Dies wird künftig bei nahezu allen Prozessen, bei denen Menschen an Bord des Flugzeugs mit dem Flugzeug und dessen Besatzung interagieren, eine wichtige Rolle spielen. Am Boden wird NFC heute z.B. bereits beim *eTicketing*, elektronischen Bezahlen, zur Initiierung von gesicherten Breitbandverbindungen (z.B. Bluetooth, WLAN) und beim Zugangs- bzw. Zutrittsmanagement (bei Systemen bzw. Bereichen) genutzt. Aktuelle Smartphones und Tablet-PCs sind aus diesem Grunde auch immer häufiger mit einer NFC-Schnittstelle ausgestattet und diese Technologie wurde bereits frühzeitig an Flughäfen von IATA und SITA als Wegbereiter für das digitale Reisen festgelegt [Int10].

NFC basiert auf der in der Luftfahrt bereits vielfach genutzten RFID⁸-Technologie, allerdings darf diese bislang nicht aktiv während des Fluges betrieben werden. Im Vergleich zu den genutzten Technologien findet die Kommunikation in einem stark abweichenden Frequenzband statt und basiert auf einer induktiven Kopplung. Hieraus ergeben sich in Verbindung mit den potentiell vielfach parallel sendenden Geräten neue Herausforderungen an die EMV im Flugzeug.

Durch Nutzung semi-formaler Sprachen und eines modellbasierten Entwurfs des Gesamtsystems kann ein IKT-Systemmodell der relevanten Kabinenumgebung geschaffen werden, welches beliebig ausbau- und detaillierbar ist. Ein solches Modell kann in eine ausführbare Simulation transformiert werden, in welche die entworfene Hardware-, Software- und Datenbankfunktionalität integriert sein kann. Auf diese Weise wird es möglich, die im Projekt geplanten Technologiedemonstratoren in der Kabine unter realen Bedingungen zu testen, ohne dass die komplette und kostspielige Architektur des Gesamtsystems vorhanden sein muss. Eine solche „ausführbare Spezifikation“ mit integrierter Hardware- und Softwarefunktionalität stellt gleichzeitig ein wertvolles Produkt zur anschließenden Verbreitung, Integration und Entwicklung der geschaffenen Lösung dar. Auch NFC-Funktionen lassen sich in dieser Umgebung bei beliebigem Detaillierungsgrad hervorragend testen. Somit wird eine aktuelle informationstechnische Ausstattung erreicht, welche digitale Prozesse und sichere Transaktionen unterstützt und zu den am Boden bereits etablierten Verfahren harmonisiert ist. Mit den neuen NFC-Schnittstellen ergibt sich für die Flugzeugkabine auch eine zu den Vorgaben von IATA und SITA kompatible Gesamtsystemfähigkeit.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war zunächst auf eine Bearbeitungszeit von insgesamt 36 Monaten ausgelegt und innerhalb dieses Zeitstrahls in drei übergeordnete Hauptarbeitspakete [(HAP 1) Integriertes Anforderungsmodell für die Kabine und deren Systemumfeld, (HAP 2) Systementwurf und (HAP 3) Integration / Demonstration und Test] unterteilt. Wie in Abbildung 2 dargestellt, wurden die Hauptarbeitspakete im Sinne des *Simultaneous* bzw. *Concurrent Engineering* zeitlich nacheinander begonnen, jedoch miteinander überlappend und im Verlauf auch parallel durchgeführt.

⁸ Radio Frequency Identification

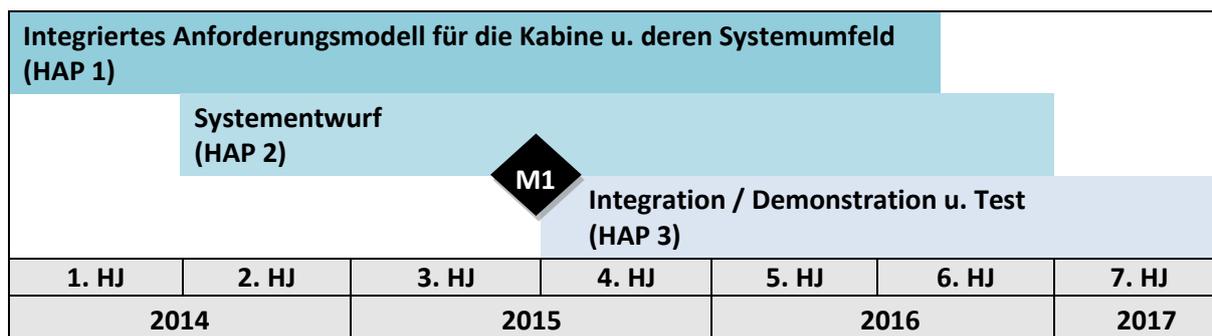


Abbildung 2: Zeitplanung im Projekt und Abfolge der Hauptarbeitspakete HAP 1 bis HAP 3

Die drei Hauptarbeitspakete beinhalteten dabei insgesamt 12 Arbeitspakete (AP). Während der Bearbeitung des Vorhabens hat sich eine Möglichkeit zur Erhöhung der Projektreichweite ergeben. Im Zuge dieser Ausweitung und Aufstockung des Projektes verlängerte sich die Bearbeitungszeit des Vorhabens von ursprünglich 36 Monaten jedoch nur um sechs Monate auf insgesamt 42 Monate, was größtenteils der Nicht-Bezugsfähigkeit des Labors für den Forschungsdemonstrator geschuldet war. Zur Ausweitung der Arbeiten wurde ein zusätzliches Arbeitspaket 3.5 innerhalb des HAP 3 definiert, in dem die zusätzlichen Aktivitäten und Aufwände gebündelt wurden. Abbildung 3 gibt einen Überblick über den finalen Arbeitsplan des DiProPax!-Projektes nach erfolgter Aufstockung zur Erhöhung der Projektreichweite:

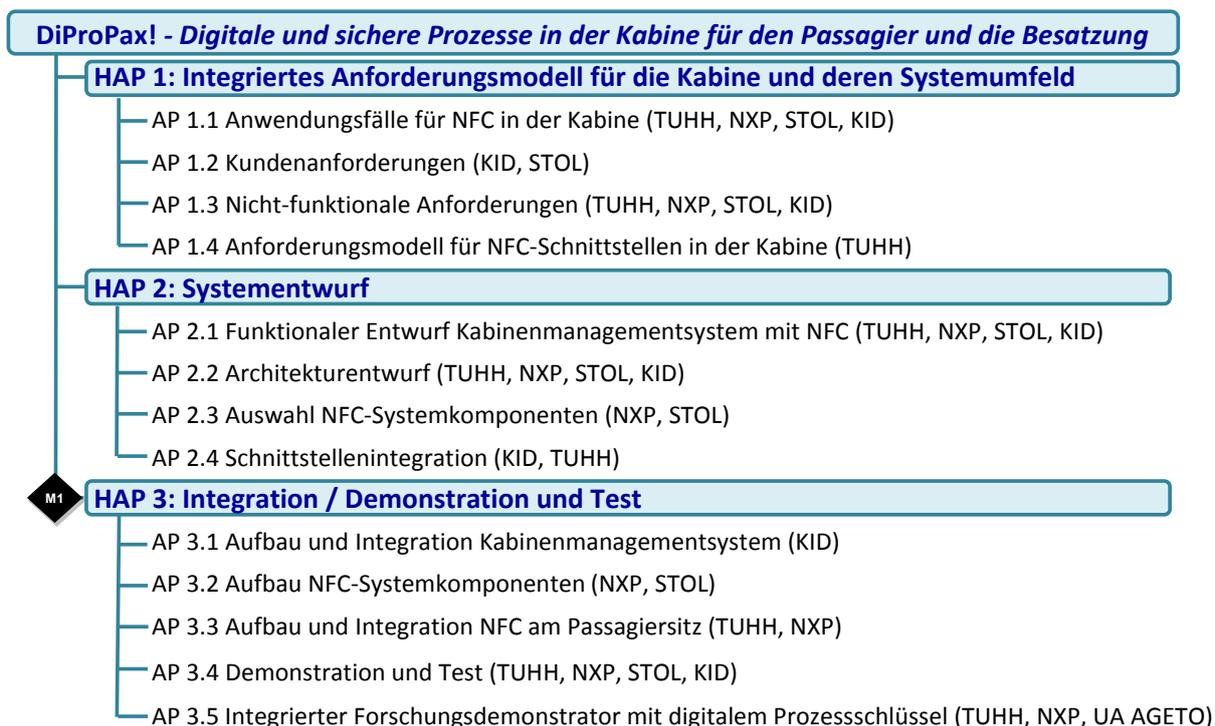


Abbildung 3: DiProPax!-Projektplan nach Erhöhung der Projektreichweite

Das TUHH-Institut für Flugzeug-Kabinensysteme war als Verbundführer für die Koordination des Gesamtvorhabens DiProPax! verantwortlich und arbeitete im Projekt bei neun von zwölf Arbeitspaketen (vergl. Abbildung 3) mit einem Arbeitsumfang von insgesamt 66 Projektmonaten mit. Die Mitarbeit des Instituts an den einzelnen Arbeitspaketen wird im Teil „Eingehende Darstellung“ des Schlussberichts beschrieben.



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



Nach der Skizzen- und Antragsbewilligungsphase (März bis August 2013) erfolgte nach Bewilligung des Vorhabens am 09. Dezember 2013 dann pünktlich am 01. Januar 2014 der Projektstart. Aufgrund der räumlichen Nähe der Projektpartner in der Metropolregion Hamburg wurde zur Integration der sehr unterschiedlichen Expertisen der Partner und zur Nutzung von Synergieeffekten eine enge und agile Zusammenarbeit vereinbart. Im Zuge der voranschreitenden Bearbeitung des HAP 1 und dem Beginn der Bearbeitung der Arbeitspakete innerhalb des HAP 2 zeigte sich recht frühzeitig, dass für die umfassende Ausarbeitung der harmonisierten Tür-zu-Tür-Prozesse die Einbindung weiterer Expertise in das Gesamtvorhaben sinnvoll erschien. Bei einem Konsortialtreffen mit dem Projektträger am 09. April 2015, bei dem die bislang im Projekt erzielten Arbeitsergebnisse hinsichtlich der Definition von Anwendungsfällen, Nutzungsszenarien und Anforderungen sowie des Architektorentwurfs vorgestellt wurden, wurde daher eine mögliche Einbindung der Firma AGETO Service GmbH in das Projekt erörtert. Nachdem es hierfür seitens des Projektträgers positive Rückmeldungen gab, reichte die TUHH am 23. Juni 2015 einen entsprechenden Aufstockungsantrag offiziell ein. Eine Einbindung der Firma AGETO Service GmbH in das Vorhaben DiProPax! konnte durch die Erteilung eines Unterauftrages seitens der Firma NXP Semiconductors Germany GmbH erreicht werden. Durch die am 25. August 2015 durch das BMWi bewilligte Aufstockung des Teilvorhabens der TUHH ergaben sich für die zweite Projekthälfte (Juli 2015 bis Projektende) Änderungen in der Arbeits- und Kostenplanung. Der Projektplan wurde zur Erhöhung der Projektreichweite in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner NXP um das zusätzliche Arbeitspaket 3.5 „Integrierter Forschungsdemonstrator für Tür-zu-Tür-Prozesse“ ergänzt, wodurch sich folgerichtig auch der Kostenplan der TUHH erhöhte.

Zwischenzeitlich konnte der im Projektmonat 18 geplante Meilenstein M1 fristgerecht und vollumfänglich erreicht werden. Gemeinsam mit allen Projektpartnern wurde bei einem Konsortialtreffen am 6. Juli 2015 die erfolgreiche Erreichung aller zuvor definierten Kriterien überprüft, so dass anschließend die Bearbeitung des HAP 3 „Integration / Demonstration und Test“ freigegeben werden konnte. Allerdings verzögerte sich die Bezugsfertigkeit in das ZAL TechCenter und damit auch die Inbetriebnahme der dortigen Laborflächen auf Grund von zunächst fehlender Infrastruktur bis in den Frühsommer 2016. Dieses hatte direkte Auswirkungen auf die Arbeitspakete innerhalb des HAP 3, da somit eine vollständige Umsetzung bzw. Installation des erweiterten Demonstrators aus AP 3.5 und eine Präsentation des vollständigen Projektumfangs bis zum Ende des Jahres 2016 (d.h. bis zum ursprünglich geplanten Projektende) nicht mehr realisierbar war. Aus diesem Grund wurde am 01. September 2016 beim Projektträger ein Antrag auf eine kostenneutrale Projektverlängerung bis zum 30. Juni 2017 beantragt. Diese wurde am 24. Oktober 2016 seitens des BMWi bewilligt, wodurch sich eine Verschiebung der Arbeits- und Zeitplanung für die Arbeitspakete 3.4 und 3.5 in das erste Halbjahr 2017 ergeben haben.

Beim Projekt-Abschlusstreffen am 13. Juni 2017 im Hamburger TechCenter des ZAL konnten dann alle Projektpartner über ihre erreichten Projektziele und Ergebnisse gegenüber dem Projektträger berichten. Dabei wurden zunächst die durchgeführten Arbeiten in den jeweiligen Teilarbeitspaketen dargestellt und auf die insgesamt guten Verwertungsperspektiven eingegangen. Im zweiten Teil des Treffens konnten die Projektergebnisse direkt am integrierten DiProPax!-Forschungsdemonstrator vorgeführt und ausprobiert werden. Anhand der dort aufgebauten Architektur konnte jeder Projektpartner seine geplante Verwertung der Ergebnisse darstellen. Anschließend wurde in einer gemeinsamen Runde der erfolgreiche Projektabschluss seitens der Projektpartner und auch des Projektträgers festgestellt.



4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die benutzt wurden

Wenn man eine Anforderungsanalyse für den Einsatz Informations- und Kommunikationstechnologie in der Flugzeugkabine durchführt, so kann man die Anforderungen grundsätzlich den drei Interessengruppen Flugzeughersteller, Fluggesellschaft und Passagier zuordnen. Erfolgreiche Innovationen basieren in der Praxis sehr häufig auf einer Kombination aus aktuellen Marktanforderungen und einer Lösungspolitik, die sich an verfügbaren Technologien orientiert. Kontaktlose Smart-Card-Technologie, RFID und NFC sind solche Technologien, die bei Anwendungen am Boden bereits erprobt und verbreitet sind. Durch Integration in die Kabine würde eine von Passagieren und Fluggesellschaften geforderte, nahtlose Anschlussfähigkeit zu den am Boden vorhandenen Infrastrukturen erreicht werden [GK14]. Für eine weiterreichende Nutzenbetrachtung ist es entscheidend, dass eine solche Lösung in der Kabine als ganzheitliche Plattform für alle drei Interessengruppen verstanden wird. Da die Anforderungen und Sicherheitsstandards für Flugzeughersteller, Fluggesellschaft und Passagier sehr unterschiedlich sind, existiert zur Integration und Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie ein so genanntes Flugzeug-Domänenmodell mit der *Aircraft Control Domain* (ACD), der *Airline Information Services Domain* (AISD), der *Passenger Information & Entertainment Services Domain* und der *Passenger Owned Devices Domain* (PODD) (vgl. Abbildung 4).

Network Characteristics	Aircraft Control	Airline Information Services	Passenger Information & Entertainment Services	Passenger Owned Devices
Functional Objectives				
Primary Objective	Safety of flight "Fly the Airplane"	Airline Operations (business) "Operate the Airplane, Operate the Airline"	Passenger entertainment Passenger business services	Passenger Services
General Mission	Airplane Command and Control (embedded airplane functions, ATC/AOC com)	Airplane Support (maintenance, performance data, etc.) Airline Operational Support (airline business functions, AAC)	Passenger entertainment (airline service to passengers; interface, support & transport for Passenger PED)	Passenger private activity and airline service to passengers Note: networks of passenger devices are not covered

Abbildung 4: Flugzeug-Domänenmodell mit zugeordneten Funktionen [ARINC-664P5]

Der im Vorhaben geplante Funktionsdemonstrator wurde so entworfen, dass er gemäß dieser Architekturdefinition für IKT in Flugzeugen für alle drei oben genannten Interessengruppen eingesetzt werden kann. Technologie- und sicherheitstechnisch wurde auf die bekannten NFC-Standards zurückgegriffen. Die Sammlung und Analyse dieser Standards war die Aufgabe von AP 1.3 innerhalb des HAP 1.



4.2 Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

Für die Recherche von Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen Dritter wurde das elektronische Dokumentenarchiv DEPATISnet⁹ des Deutschen Patent- und Markenamtes (DPMA) sowie das elektronische Patentregister¹⁰ des Europäischen Patentamts (EPO) verwendet. Für die Recherche sonstiger Publikationen Dritter wurden allgemeine Internetrecherchen genutzt. Die jährlich in Hamburg stattfindende Leitmesse für die Flugzeugkabine *Aircraft Interior Expo (AIX)* diente zusätzlich als Informationsquelle für aktuelle Entwicklungen von Luftfahrtzulieferern und *Inflight-Entertainment*-Herstellern. Wissenschaftliche Fachliteratur wurde über den digitalen Bibliotheksservice der Technischen Universität Hamburg-Harburg recherchiert.

Eine Aufstellung der gesamten verwendeten Fachliteratur findet sich im Literaturverzeichnis dieses Abschlussberichtes.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Als Konsortialführer oblag dem Institut für Flugzeug-Kabinensysteme die Koordination des Gesamtverbundes und es erfolgte organisatorisch und inhaltlich eine intensive Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern. Für die Zusammenarbeit im Verbund wesentliche bzw. zentrale Treffen fanden dabei auf Grund der geographischen Lage überwiegend an der TUHH wie folgt statt:

24.02.2014	<i>Projekt Kick-off-Treffen in Hamburg</i>
18.03.2014	<i>Arbeitstreffen HAP 1</i>
29.04.2014	<i>Konsortialtreffen</i>
09.10.2014	<i>Arbeitstreffen HAP 1 und Beginn von HAP 2</i>
23.01.2015	<i>Konsortialtreffen</i>
19.03.2015	<i>Arbeitstreffen HAP 2</i>
09.04.2015	<i>Konsortialtreffen mit Projektträger</i>
06.07.2015	<i>Meilensteintreffen im Projektmonat 18 – Freigabe und Beginn von HAP 3</i>
13.10.2015	<i>Arbeitstreffen HAP 2 und HAP 3 / Einbindung Unterauftragnehmer</i>
24.11.2015	<i>Konsortialtreffen</i>
26.01.2016	<i>Arbeitstreffen HAP 3</i>
11.10.2016	<i>Konsortialtreffen</i>
09.02.2017	<i>Konsortialtreffen mit Projektträger</i>
13.06.2017	<i>Formales Projekt-Abschlusstreffen im ZAL mit Demonstration aller Projektergebnisse</i>

Weitere, für das Teilvorhaben wichtige, bilaterale Arbeits- und Abstimmungstreffen werden im detaillierten Bericht genannt und beschrieben.

Für das Gesamtvorhaben bedeutsam waren die Projektaufstockung zur Erhöhung der Projektreichweite im August 2015 und die damit verbundene Einbindung des NXP-Unterauftragnehmers AGETO Service GmbH. Somit konnten zur Zielerreichung neben dem Technologielieferanten NXP

⁹ <https://www.dpma.de/recherche/depatinet/>

¹⁰ <https://register.epo.org/>



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



Semiconductors Germany GmbH mit seinem Unterauftragnehmer AGETO Service GmbH, dem Technologielieferanten Stollman Entwicklungs- und Vertriebs-GmbH (ab 2016 Telit Wireless Solutions GmbH) auch der Systemhersteller KID-Systeme GmbH (einer Tochtergesellschaft der Airbus Operations GmbH) und das Hochschulinstitut der TUHH zusammen arbeiten. In dieser Zusammenstellung der Projektpartner konnte das gesamte Umfeld entlang der Wertschöpfungskette mit unterschiedlichen Arbeitsschwerpunkten abgedeckt werden, wodurch die Voraussetzungen für eine spätere Industrialisierung und Verbreitung sichergestellt werden konnten. Essentielle Ergebnisse im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit der verwendeten Funktechnologie und im Bereich der elektronischen ID wurden erst durch die Förderung des Vorhabens DiProPax! und der damit verbundenen Zusammenarbeit dieser bislang teilweise sehr luftfahrt-fernen Unternehmen ermöglicht.



EINGEHENDE DARSTELLUNG

6 Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse im Einzelnen und Gegenüberstellung der Ziele

6.1 Vorgegebene Ziele

Im Teilvorhaben des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme der TU Hamburg-Harburg (TUHH) war ein erstes spezifisches Arbeitsziel die modellbasierte Spezifikation des Gesamtsystems auf Basis der semi-formalen Sprachen UML¹¹/SysML¹². Dazu sollten funktionale Anforderungen und Kundenanforderungen anhand von Anwendungsfällen gemeinsam mit dem Systemhersteller KID-Systeme GmbH ermittelt und analysiert werden. Nicht-funktionale Anforderungen aus Bauvorschriften und speziell Anforderungen an die EMV¹³ der verwendeten NFC¹⁴-Technologie sollten ebenfalls umfassend berücksichtigt werden. Alle Anforderungen sollten anschließend in Funktionen übersetzt und letztendlich als ausführbare Spezifikation abgebildet werden. Diese Methodik sollte den Systementwurfsprozess mit modernen Modellierungswerkzeugen unterstützen und ein ausführliches und konsistentes Prozess- und Systemmodell für den Einsatz von NFC-Technologie in der Kabine liefern, welches mit der Schnittstelle Flughafen harmonisiert. Eingaben zur Funktionalität und den Schnittstellen der NFC-Subsysteme sollte die TUHH von den Technologielieferanten NXP Semiconductors Germany GmbH und Stollmann Entwicklungs- und Vertriebs-GmbH erhalten. Das modellierte System sollte schließlich gegenüber den Anforderungen des Systemherstellers KID-Systeme GmbH verifiziert werden können.

Ein weiteres Arbeitsziel der TUHH sollte der Systementwurf in Form eines *Rapid-Prototyping*-Ansatzes sein, der es erlaubt, in Form von Hard- und Software vorhandene Systemkomponenten so in die Modelle zu integrieren, dass eine Simulation des Gesamtsystems bereits während des Systementwurfs möglich wird. Auf diese Weise sollte es gelingen, das im Projekt prototypisch zu realisierende Gesamtsystem im Rahmen des Projektbudgets ausführlich zu simulieren und zu testen, ohne es real ausentwickeln und implementieren zu müssen. Gleichzeitig sollte dieser Ansatz den im Projekt beabsichtigten Aufbau eines Demonstrators unterstützen.

Ein drittes Arbeitsziel der TUHH im Projekt sollte der Aufbau eines Demonstrators zur Präsentation der erzielten Projektergebnisse und zu deren Validierung gegenüber möglichen Nutzern sein. Dabei war geplant, diesen Demonstrator als Infrastruktur im TechCenter des Hamburger Zentrums für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) aufzubauen, anhand derer sich die für die Kabine entworfene NFC-Plattform bezüglich ihrer technischen Gestaltung und ihres Einsatzes in ausgewählten Prozessen demonstrieren lässt. Das ZAL TechCenter sollte während der Projektlaufzeit neu errichtet werden, um die Forschung und Entwicklung der Luftfahrtindustrie am Standort in Hamburg-Finkenwerder unter einem Dach zusammenzuführen und die wissenschaftliche und technische Zusammenarbeit in der Metropolregion zu stärken. Der Demonstrator sollte in großen Teilen real in Hard- und Software

¹¹ Unified Modeling Language

¹² Systems Modeling Language

¹³ Elektromagnetische Verträglichkeit

¹⁴ Near Field Communication



aufgebaut und mit einem institutseigenen A380-Kabinenmanagementsystem (A380 CIDS¹⁵) und weiteren Demonstratoren kombiniert werden, um Tür-zu-Tür-Prozesse durchgängig darstellen und simulieren zu können. Diese so errichtete Forschungsplattform, die langfristig etabliert und betrieben werden kann, sollte im ZAL TechCenter einer breiten Öffentlichkeit dauerhaft zugänglich sein sowie für weiterführende Forschung zur Verfügung stehen. Auf diesem Wege sollte eine bessere Sichtbarkeit und Nutzung der in der Forschung erzielten Ergebnisse erreicht werden.

Für die Arbeitspakete im Projekt wurden folgende Inhalte und Ziele definiert:

AP 0: Projektkoordination und internes Projektmanagement

Ressourcen: ohne Abrechnung der Personenmonate, **Zeitraum:** 42 Monate

Das TUHH-Institut für Flugzeug-Kabinensysteme sollte die Gesamtkoordination des Forschungsvorhabens DiProPax! übernehmen. Dazu gehörten neben der Organisation von Projekt- und Arbeitstreffen auch die Bereitstellung einer Kollaborationsplattform unter *Microsoft SharePoint* und die Außendarstellung des Verbundes. Weiterhin sollten auch die Organisation der formalen Aufgaben der Projektpartner gegenüber dem Projektträger sowie vor- und nachbereitende Arbeiten für das Gesamtvorhaben von der TUHH erledigt werden. Das Projekt sollte im kalkulierten Zeit- und Budgetrahmen abgewickelt werden, so dass die festgelegten Projektergebnisse und der Meilenstein erreicht wurden und am Ende des Vorhabens die Basis für eine spätere wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung geschaffen wurde.

(HAP 1) Integriertes Anforderungsmodell für die Kabine und deren Systemumfeld

AP 1.1: Anwendungsfälle für NFC in der Kabine

Ressourcen: 6 Personenmonate, **Zeitraum:** 30 Monate

Ziel dieses Teilarbeitspaketes der TUHH war die Aufnahme von Service- und Betriebsprozessen aller Stakeholder in der Flugzeugkabine. Diese Prozesse sollten von der TUHH modellbasiert mittels semi-formaler Sprachen (z.B. SysML) erfasst werden und daraus gemeinsam mit den Projektpartnern Anwendungsfälle für NFC in der Kabine identifiziert, analysiert und letztendlich modelliert werden. Zusätzlich sollten Anwendungsfälle, die heutzutage für Fluggesellschaften besonders wichtige *Self-Service*-Dienstleistungen und *Ancillary Revenue Services* ermöglichen, definiert werden. Dazu sollte die TUHH die für das Arbeitspaket notwendige Modellierungsplattform zur Verfügung stellen und die Erhebung der der Anwendungsfälle koordinieren.

AP 1.3: Nicht-funktionale Anforderungen

Ressourcen: 7 Personenmonate, **Zeitraum:** 24 Monate

Um einen zielgerichteten Systementwurf in HAP 2 zu ermöglichen, sollten in diesem Teilarbeitspaket der TUHH das Systemmodell um nicht-funktionale Anforderungen erweitert werden. Durch die Erfassung von Bauvorschriften, Standards und Gesetzen sowohl aus der Luftfahrt aber auch aus Bereichen, in denen NFC bereits eingesetzt wird (z.B. *NFC Forum* Standards und Anforderungen des Kartenzahlungsverkehrs), sollten auch die Einschränkungen des Systems vollständig berücksichtigt werden. Dabei sollte eine strukturierte Modellierung mittels semi-formaler Sprachen und die Definition von Modell-Bibliotheken dafür sorgen, dass eine hohe Weiterverwendbarkeit insbesondere dieser Arbeitspaket-Ergebnisse über das Projekt hinaus für den modellbasierten Systementwurf anderer Kabinensysteme gegeben ist.

¹⁵ Cabin Intercommunication Data System, Bezeichnung für das Kabinenmanagementsystem der Firma Airbus



AP 1.4: Anforderungsmodell für NFC-Schnittstellen in der Kabine

Ressourcen: 7 Personenmonate, **Zeitraum:** 24 Monate

Ziel dieses Arbeitspaketes, welches von der TUHH allein bearbeitet werden sollte, ist die besondere Berücksichtigung der Anforderungen, die sich durch den Einsatz einer neuen Funktechnologie in der Flugzeugkabine ergeben. Hierbei sollten vor allem Anforderungen an die EMV und die sichere Nutzung des Systems während des Fluges berücksichtigt werden und etwaige Prüfverfahren ausgewählt bzw. erarbeitet werden. Auch Sicherheitsaspekte, die sich aus der Einbindung von Passagiergeräten in das Kabinensystem ergeben, sollten schwerpunktmäßig untersucht werden.

(HAP 2) Systementwurf

AP 2.1: Funktionaler Entwurf Kabinenmanagementsystem mit NFC

Ressourcen: 5 Personenmonate, **Zeitraum:** 18 Monate

Ziel dieses Teilarbeitspaketes der TUHH war die Erweiterung des Modells aus HAP 1 um einen funktionalen Entwurf des NFC-Gesamtsystems. In Zusammenarbeit mit Stollmann und NXP sollten dazu für die jeweiligen Anforderungen an das System entsprechende Systemfunktionen definiert werden. Eine vollständige Nachvollziehbarkeit in diesem Entwurfsschritt sollte sich dabei durch die durchgehende Modellierung des Systems ergeben haben, so dass eine Validierung und Verifikation des funktionalen Entwurfs erheblich erleichtert wurde.

AP 2.2: Architekturentwurf

Ressourcen: 5 Personenmonate, **Zeitraum:** 18 Monate

Der modellbasierte Architekturentwurf des Gesamtsystems, aus dem die einzelnen Systembausteine erkennbar sind, sollte das Ziel dieses Teilarbeitspaketes der TUHH sein. Dabei sollten Simulationen einzelner Komponenten und der Kommunikation untereinander erstmalig die Funktionen des Gesamtsystems anschaulich zeigen. Das so erstellte Systemmodell sollte gegen das Umgebungsmodell getestet werden können und somit auch ein erster Nachweis der Harmonisierung mit externen Systemen und IKT¹⁶-Prozessen möglich sein. Das in diesem AP erstellte Architekturmodell mit den Simulationen der Komponenten und Schnittstellen sollte auch die Basis für den Systemdemonstrator in HAP 3 darstellen.

AP 2.4: Schnittstellenintegration

Ressourcen: 10 Personenmonate, **Zeitraum:** 15 Monate

Ziel dieses Teilarbeitspaketes der TUHH sollte die Integration der NFC-Schnittstelle am Flugzeugsitz sein. Hierzu sollten in Absprache mit der KID-Systeme mögliche Einbauorte für die NFC-Schnittstelle ermittelt und diese u.a. nach ihren Eigenschaften bezüglich Nutzbarkeit, Komfort, Platz- und Gewichtsbedarf und Qualität der Funkkommunikation bewertet werden. Nachdem die NFC-Schnittstelle am Flugzeugsitz integriert worden ist, sollten Messungen und Simulationen zur EMV durchgeführt und die Ergebnisse mit den Anforderungen aus AP 1.4. verglichen werden. Das Optimierungspotential durch Veränderung insbesondere des mechanischen Aufbaus der Schnittstelle sollte dabei für die Einhaltung der EMV-Grenzwerte bestmöglich genutzt werden, so dass ein späterer Betrieb der NFC-Schnittstelle realistisch ist.

(HAP 3) Integration / Demonstration und Test

¹⁶ Informations- und Kommunikationstechnologie



AP 3.3: Aufbau und Integration NFC am Passagiersitz

Ressourcen: 8 Personenmonate, **Zeitraum:** 12 Monate

Im Teilarbeitspaket 3.3 der TUHH sollte der prototypische Aufbau einer NFC-Schnittstelle am Passagiersitz erfolgen, die entsprechend der zuvor erhobenen mechanischen und praktischen Anforderungen und Komponentenspezifikationen direkt in die Sitze der Passagiere integriert werden sollte. Hierzu sollten die zu beschaffenden Komponenten NFC-Reader, Bluetooth-Reader, Touchscreen und *Embedded PC* sinnvoll für eine möglichst komfortable und vielseitige Mensch-Maschine-Schnittstelle in die Sitzreihen verbaut und verkabelt werden. Ergebnisse aus AP 3.2 sollten direkt in den Aufbau übernommen werden, um dann in Zusammenarbeit mit NXP die Kommunikation zwischen einer typischen Hostapplikation und einem Authentisierungssystem lokal testen zu können. Erste einfache Applikationen sollten für die PEDs und den Sitz-Controller (*Embedded PC*) entwickelt werden, um beispielhaft vielseitige Passagierprozesse darstellen zu können.

AP 3.4: Demonstration und Test

Ressourcen: 12 Personenmonate, **Zeitraum:** 9 Monate

Ziel dieses Teilarbeitspaketes der TUHH sollte neben der koordinativen Aufgabe bei der Integration der einzelnen Komponenten vor allem auch die Bereitstellung einer vollständigen Systemumgebung sein. Das Gesamtsystem sollte dabei als Demonstrator und Testplattform im neu errichteten TechCenter des ZAL aufgebaut werden. Hierzu sollten die Einzelergebnisse aus den APs-Nr. 3.1, 3.2 und 3.3 von der TUHH mechanisch zu einem entworfenen NFC-Gesamtsystems in der Flugzeugkabine zusammengeführt werden, so dass eine Demonstration des Systems für die verschiedenen Stakeholder durchgeführt werden kann. Systemkomponenten, die nicht in Hardware realisiert wurden, und die Systemumgebung sollten basierend auf dem Prozessmodell aus HAP 1 simuliert werden. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern sollte dann so nach und nach ein vollständiger NFC-Simulator aufgebaut und getestet werden. Das funktionierende Gesamtsystem mit einem TRL von mindestens 4 sollte anschließend von einem Expertengremium validiert und potentiellen Kunden im Rahmen eines Workshops in Zusammenarbeit mit der KID-Systeme vorgestellt werden.

AP 3.5: Integrierter Forschungsdemonstrator für Tür-zu-Tür-Prozesse

Ressourcen: 11,5 Personenmonate, **Zeitraum:** 18 Monate

Das durch die Erhöhung der Projektreichweite später hinzugefügte Teilarbeitspaket der TUHH sollte Tür-zu-Tür-Prozessketten abbilden und dabei auch die wichtige Nahtstelle der Flugzeugkabine zum Flughafen und dessen Umfeld zugänglich machen. Aus zurückliegenden Forschungsvorhaben (z.B. LuFo V-3 SIMKAB [HG13]) und TUHH-internen Projekten waren am Institut für Flugzeug-Kabinensysteme diverse Demonstratoren zum Kabinenmanagementsystem und digital unterstützten und sicheren Prozessen in der Kabine bereits als Einzelelemente vorhanden. Diese Einzelelemente sollen mit dem im Vorhaben geplanten Demonstrator für die Nutzung von NFC-Schnittstellen in der Kabine zu einem erweiterten Forschungsdemonstrator am ZAL TechCenter in Finkenwerder zusammengeführt und integriert werden. Hierzu sollte das am Institut vorhandene A380-Kabinenmanagementsystem zusätzlich um einen Flugzeugserver, genannt Head-End Server Unit (HESU), ergänzt werden, auf dem die im Projekt angestrebten Applikationen und weitere Dienste für am Flughafen und in der Kabine ablaufende Prozesse beherbergt werden können. Eine leistungsfähige Stromversorgung an den einzelnen Flugzeugsitzen sollte weiterhin die optimale Nutzung der mobilen Passagiergeräte ermöglichen und gleichzeitig die in den Sitzen verbauten aktiven NFC-Reader versorgen. Die so geschaffene integrale Forschungsplattform für Kabinen- und Tür-zu-Tür-Prozesse sollte unter Verwendung eines digitalen Prozessschlüssels (eID) eine durchgängige Lösung für Passagiere und die



Besatzung schaffen, die einer breiten Öffentlichkeit dauerhaft zugänglich sein und für weiterführende Forschung über das Vorhaben DiProPax! hinaus zur Verfügung stehen wird

Alle hier dargestellten wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele des Teilvorhabens „Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine“ des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme decken den Bedarf nach handhabbaren Methoden und Werkzeugen zum Entwurf, zur Implementierung und zur Integration von durchgängigen Prozessen und Sicherheitslösungen innerhalb der Flugzeugkabine und im gesamten Lufttransportsystem.

6.2 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Die Zuwendung umfasste Mittel für die Beschäftigung von wissenschaftlichen Mitarbeitern zur inhaltlichen Bearbeitung des Vorhabens, für Investitionen und für Gegenstände zum Aufbau der integralen Forschungsplattform für Tür-zu-Tür-Prozesse sowie mobile Workstations und Software-Lizenzen zur Durchführung der Modellierungsaufgaben durch die Mitarbeiter.

Personaltechnisch erfolgte die inhaltliche Bearbeitung des Teilvorhabens im Zeitraum von Februar 2014 bis Mitte November 2014 sowie vom April 2016 bis zum Ende der Projektlaufzeit durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter (eine ganze Stelle E13 TV-L). Im Zeitraum von Mitte November 2014 bis März 2017 waren sogar zwei wissenschaftliche Mitarbeiter (zwei ganze Stellen E13 TV-L) mit der Bearbeitung des Projektes beschäftigt. Eine studentische Hilfskraft unterstützte bei der Durchführung der EMV-Messungen und beim Aufbau des Demonstrators im Zeitraum vom November 2015 bis August 2016 mit einem Aufwand von 80 Stunden im Monat die wissenschaftlichen Mitarbeiter.

Für den Aufbau des integrierten Forschungsdemonstrators für Tür-zu-Tür-Prozesse wurden als Investition im Projekt ein Flugzeugserver (HESU) und die dafür notwendigen Schnittstellenwandler sowie ein *In-Seat Power-System* angeschafft. Für die umfangreichen EMV-Messungen der NFC-Technologie mussten weiterhin ein NFC-Messsystem, bestehend aus Sende- und Empfangs-Rahmenantennen und einem Messverstärker, HF¹⁷-Absorbermaterial und entsprechende mobile Endgeräte beschafft werden. Für die modellbasierte Systementwicklung, u.a. auch vor Ort bei den Projektpartnern, flossen weitere Investitionsmittel in zwei mobile Workstations der wissenschaftlichen Mitarbeiter und in die Anschaffungen von Lizenzen für die im Projekt verwendete Modellierungs-Software. Um auch die essentiellen Teile der Tür-zu-Tür-Prozesskette abbilden zu können, die nicht in der Flugzeugkabine stattfinden und vor allem dieser vorgelagert sind, wurden zusätzlich ein Virtualisierungs-Server mit notwendigen Softwarelizenzen und diverse Netzwerkkomponenten (*Switch*, *WLAN Access Point*, *Netzwerkkabel*) angeschafft.

Alle im Rahmen der neun Arbeitspakete AP 1.1, AP 1.3, AP 1.4, AP 2.1, AP 2.2, AP 2.4, AP 3.3, AP 3.4 und AP 3.5 vom Institut erledigten Arbeiten sowie die dabei erzielten Ergebnisse werden in den nachfolgenden Unterkapiteln ausführlich dargestellt.

6.2.1 AP 1.1: Anwendungsfälle für NFC in der Kabine

Die Integration der NFC-Technologie in eine Flugzeugkabinenumgebung ist herausfordernd, da es sich hierbei um eine neue Funktechnologie handelt, die sich von den aktuell genutzten Verfahren in

¹⁷ Hochfrequenz

der Kabine deutlich unterscheidet. Aus diesem Grund mussten ausgehend von den Anwendungsfällen aller beteiligten Stakeholder sehr viele Aspekte bei der Prozess- und Systemspezifikation berücksichtigt werden. Um dennoch eine umfassende Betrachtung aller Anwendungsfälle und Anforderungen zu ermöglichen, hatte die TUHH daher bereits in der Antragsphase dargelegt, dass unter diesen Randbedingungen für die Anforderungserhebung und die Anforderungsanalyse ein modellbasierter Ansatz mittels einer semi-formalen Sprache für die Problemlösung angemessen und erfolgversprechend ist.

Das im Projekt entstandene modellbasierte Anforderungsmanagement basiert dabei auf einer Methodik, deren drei Komponenten (Prozess, Methode, Werkzeug) von der TUHH ausgearbeitet und praktisch implementiert worden sind. Langjährig bewährte Prozesse in den verschiedensten Systems-Engineering-Projekten sind im Standard ISO/IEC-15288:2008 [15288] definiert. Innerhalb des DiProPax!-Projektes kamen zunächst im HAP 1 maßgeblich die beiden Prozesse „*Stakeholder Requirements Definition Process*“ und „*Requirement Analysis Process*“ zur Anwendung. Da aber durch einen Prozess nur vorgegeben wird, was zu tun ist, aber nicht beschrieben wird, wie es zu tun ist (vergl. [Est08]) folgt die ausgewählte Methode der *ACRE*-Ontologie [HPB11], wie sie in Abbildung 5 dargestellt ist. Kerngedanke ist hierbei eine konsequente Fokussierung auf den Kontext, d.h. eine Anforderung wird immer nur in Bezug auf einen oder mehrere sie beschreibende Anwendungsfälle eines ausgewählten Stakeholders oder Systemaspektes betrachtet. Sowohl die Anwendungsfälle als auch die Anforderungen selber lassen sich stets auf irgendeine externe Informationsquelle zurückführen, wie sie beispielsweise Fachliteratur und Presse, ein Besprechungsprotokoll oder Workshop-Ergebnisse sein können.

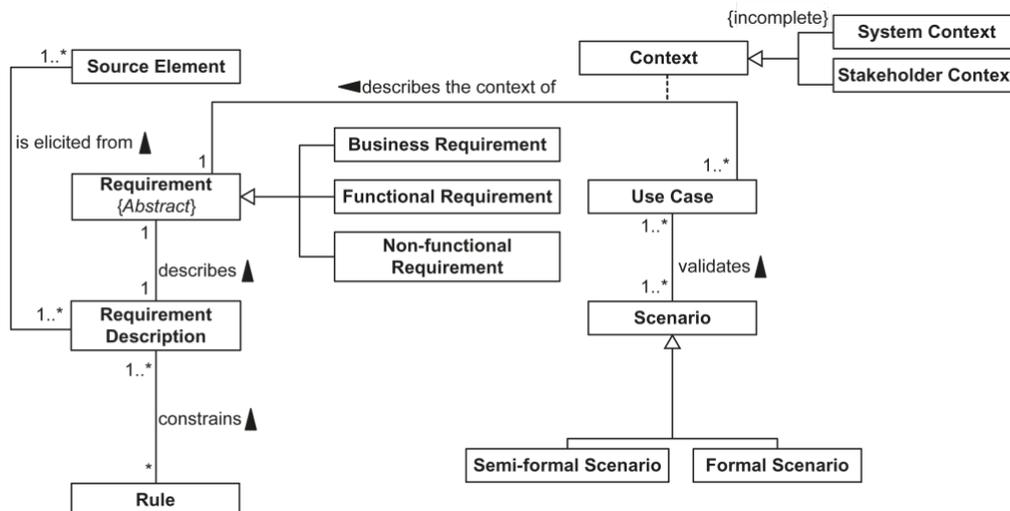


Abbildung 5: *ACRE*-Ontologie [HPB11] dargestellt in der SysML

Mit der *Systems Modeling Language* (SysML) in Verbindung mit der leistungsfähigen Modellierungsumgebung „*Cameo Systems Modeler*“ der Firma NoMagic, Inc. steht der TUHH ein mächtiges Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Erstellung eines eigenen, optimierten *Frameworks* möglich wird. Das Aktivitäts-Diagramm in Abbildung 6 stellt die notwendigen Schritte dar, die erforderlich sind, um die SysML an einen ausgewählten Modellierungsprozess anzupassen, denn die Sprache selber gibt keine Vorgaben für die korrekte Verwendung der Sprachelemente [KG13].

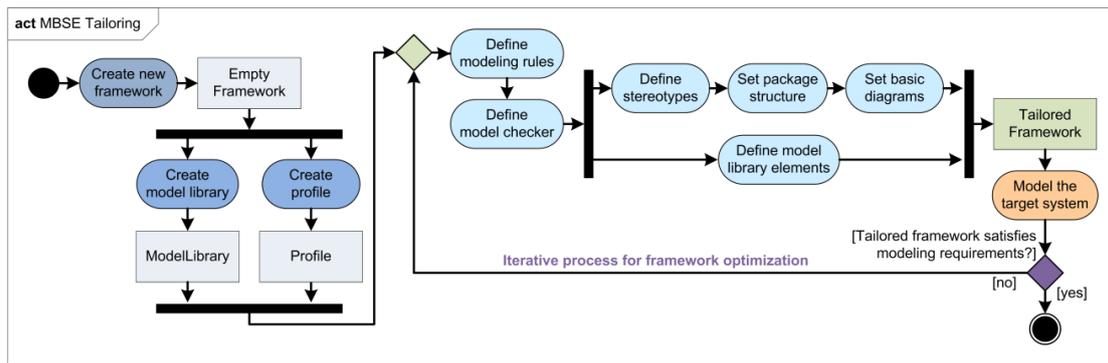


Abbildung 6: Prozess zur Erstellung eines Tailored Framework [KG13]

Die im Projekt von der TUHH verwendete Methodik für ein Anforderungsmodell lässt sich auf oberster Ebene in vier Arbeitsschritte aufteilen, die in Abbildung 7 dargestellt sind [KG15]. Nachdem der Tailoring-Prozess für ein angepasstes Framework durchlaufen wurde, musste die entsprechende SysML-Modell-Vorlage erstellt werden. Hierbei wurde einerseits auf die einschlägige Fachliteratur (u.a. [Alt12], [BF14], [FMS15], [Has11], [Poh08], [Wei08]) zurückgegriffen und andererseits orientierte sich die Modell-Vorlage am bewährten Modellaufbau eines anderen Forschungsprojektes [KW+11].

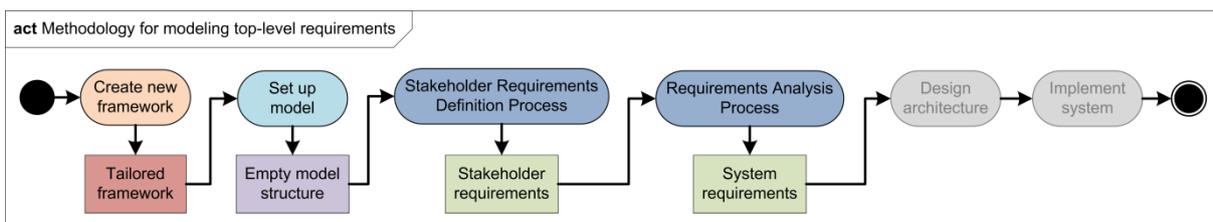


Abbildung 7: Methodik für ein Anforderungsmodell [KG15]

Anschließend konnte damit begonnen werden, die Prozessschritte aus dem „Stakeholder Requirements Definition Process“ zu durchlaufen, welche detailliert in Abbildung 8 aufgelistet sind.

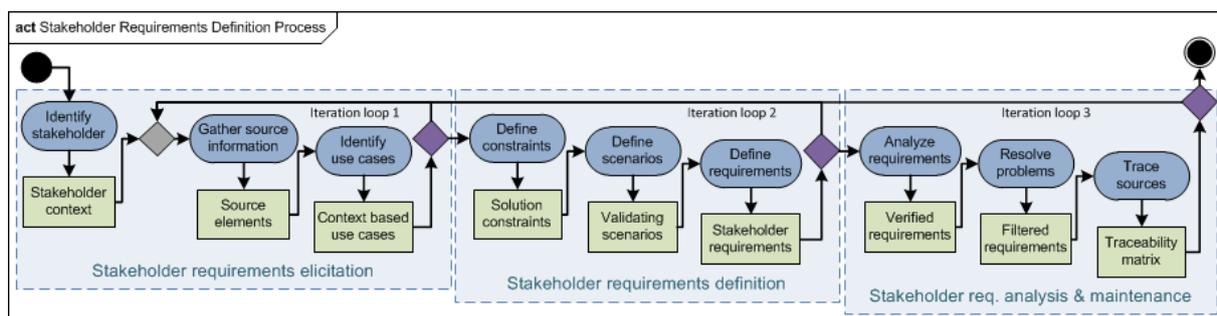


Abbildung 8: Prozessschritte des „Stakeholder Requirements Definition Process“ [KG15]

Im ersten und elementaren Schritt wurden dazu unter Federführung der TUHH zunächst die späteren Nutzer und beteiligten Stakeholder eines NFC-Systems in einer Flugzeugkabine vollständig erfasst. Hierzu gehören, wie in Abbildung 9 dargestellt, neben den direkten Nutzern Passagier, Kabinenbesatzung und Wartungspersonal (MRO), auch die Betreiber des Systems (u.a. Fluggesellschaft, Flughafen, Zahlungsdienstleister uvm.) und die Lieferanten (u.a. Flugzeughersteller und Komponenten-Lieferant). Weiterhin musste auch die große Gruppe der passiven Stakeholder, wie den Behörden und Gesetzgebern sowie den Institutionen und Verbänden, die durch ihre Standardisierung und

Gesetzgebung den Systemlösungsraum erheblich einschränken, insbesondere für die Arbeiten innerhalb des AP 1.3 berücksichtigt werden.

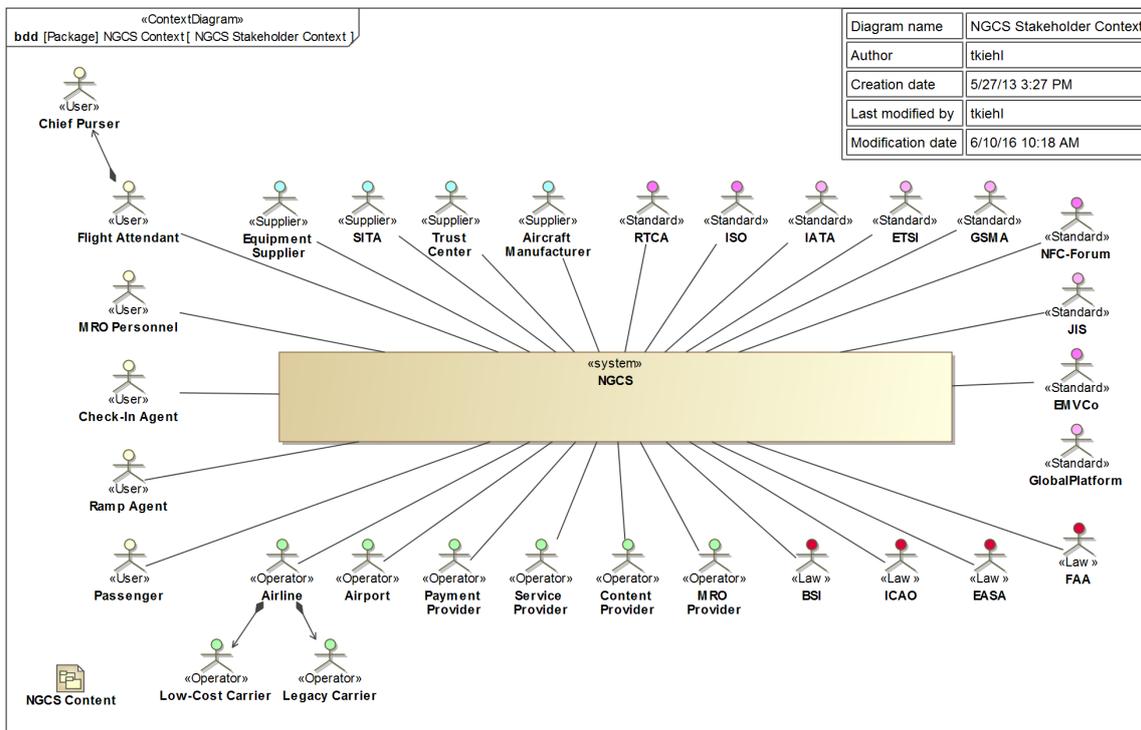


Abbildung 9: Gesamtheit aller Stakeholder des NFC-Systems in der Kabine

Basierend auf externen Informationen wurden zunächst die Erwartungen der Nutzer an ein solches System als sogenannte Anwendungsfälle auf mehreren Arbeitstreffen mit den Projektpartnern zusammengetragen, bewertet und in das Modell eingepflegt. Hierbei hatte die TUHH insbesondere Recherchen im Bereich vorhandener Schutzrechtsanmeldungen (u.a. [GD13], [HG11], [KF14], [LM08], [Mui12b], [Mui12a], [URT14]) und Publikationen im Bereich der Luftfahrt (u.a. [Ada15], [GI11], [HV+11], [NI13], [Sca09]) betrieben, um vorhandene Ansätze zu berücksichtigen und als Anregung für eine Weiterführung und Ausweitung möglicher Anwendungsfälle für das Vorhaben zu verwenden. Weiterhin wurden auch Pressemitteilungen der Luftfahrtindustrie und der Behörden nach Anwendungsfällen für NFC durchsucht (u.a. [Fed13], [Pan14] [Fed13] [Pan15], [SIT12]). Ein wichtiger Ansatz hierbei war es, vorhandene Systeme sowie Betriebs- und Geschäftsprozesse auf ihr Optimierungspotential in Hinblick auf einen Einsatz von NFC-Technologie in der Kabine zu untersuchen. Dabei wurden flankierend auch Aktivitäten und Ansätze im Bereich der Flughäfen (u.a. [FR+13], [Ros11], [SIT14]) mit berücksichtigt.

Hierbei wurde entsprechend der gewählten Methodik auf eine strikte Darstellung der Anwendungsfälle in ihrem jeweiligen Stakeholder-Kontext geachtet. Dies erlaubt beispielsweise eine ausschließliche Betrachtung der Anwendungsfälle des Passagiers, ohne im ersten Schritt Widersprüche bzw. Abhängigkeiten zu den Anwendungsfällen anderer Stakeholder, wie beispielsweise der Kabinenbesatzung, berücksichtigen zu müssen. Insgesamt wurden innerhalb des Arbeitspaketes zusammen mit den Projektpartnern ca. 100 Anwendungsfälle identifiziert und modelliert, die den drei Stakeholdern in der Kabine, dem Passagier, der Kabinenbesatzung und dem Wartungspersonal, zugeordnet werden konnten. Durch die konsequente Nutzung der Möglichkeiten der verwendeten Modellie-

Die Modellierungssprache SysML konnte die TUHH zur Wahrung der Übersichtlichkeit einerseits die Anwendungsfälle in Themenbereiche (z.B. Kommunikation, Unterhaltung, Wartung) unterteilen. Andererseits ließen viele Anwendungsfälle zusammenfassen und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Anwendungsfällen grafisch verdeutlichen, so dass trotz der großen Anzahl von Eintragungen eine strukturierte Darstellung möglich war.

Für die weitere Sortierung und Bewertung der Anwendungsfälle wurden in einem nächsten Schritt diese jeweils von der TUHH dahingehend untersucht, ob sie auf eine oder mehrere der folgenden Bereiche abzielen:

- Effiziente Betriebsprozesse in der Kabine
- Verbesserung der Sicherheit der Prozesse
- Annehmlichkeiten, Service und Komfort
- *Customer-Relationship-Management (CRM)*
- Zusätzliche Einnahmen (*Ancillary Revenue*)

Für den weiteren Projektverlauf und insbesondere das HAP 3 (Integration / Demonstration und Test) wurde von allen Partnern gemeinsam eine Zusammenfassung und Priorisierung der Anwendungsfälle vorgenommen. Hierbei sind sechs (Basis-) Anwendungsfälle hoch priorisiert worden, die in Abbildung 10 mit ihren zugehörigen Stakeholdern und detaillierteren Anwendungsfällen dargestellt sind. Diese sollten im weiteren Verlauf des Projektes bevorzugt betrachtet und demonstriert werden. Für eine spätere kommerzielle Verwertung der Projektergebnisse stellen diese eine entscheidende Grundlage dar.

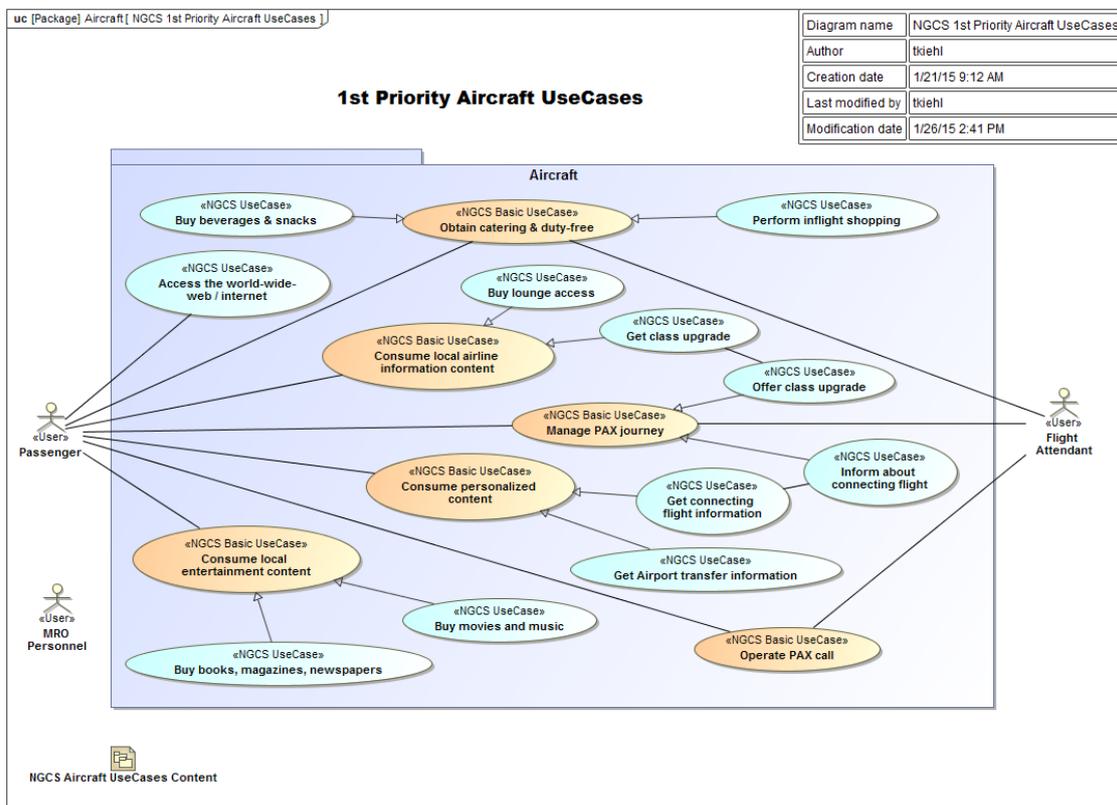


Abbildung 10: Hoch priorisierte Anwendungsfälle in der Kabine

Nachrangig priorisierte Anwendungsfälle waren zwar ebenfalls von hohem Interesse, konnten aber im späteren Demonstrator nicht implementiert werden. Im Gegensatz zu den hoch priorisierten Anwendungsfällen ist in Abbildung 10 gut zu erkennen, dass beispielsweise Anwendungsfälle des Wartungspersonals nicht so sehr im Vordergrund standen und somit nur mit einer nachrangigen Priorität versehen worden waren. Im letzten Schritt des Arbeitspaktes 1.1 wurden die priorisierten Anwendungsfälle durch Szenarien weiter verfeinert und validiert. Abbildung 11 zeigt exemplarisch das modellierte Szenario des Anwendungsfalls „Lokale Unterhaltungsmedien konsumieren“. Durch die detaillierte Ausformulierung des Anwendungsfalls und die Möglichkeit der Modellierungssoftware, die Szenarien interaktiv zu simulieren, ließ sich so ein gutes Verständnis der Anwendungsfälle bei allen Beteiligten erreichen. Weiterhin waren die Szenarien eine wichtige Grundlage für den funktionalen Entwurf in AP 2.1, da sich wiederkehrende Aktionen zu Funktionsgruppen zusammenfassen ließen.

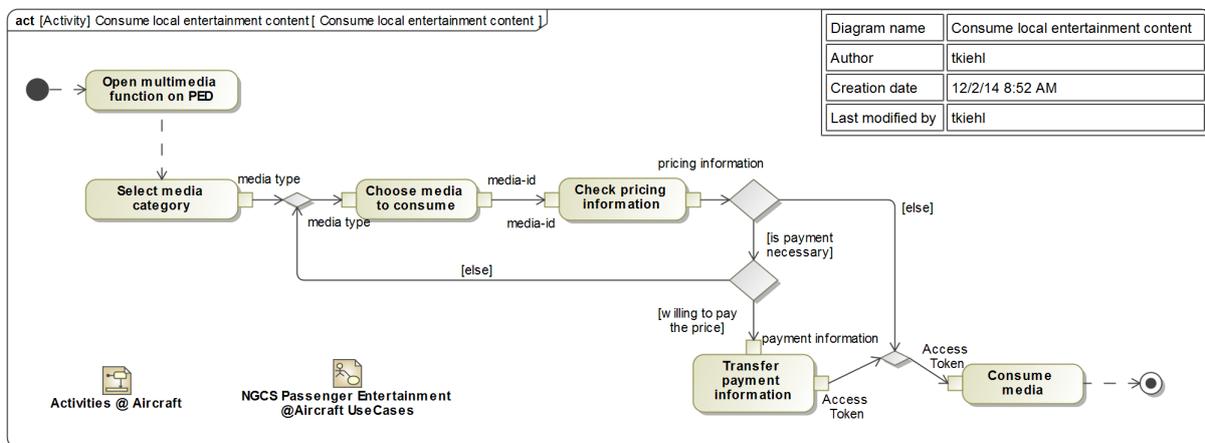


Abbildung 11: Szenario des Anwendungsfalls „Lokale Unterhaltungsmedien konsumieren“

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 1.1

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 1.1 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 28.01.2014 Bilaterales Arbeitstreffen bei KID-Systeme, Buxtehude
- 18.03.2014 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 29.04.2014 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 09.10.2014 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 02.12.2014 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 09.12.2014 Arbeitstreffen bei NXP, Hamburg
- 11.12.2014 Bilaterales Arbeitstreffen bei KID-Systeme, Buxtehude
- 23.01.2015 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 19.03.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg

Liefergegenstände von AP 1.1

- Methodik zum modellbasierten Anforderungsmanagement entwickelt
- An DiProPax! angepasstes Modellierungs-Framework mit SysML erstellt

- 104 Anwendungsfälle modellbasiert identifiziert und analysiert
- Anwendungsfälle priorisiert und sechs Basis-Anwendungsfälle definiert
- Szenarien für priorisierte (Basis-)Anwendungsfälle entwickelt und modelliert
- Schnittstellen zu IKT-Systemen und Flughafenprozessen analysiert

6.2.2 AP 1.3: Nicht-funktionale Anforderungen

Um aus den Anwendungsfällen aus AP 1.1 und den daraus resultierenden Kundenanforderungen in AP 1.2 die entsprechenden funktionalen und insbesondere die nicht-funktionalen Systemanforderungen in AP 1.3 abzuleiten, hat die TUHH dem Standard ISO/IEC-15288:2008 [15288] folgend den „*Requirement Analysis Process*“ entsprechend Abbildung 12 durchgeführt [KG15]. Hierzu musste im ersten Schritt der System Kontext festgelegt werden, bei dem bestimmt wurde, welche Teile zum betrachteten System gehören sollten und an welchen Stellen sich Schnittstellen zu externen Systeme ergaben. Anschließend mussten aus den Anwendungsfällen die Systemfunktionen extrahiert werden, die dann mit den System-Anforderungen spezifiziert werden konnten. Am Ende des Prozesses sorgte die Verknüpfung von Stakeholder- und System-Anforderungen für eine durchgängige und vollständige Nachverfolgbarkeit innerhalb des Anforderungsmodells.

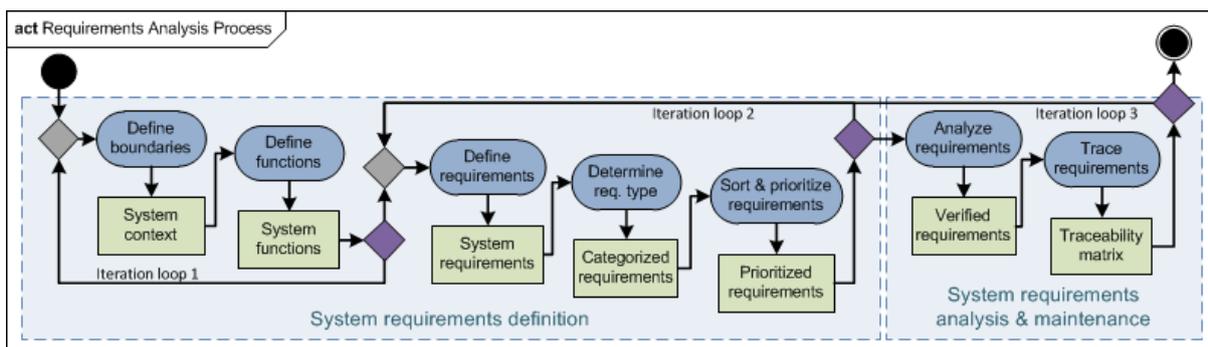


Abbildung 12: Prozessschritte des „*Requirements Analysis Process*“ [KG15]

Während im AP 1.1 zunächst vor allem die Nutzer im Fokus der Untersuchungen standen, d.h. diejenigen Stakeholder, die als direkte Anwender von einem System mit NFC-Technologie direkt profitieren sollen, ließen sich in AP 1.2 jedoch weitere Stakeholder identifizieren, die notwendig sind, um bestimmte Anwendungsfälle überhaupt zu ermöglichen. Diese Dienstleister stellen Daten und Services bereit, wie beispielsweise ein Inhaltsanbieter oder ein Zahlungsdienstleister. Weiterhin muss ein solches System auch in seiner Systemumgebung betrieben werden. Hieraus ergaben sich etliche weitere Anforderungen, die das Systemdesign einerseits erheblich beeinflussen oder beschränken, aber andererseits auch die Kommunikation mit externen Systemen ermöglichen.

Die modellbasierte Erfassung dieser nicht-funktionalen Anforderungen, die von allen Partnern in das Projekt eingebracht wurden, wurde wieder von der TUHH durchgeführt. Da es sich hierbei größtenteils um Normen, Standards oder Gesetze handelte, wurden diese Anforderungen in einer externen Modellbibliothek abgelegt. Auf diese Weise lassen sich die Informationen auch direkt für den Systementwurf weiterer Kabinensysteme verwenden und die Pflege und Wartung der Anforderungen kann an einer zentralen Stelle erfolgen.

Durch die thematisch breite Aufstellung der Projektpartner ließen sich die nicht-funktionalen Anforderungen sehr gut aus den einzelnen Fachgebieten der Partner zusammenstellen und insbesondere auf ihre Relevanz für das Projekt hin untersuchen. Stollmann bzw. Telit als „Associate Member“ des *NFC-Forums* lieferte dabei alle Spezifikationen, die für die NFC-Kommunikation in den höheren Protokollebenen berücksichtigt werden müssen. Hierzu gehören einerseits die Spezifikationen für NFC-Tags, aber vor allem auch die Spezifikationen für eine *Peer-to-Peer*-Verbindung, wie sie zwischen einem aktiven NFC-Reader und einem Smartphone aufgebaut wird. Ein zentrales Dokument ist hierbei die NDEF¹⁸-Spezifikation [NDEF-1.0], die den maßgeblichen Datenaustausch per NFC definiert und exemplarisch in der Übersicht in Abbildung 13 dargestellt ist.

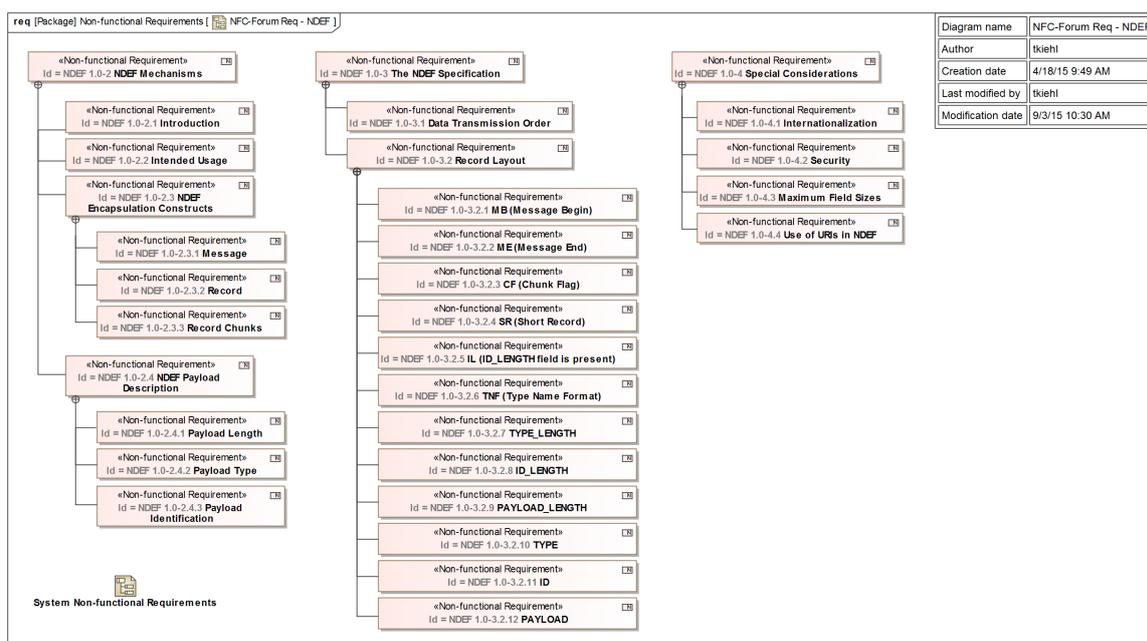


Abbildung 13: Nicht-funktionale Anforderungen des NFC-Forums für das NDEF

Anforderungen an die physikalische Übertragung entsprechend der unteren Schichten des OSI-Modells wurden von NXP bereitgestellt, weil die NFC-Technologie von NXP (ehemals Philips Semiconductors) zusammen mit Sony entwickelt wurde. Da NFC auf die Basis der beiden proprietären Smartcard-Systeme *MiFare* und *FeliCa* aufsetzt, die wiederum auf den RFID¹⁹-Standards basieren, sind eine Vielzahl von Standards für die Kommunikation im ISM²⁰-Band von 13,56 MHz zu berücksichtigen. Smartcards kommen insbesondere im Bereich der sicheren Zahlverfahren (u.a. Kreditkarten) und der Identifikation (u.a. hoheitliche Ausweise und Pässe) zur Anwendung, somit konnte NXP die relevanten Anforderungen aus diesen Bereichen liefern. Über ein funktionales Konzeptmodell haben sie im nächsten Schritt nachgewiesen, dass die zuvor identifizierten nicht-funktionalen Anforderungen der Stakeholder „ISO“ und „NFC-Forum“ die vollständige Kompatibilität mit gängigen Smartcards, Smartphones und NFC-Transpondern ermöglicht. Weiterhin wurde anhand des Konzeptmodells deutlich, dass auch wirklich alle identifizierten nicht-funktionalen Anforderungen berücksichtigt werden mussten, damit das System später die Vielzahl an unterschiedlichen Geräten am Markt unterstützen kann.

¹⁸ NFC Data Exchange Format

¹⁹ Radio-Frequenz-Identifikation

²⁰ Industrial, Scientific and Medical

Als Hersteller von Kabinensystemen konnte KID-Systeme die Bauvorschriften, Standards und Regularien zusammenstellen, die für ein Flugzeugsystem zulassungsrelevant sind. Da die kommerzielle Luftfahrt nach wie vor stark von der amerikanischen Behörde FAA²¹ und der europäischen Behörde EASA²² geprägt ist, und eine beiderseitige Harmonisierung der Standards zwischen diesen beiden Behörden stattfindet, wurden die maßgeblichen Standards und Vorschriften des elektronisch gut verfügbaren amerikanischen Formats für das Projekt herangezogen.

Durch die intensive Betrachtung der Tür-zu-Tür-Prozesskette und der dafür bei den Prozessteilnehmern vorteilhaft nutzbaren Ableitung von Identitäten von hoheitlichen Dokumenten (z.B. vom Personalausweis) hatten sich zusätzliche nicht-funktionale Anforderungen an das System ergeben. So werden durch das deutsche Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) Technische Richtlinien herausgegeben, die bei der Verwendung des neuen elektronischen Personalausweises (nPA) berücksichtigt werden müssen. Daher wurde das Modell um den weiteren Stakeholder „BSI“ ergänzt und dessen nicht-funktionale Anforderungen erfasst.

Insgesamt konnten im Projekt durch alle Projektpartner mehr als 30 Anforderungs-Dokumente, Standards und Richtlinien mit jeweils vielen hundert einzelnen nicht-funktionalen Anforderungen identifiziert werden, die im Rahmen des Projektes berücksichtigt werden mussten und in der Übersicht in Abbildung 14 zusammengestellt sind. Bei der modellbasierten Systementwicklung sollten die einzelnen nicht-funktionalen Anforderungen aus diesen Unterlagen direkt im Modell verfügbar sein, damit sie später den jeweiligen Systemkomponenten zugeordnet werden können. Um darüber hinaus auch für geplante weitere Projekte Synergieeffekte erzielen zu können, hat die TUHH besonders wichtige Anforderungen in einer externen Modellbibliothek abgelegt, so dass diese Anforderungen später auch einfach in anderen modellbasierten Systementwicklungs-Projekten genutzt werden können. Auf diese Art und Weise sind beispielsweise alle wichtigen nicht-funktionalen Anforderungen des Stakeholders „NFC-Forum“ direkt im Modell verfügbar und konnten im Systementwurf in HAP 2 für die einzelnen Komponenten, wie z.B. dem NFC-Lesegerät am Passagiersitz, angezogen werden.

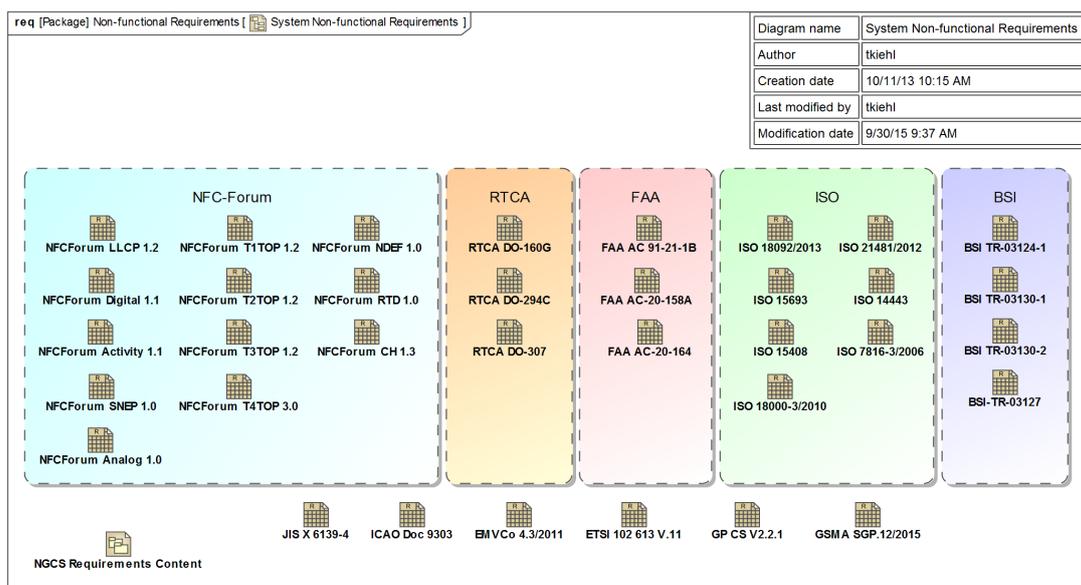


Abbildung 14: Übersicht von Dokumenten mit nicht-funktionalen Anforderungen

²¹ Federal Aviation Administration

²² European Aviation Safety Agency



Standards der SAE²³, RTCA²⁴ und EUROCAE²⁵. Für die Verwendung der induktiven NFC-Technologie in einer Kabine waren insbesondere die Vorgaben für die maximalen elektromagnetischen Feldstärken von besonderem Interesse. In der zivilen Luftfahrt werden diese Vorgaben vor allem durch den Standard DO-160 „*Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*“ der RTCA gemacht [DO-160G]. In Abschnitt 21 des Standards sind die relevanten Feldstärken-Grenzwerte für die Emission von elektromagnetischen Wellen angegeben. Allerdings waren diese in der relevanten Revisionsnummer „G“ nur für Frequenzen oberhalb von 100 MHz definiert und NFC wird bei 13,56 MHz betrieben. Grenzwerte für 13,56 MHz ließen sich hingegen im militärischen Standard MIL-STD-461G [MIL-STD-461F] finden, jedoch bezogen sich beide Standards auf ein elektromagnetisches Fernfeld, bei dem der Vektor des elektrischen Feldes die maßgebliche Komponente ist. Der Betrieb der NFC-Technologie erfolgt allerdings mit einem magnetischen Feld im Nahbereich von wenigen Zentimetern, also im reaktiven Nahfeld. In diesem Bereich ist eine Umrechnung zwischen den beiden Feldgrößen stark fehlerbehaftet und ließ sich daher nicht sinnvoll anwenden [KMR13].

Für die Analyse der maximalen Betriebs-Feldstärke der NFC-Technologie musste der NFC-Standard ISO/IEC 18092 [18092] und der zugrundeliegende Smartcard-Standard ISO/IEC 14443 [14443-2] betrachtet werden. Beide Standards geben hier einen maximalen Wert von 7,5 A/m an, also eine rein magnetische Feldgröße. Die europäische Zulassungsbehörde definiert in ihrem Frequenznutzungsplan für die Nutzung von NFC und RFID eine maximale magnetische Feldstärke von 60 dB μ A/m, die allerdings erst in einer Entfernung von 10 m gemessen werden sollen [CEP15]. Eine Übersicht der ermittelten Feldstärken-Grenzwerte findet sich in Tabelle 1. Zusammenfassend ergab sich hieraus für das Projekt, dass zum damaligen Zeitpunkt keine sinnvoll anwendbare Regulierung, d.h. Anforderungen für die Nutzung der NFC-Technologie in einer Flugzeugkabine existierte. Dies deckte sich auch mit den Ergebnissen einer Masterarbeit [Thi12] an der TU Hamburg-Harburg, die im Rahmen eines früheren LuFo-Vorhabens zur Authentifizierung am Kabinenmanagementsystem durchgeführt worden war [HG13].

Quelle	Limit	Entfernung	Anmerkung
RTCA DO-160E	36,2 dB μ V/m	1 m	
RTCA DO-160G	N/A (30,8 dB μ V/m)	1 m	interpolierter Wert
MIL-STD-461G	34 dB μ V/m	1 m	Flugzeug < 25 m
MIL-STD-461G	44 dB μ V/m	1 m	Flugzeug > 25 m
ISO/IEC 14443	1,5 - 7,5 A/m RMS	0-10 cm	
ISO/IEC 18092	1,5 - 7,5 A/m RMS	0-10 cm	
CEPT ERC REC 70-03	60 dB μ A/m	10 m	SRD bei 13.56 MHz

Tabelle 1: Übersicht der Feldstärken-Grenzwerte für elektromagnetische Emissionen

Um dennoch zu einer validen Aussage über die sichere Nutzung der NFC-Technologie in einer Flugzeugkabine zu kommen, hatte die eine Expertenrunde mit den Firmen NXP und Airbus, die jeweils beide in den Standardisierungs- und Zertifizierungsgremien aktiv sind, initiiert. Bei der ausführlichen Diskussion über die aktuelle Anforderungs-Situation wurde deutlich, dass bei der Analyse alle maß-

²³ SAE International, amerikanisches Standardisierungs-Gremium

²⁴ Radio Technical Commission for Aeronautics, amerikanisches Standardisierungs-Gremium

²⁵ European Organization for Civil Aviation Equipment, europäisches Standardisierungs-Gremium

geblichen Anforderungen (vgl. Tabelle 1) berücksichtigt worden sind und somit das Analyseergebnis valide ist.

Eine erste grobe Abschätzung seitens der EMV-Experten von Airbus zeigte, dass generell eine sichere Verwendung der NFC-Technologie in einer Flugzeugkabine plausibel ist. Der Ansatz für diese Abschätzung basierte auf einer Auswirkungsanalyse, d.h. es wird betrachtet, welche Auswirkung die Nutzung der NFC-Technologie auf die vorhandenen Flugzeugsysteme hat. Hierbei wird u.a. in den Standards RTCA DO-307 „*Aircraft Design and Certification for Portable Electronic Device (PED) Tolerance*“ [DO-307] und EUROCAE ED-130 „*Guidance for the Use of Portable Electronic Devices (PEDs) on Board Aircraft*“ [ED-130] zwischen der Einkopplung in vorhandene Flugzeugantennen, dem sogenannten „*front door coupling*“, und einer Einkopplung in Flugzeuggeräte und die Leitungen, dem sogenannten „*back door coupling*“ unterschieden. Da die NFC-Technologie mit einer Sendefrequenz von 13,56 MHz arbeitet und diese Frequenz von keinem Flugzeugsystem zur Datenübertragung genutzt wird, war vor allem das „*back door coupling*“ zu betrachten, wie es in Abbildung 16 dargestellt ist.

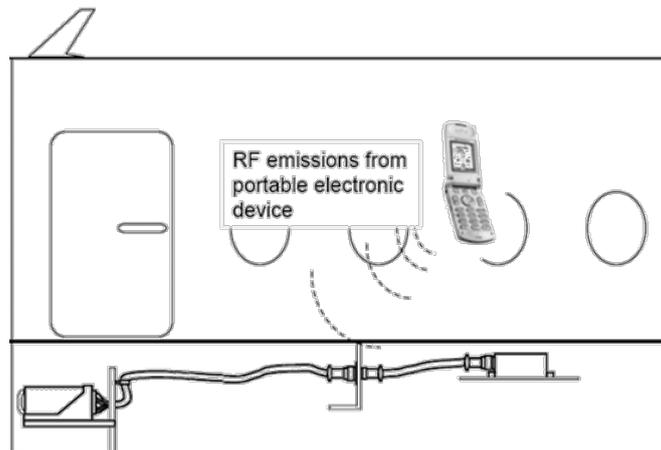


Abbildung 16: „Back door coupling“ in Flugzeugsysteme und Leitungen [DO-307]

Bei der Einkopplung in Leitungen im Flugzeug war auf Grund des magnetischen Feldes der NFC-Technologie vor allem mit einer Induktion von Strömen zu rechnen. Solche Störungen müssen zugelassene Flugzeuggeräte in festgelegtem Umfang ohne Beeinträchtigung ihrer Funktion verkraften. Die entsprechenden Grenzwerte und das dazugehörige Messverfahren werden dabei durch den Abschnitt 20 des Standards DO-160 „*Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*“ der RTCA festgelegt [DO-160G]. Eine rein mathematische Betrachtung des Problems ließ sich auf Grund der sehr hohen Komplexität des Magnetfeldes im Nahbereich nicht sicher durchführen, weswegen die Expertenrunde eine neue Messmethodik entwickelt hat. Diese basiert im Wesentlichen auf der Kombination von zwei existierenden und etablierten Messverfahren, welche in *Figure 20-4* („*Injection probe insertion loss test setup*“) und in *Figure 20-9* („*Conducted susceptibility test setup*“) des Standards RCTA DO-160G beschrieben sind [DO-160G]. Das so erarbeitete Messverfahren ist in Abbildung 17 dargestellt.

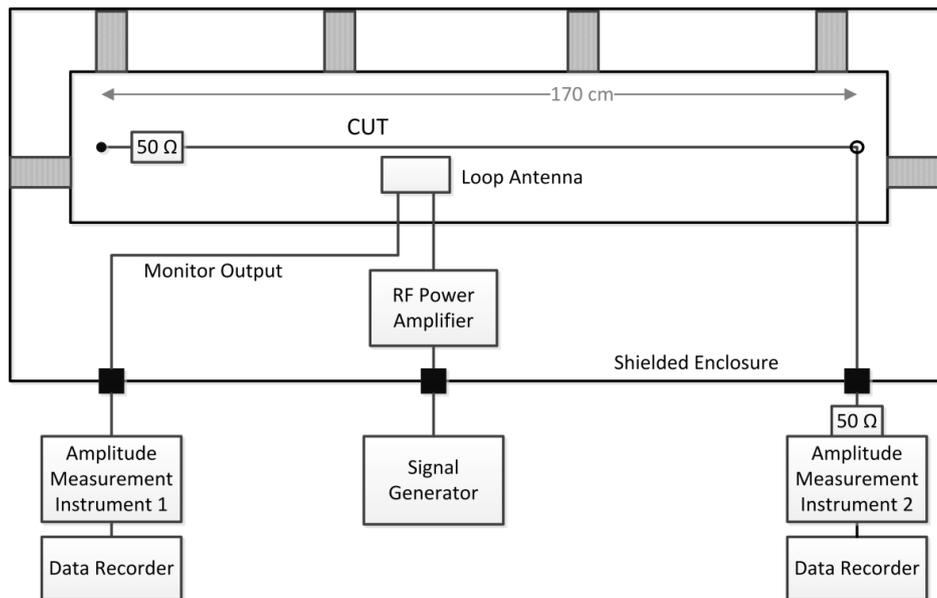


Abbildung 17: EMV-Messverfahren zur Ermittlung der induktiven Kopplung von NFC-Geräten in Leitungen eines Flugzeugs [NK+16]

Über einer geerdeten Metallplatte befindet sich in einer Höhe von 5 cm ein 1,7 m langes, ungeschirmtes Kupferkabel (CUT²⁶) mit einem Querschnitt von 1,0 mm² oder größer. Dieses ist auf der einen Seite über einen Widerstand von 50 Ohm mit der Metallplatte verbunden. Auf der anderen Seite ist ein Oszilloskop angeschlossen, so dass die im Kabel auftretenden Spannungen gemessen und leicht über den Innenwiderstand des Oszilloskops von 50 Ohm in induzierte Ströme umgerechnet werden können. Als Emittent dienen entweder handelsübliche NFC-Geräte (Smartphones, Tablets, Laptops) oder eine entsprechende Rahmenantenne, mit der das einwirkende magnetische Feld mit einem Signalgenerator und einem Leistungsverstärker präzise eingestellt werden kann. Auf diese Weise lassen sich wiederholbare Worst-Case-Szenarien darstellen.

Eine Veröffentlichung dieses neuen EMV-Messverfahrens zur Ermittlung der induktiven Kopplung von NFC-Geräten in Leitungen eines Flugzeugs wurde auf dem Fachkongress „2016 ESA Workshop on Aerospace EMC“ durchgeführt [NK+16]. Die Diskussion mit den anwesenden EMV-Experten bewies die Notwendigkeit dieser Untersuchung und bestätigte den gewählten methodischen Ansatz. Somit konnte die Anforderungsanalyse bezüglich der elektromagnetischen Feldstärken einer NFC-Kommunikation und der Verwendung dieser Technologie in einer Flugzeugkabine erfolgreich abgeschlossen werden.

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 1.4

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 1.4 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 19.03.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 15.06.2015 Expertenrunde mit Airbus und NXP an der TUHH, Hamburg
- 04.09.2015 Bilaterales Arbeitstreffen mit Airbus an der TUHH, Hamburg
- 13.10.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg

²⁶ Cable under test



Liefergegenstände von AP 1.4

- Markt- und Patentrecherche zum Einsatz von NFC in der Luftfahrt durchgeführt
- Existierende Luftfahrt-Standards zur EMV umfassend analysiert
- Neue Methodik für die EMV-Messungen von NFC erarbeitet
- Anforderungen zur Auslegung des Gesamtsystems als funktionale Anforderungen erfasst

6.2.4 AP 2.1: Funktionaler Entwurf Kabinenmanagementsystem mit NFC

Für den funktionalen Entwurf des Systems hat die TUHH zunächst die vorhandenen Anwendungsfälle aus AP 1.1 auf die zugrunde liegenden Funktionalitäten hin untersucht und die Ergebnisse mit den Projektpartnern diskutiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich alle vorhandenen Anwendungsfälle auf eine oder mehrere Basis-Funktionalitäten zurückführen lassen haben. Konkret waren dies:

- Vereinfachten Zugang ermöglichen
- Menüführung anbieten / Auswahl übermitteln
- Sitzplatzbezug herstellen
- Nutzer identifizieren
- Authentisierung (z.B. mit PIN) durchführen
- *Micro-Payment* (Kleinstbeträge) abwickeln
- Bezahlung mit gängigen Kreditkarten abwickeln
- Bezahlung mit *ApplePay*, *Google Wallet* u.a. abwickeln
- Access-Token beziehen (z.B. für Hotel)
- Konfiguration von Systemen ermöglichen

Die in AP 2.2 entworfene Architektur musste somit in der Lage sein, die genannten Funktionen zu unterstützen und gleichzeitig war bei einer ersten Betrachtung zusammen mit allen Projektpartnern entschieden worden, dass diese Architektur möglichst vielseitig und adaptiv sein sollte. Dies umfasste den Einbau von sowohl aktiven NFC-Readern als auch passiven NFC-Tags an den Passagiersitzen und in den Arbeitsbereichen der Kabinenbesatzung. Weiterhin sollte eine Nutzung des Systems mit allen üblichen mobilen Geräten wie Smartphones, Tablets, Laptops aber auch Smartcards möglich sein. Aus dieser Vielzahl an Kombinationen ließen sich acht signifikante Nutzungsszenarien identifizieren, die in Tabelle 2 aufgeführt sind.

	Mobiles Gerät	NFC-Gerät	Abgeleiteter Token
Szenario A	Smartphone	Aktiver Reader	vorhanden
Szenario B	Smartcard	Aktiver Reader	vorhanden
Szenario C	Smartphone	Passiver Tag	vorhanden
Szenario D	Smartcard	Passiver Tag	vorhanden
Szenario E	Smartphone	Aktiver Reader	nein
Szenario F	Smartcard	Aktiver Reader	nein

Szenario G	Smartphone	Passiver Tag	nein
Szenario H	Smartcard	Passiver Tag	nein

Tabelle 2: Übersicht der Nutzungsszenarien

Als weitere Architekturvariante war dabei auch die Nutzung eines abgeleiteten Tokens, d.h. eines digitalen Prozessschlüssels, berücksichtigt worden. Um eine möglichst durchgängige, komfortable und hocheffektive Tür-zu-Tür-Prozesskette zu schaffen, sollte eine Variante des Systems die Nutzung eines solchen digitalen Prozessschlüssels beinhalten, wie sie in Abbildung 18 dargestellt ist. Dabei wird beim Erstkontakt mit der Fluggesellschaft, idealerweise vor Beginn der Reise, durch das System eine Identitätsableitung von einem hoheitlichen Dokument (z.B. vom Personalausweis oder Reisepass) durchgeführt und die für die Prozesskette relevanten Daten in einem sogenannter Token auf dem mobilen Gerät gespeichert. Dies ermöglicht eine vereinfachte Authentifizierung vor, während und nach dem Flug, wodurch jederzeit personenbezogene Informationen und Dienstleistungen angeboten werden können und eine sichere und bequeme Bezahlung für den Passagier ermöglicht wird.



Abbildung 18: Auf einem digitalen Prozessschlüssel (Token) basierende durchgängige Tür-zu-Tür-Prozesskette

Anhand der Basis-Funktionalitäten wurde analysiert, welchen Funktionsumfang die einzelnen Nutzungsszenarien bieten. Eine Übersicht ist in Tabelle 3 dargestellt: Erwartungsgemäß lassen sich mit einem Smartphone, welches einen abgeleiteten Token besitzt und mit einem aktiven NFC-Reader kommuniziert, alle Funktionalitäten umsetzen, wohingegen eine Smartcard in Kombination mit einem NFC-Tag am Sitzplatz keinerlei Funktion bietet. Sofern neben einem aktiven NFC-Reader auch ein Bildschirm fest im Sitz verbaut ist, lassen sich viele Funktionalitäten auch nur mit einer Smartcard umsetzen, welches aber in Tabelle 3 zunächst nicht weiter berücksichtigt wurde.

Basis-Funktionalität	Szenario							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Vereinfachten WiFi Zugang ermöglichen	X		X		X		X	
Menüführung anbieten / Auswahl übermitteln	X		X		X		X	
Sitzplatzbezug herstellen	X	X	X		X	X	X	
Nutzer identifizieren	X	X	X					
Authentisierung (z.B. mit PIN)	X		X					

Micro-Payment (Kleinstbeträge) durchführen	X	X	X			
Bezahlung mit gängigen Kreditkarten (EMVCo)	X	X		X	X	
Bezahlung mit <i>ApplePay</i>, <i>Google Wallet</i> u.a.	X			X		
Access-Token beziehen (z.B. für Hotel)	X	X	X	X	X	X
Konfiguration von Systemen ermöglichen	X	X	X	X	X	X

Tabelle 3: Analyse der Nutzungsszenarien hinsichtlich des Funktionsumfangs

Der je nach Nutzungsszenario zur Verfügung stehende Funktionsumfang variiert erheblich, allerdings ist auch der Aufwand für die Installation und den Betrieb sehr unterschiedlich. Daraus ergab sich für AP 2.2 die Forderung nach einer modularen Architektur, mit der sich je nach Anforderung der Fluggesellschaft das optimale System realisieren lässt. Aus funktioneller Sicht ergab sich daraus, dass beide Nutzungsvarianten der NFC-Technologie, also sowohl der aktive NFC-Reader als auch der passive NFC-Tag im weiteren Projektverlauf als Umsetzungs-, d.h. Lösungsvarianten verfolgt werden sollten.

Die TUHH konnte im Rahmen einer Masterarbeit [Spe16] und einer Projektarbeit [HPC16] die Interaktionen von Passagier, Flugzeugbesatzung und den beteiligten Kabinensystemen weiter konkretisieren und erfassen. Dabei wurden vier passagierbezogene Funktionen des Kabinenmanagementsystems und der Flugzeugbesatzung identifiziert, bei denen durch eine Personalisierung mit einem digitalen Prozessschlüssel und einer direkten Interaktion des Passagiers mit den Systemen eine Optimierung und Effizienzsteigerung der aktuellen Prozesse erzielt werden konnte. Grundlage hierfür sind die Basis-Funktionalitäten, wie sie in Tabelle 3 dargestellt sind. Zwei der Funktionen, die Betätigung des „*Passenger Reading Lights (PRL)*“ und der sogenannte „*Pax-Call*“, sind in Abbildung 19 dargestellt. Diese eigentlich relativ simplen Funktionen benötigen bereits die Basis-Funktionalitäten: „Vereinfachten WiFi Zugang ermöglichen“, „Menüführung anbieten“, „Sitzplatzbezug herstellen“ sowie „Nutzer identifizieren“. Eine Umsetzung der Funktionalitäten musste dabei durch das mit neuer NFC-Technologie ergänzte Kabinenmanagementsystem erfolgen und eignete sich daher sehr gut, um im Rahmen von HAP 3 in einem Demonstrator dargestellt zu werden.

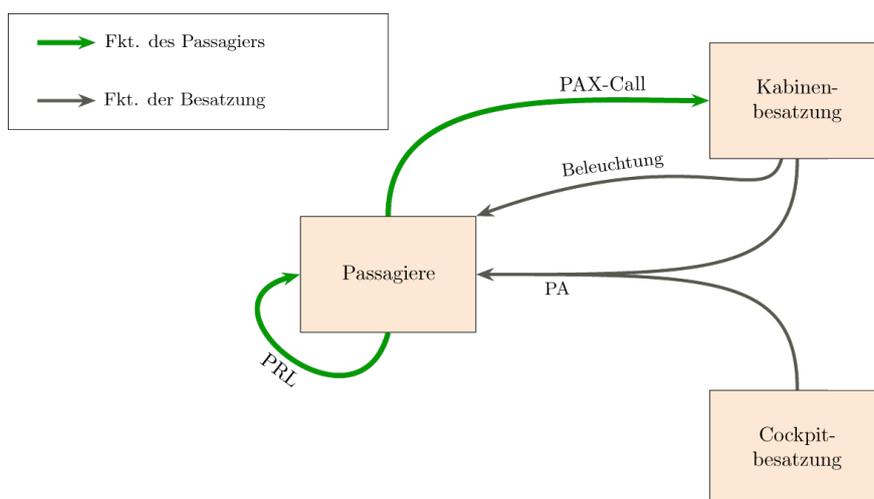


Abbildung 19: Ausgewählte Funktionen der Stakeholder während einer Flugreise [Spe16]

Weitere interessante Basis-Funktionalitäten waren die Bezahlung von Waren und Dienstleistungen, hierbei insbesondere das „*Micro-Payment*“, sowie die Authentisierung des Passagiers. Diese werden u.a. von den Anwendungsfällen „Kauf von Essen und Getränken“ und dem „Bezug von Informationen

für den weiteren Reiseverlauf“, welche in Abbildung 20 dargestellt sind, benötigt, so dass diese auch im Demonstrator abgebildet werden sollten.

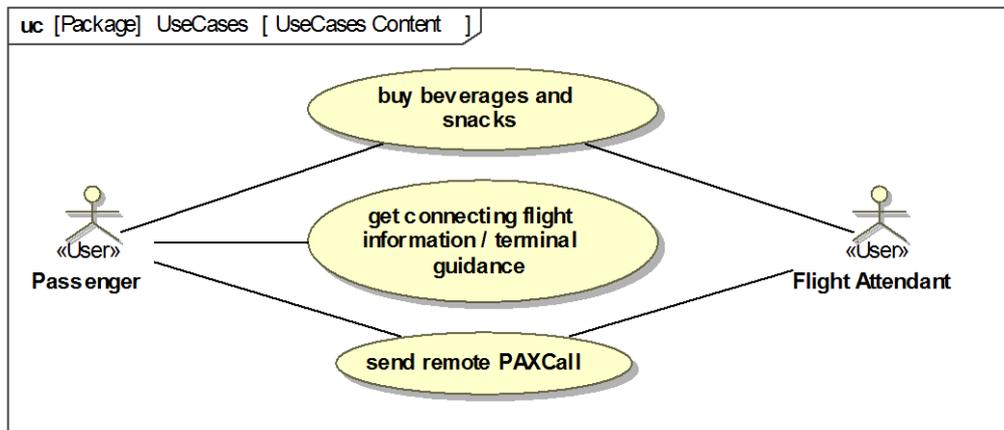


Abbildung 20: Anwendungsfälle mit wichtigen Basis-Funktionalitäten [HPC16]

Weiterhin lassen sich mit diesen Basis-Funktionalitäten auch beinahe alle andere Anwendungsfälle umsetzen, so dass es möglich ist, den so definierten Demonstrator und letztendlich ein späteres System einfach um weitere Funktionen zu ergänzen, ohne dass dabei die grundlegende modulare Architektur geändert werden muss.

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 2.1

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 2.1 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 20.05.2014 Bilaterales Arbeitstreffen bei KID-Systeme, Buxtehude
- 19.06.2014 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 09.12.2014 Arbeitstreffen bei NXP, Hamburg
- 19.03.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 13.10.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 29.10.2015 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg

Liefergegenstände von AP 2.1

- Bei Anwendungsfällen und Anforderungen 10 Basis-Funktionen für das System identifiziert
- Nutzungsszenarien erstellt und mit Basis-Funktionen verglichen
- Interaktionen der Stakeholder bei den Basis-Funktionen analysiert

6.2.5 AP 2.2: Architektorentwurf

Die TUHH hat mit Start des Arbeitspaketes im zehnten Projektmonat damit begonnen, den in AP 2.1 definierten Funktionen Systemkomponenten zuzuweisen und diese Komponenten im Modell anzulegen. Dabei wurde ein rekursiver Aufbau der Paketstruktur für die Systemkomponenten-Ebene im Modell gewählt, der alle relevanten Pakete der Systemebenen enthält, vergl. Abbildung 21. Dieser Aufbau hat sich in anderen Modellen bewährt (z.B. [KW+11]) und ermöglicht dem Betrachter eine

leichte Orientierung. Somit finden sich jetzt auf jeder Systemebene Pakete für die Elemente der ACRE-Ontologie nach [HPB11] wieder: u.a. Anforderungen, Quellen-Elemente, Kontext, Verhalten (für Anwendungsfälle und Szenarien) und Nachverfolgbarkeit.

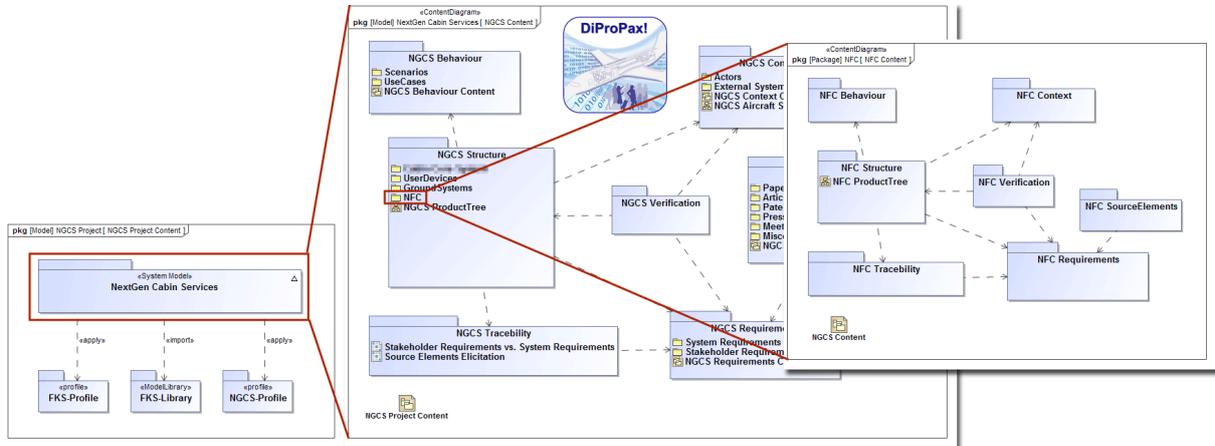


Abbildung 21: Rekursive Paketstruktur im Modell auf Systemkomponenten-Ebene

Ein wesentliches Arbeitsergebnis aus AP 2.1 war die Notwendigkeit einer modularen Systemarchitektur, welche sich mit dem gewählten rekursiven Aufbau hervorragend im Modell anlegen ließ. Hierzu wurde das System in mehrere Subsysteme aufgeteilt, welche dann wiederum die einzelnen Komponenten mit ihrer Hard- und Software beinhalten. Eine Übersicht der modellierten Subsysteme inklusive der einzelnen Komponenten ist in Abbildung 22 zu sehen.

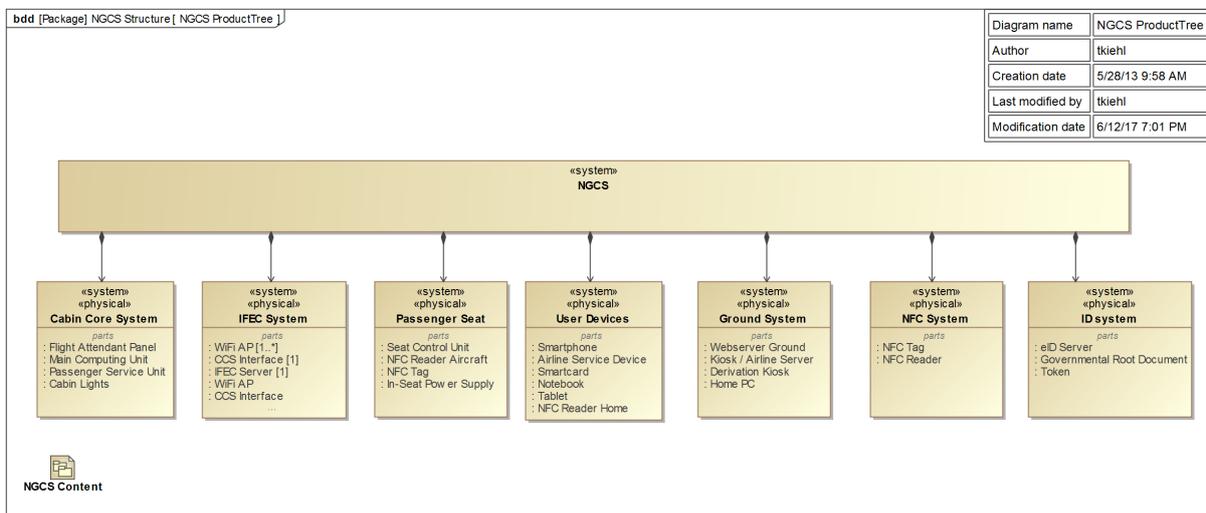


Abbildung 22: Modellierter Systemarchitektur auf Komponenten-Ebene

Da das System in das bestehende Kabinenmanagement-System integriert werden sollte und mit einzelnen bereits existierenden Komponenten interagiert, mussten diese auch modelliert werden (vgl. Abbildung 23). So wurde gewährleistet, dass alle Schnittstellen bekannt waren und Funktionen und Anwendungsfälle den einzelnen Komponenten zugeordnet werden konnten. Im Bereich des Kabinenmanagement-Systems waren dies neben der Bedienschnittstelle der Kabinenbesatzung, dem sogenannten *Flight Attendant Panel* (FAP), insbesondere die *Passenger Service Unit* (PSU), welche sich jeweils über den Sitzplätzen befindet und das Leselicht und den *Pax-Call*-Taster beinhaltet.

Zusätzlich musste auch in Teilen der Hauptrechner der Flugzeugkabine berücksichtigt werden, der die gesamte Steuerung in der Kabine übernimmt. Da nur einzelne Betriebs- und Geschäftsprozesse vom neuen System beeinflusst wurden, war es nicht erforderlich, alle anderen Funktionen des Hauptrechners zu modellieren.

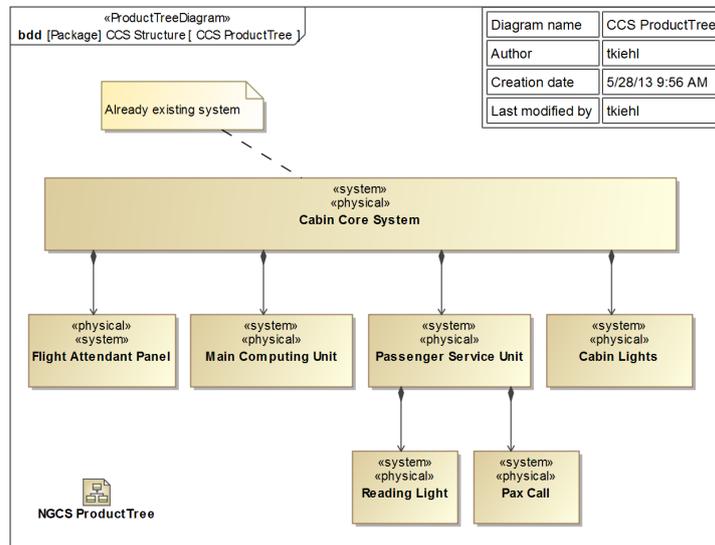


Abbildung 23: Modellerte Systemkomponenten des bestehenden Kabinenmanagement-Systems

Neben dem Hauptrechner des Kabinenmanagement-Systems wurde ein weiterer Server benötigt, welcher die Inhalte für die Anwendungsfälle bereitstellt (z.B. den Webshop oder die Fluginformationen), die Daten und Bestellungen der Passagiere verwaltet und damit als Hauptkomponente des NFC-Systems in der Kabine dient. Dieser klassische *Inflight-Entertainment and Communication* (IFEC)-Server sollte über WLAN *Access Points* mit den mobilen Geräten in der Kabine kommunizieren und musste weiterhin über eine geeignete Schnittstelle zum Kabinen-Hauptrechner verfügen. Auf diese Weise sollten so dann die Anwendungsfälle umgesetzt werden, die entweder eine Kommunikation mit der Flugzeugbesatzung (z.B. Bestellung von Essen und Getränken) oder eine Interaktion mit der Kabinenhardware (z.B. Schalten des Leselichts) erfordern.

Da in AP 2.1 bereits festgestellt worden war, dass sich die mobilen Geräte in ihrer Funktionsvielfalt erheblich unterscheiden, wurden diese jeweils im Paket „User Devices“ modelliert. Dies ermöglichte es, die festgestellten unterschiedlichen Eigenschaften auch direkt im Modell zu hinterlegen und so den einzelnen Anwendungsfällen zuweisen zu können.

Beim funktionalen Entwurf war weiterhin aufgefallen, dass sich je nach verwendeter NFC-Komponente, also aktiver NFC-Reader oder passiver NFC-Tag, der Funktionsumfang aber auch der Systemaufwand erheblich unterscheiden. Aus diesem Grund hat die KID-Systeme zusammen mit der TUHH im Rahmen einer Bachelorarbeit eine umfangreiche Bewertung beider Varianten vorgenommen und erste Erfahrungen mit beiden Lösungen gesammelt [Bac14]. In der zusammenfassenden Darstellung des Vergleichs der beiden Systemlösungen in Abbildung 24 zeigen sich deutliche Unterschiede. Die Variante mit einem passiven NFC-Tag zeichnet sich dabei durch eine leichte Ein- und Nachrüstbarkeit, geringe Kosten und eine geringe Beeinflussung bestehender Kabinensysteme aus. Ein Mehrwert und Nutzen sowohl für den Passagier und die Fluggesellschaft ist in eingeschränktem Maße gegeben, da nicht alle Funktionalitäten abgedeckt werden können. Im Vergleich dazu bietet eine Umsetzungsvariante mit einem aktiven NFC-Reader einen größeren Funktionsumfang, was sich direkt in einem

höheren Mehrwert und Nutzen für den Passagier und die Fluggesellschaften widerspiegelt. Allerdings ist dazu auch eine umfangreiche Integration in bestehende Kabinensysteme notwendig, was wiederum eine Umsetzbarkeit der Variante tendenziell erschwert.

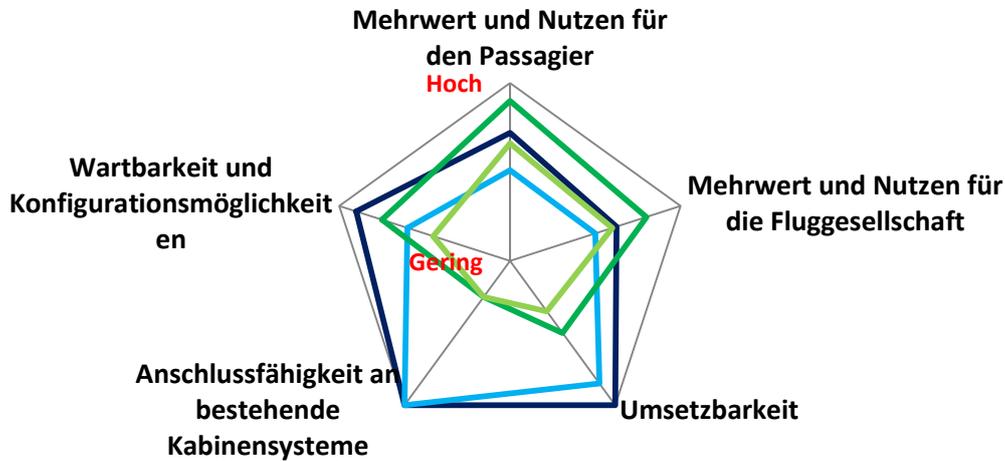


Abbildung 24: Vergleich von Umsetzungsvarianten basierend auf NFC-Readern (grün) und NFC-Tags (blau) [Bac14]

Beide Systemvarianten wurden von Stollmann zusätzlich hinsichtlich der drei NFC-Funktionalitäten *Reader/Writer*, *Card-Emulation* und *Peer-to-Peer* untersucht (vgl. Abbildung 25). Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass sich tendenziell einfachere Vorgänge wie beispielsweise die Übermittlung von statischen Zugangsdaten gut mit der *Reader/Writer*-Funktion umsetzen lässt, wohingegen die Übermittlung von Sicherheitsparametern nur im *Peer-to-Peer* Modus möglich ist. Die Umsetzungsvariante mit einem passiven NFC-Tag erfordert die *Reader/Writer*-Funktion eines mobilen Gerätes und erlaubt somit nicht alle Funktionalitäten. Der technisch deutlich aufwendigere aktive NFC-Reader dagegen lässt sich per Software in alle drei NFC-Kommunikationsmodi versetzen und unterstützt somit alle in AP 1.1 identifizierten Anwendungsfälle [LR10].

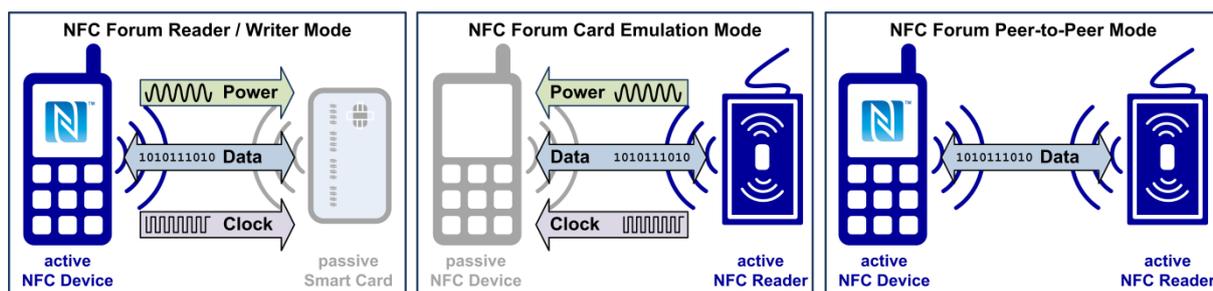


Abbildung 25: Die drei NFC-Funktionalitäten im Vergleich [KG13]

NXP hat beide Varianten hinsichtlich des Komforts für den Nutzer und dem sicherer und zuverlässiger Datenaustausch zwischen dem mobilen Endgerät und dem IFEC-Server untersucht. Die Verwendung des aktiven NFC-Readers ermöglicht im *Peer-to-Peer*-Modus den problemlosen, sicheren Austausch von Daten direkt zwischen dem Endgerät und dem Bordserver. Ein passiver NFC-Tag erlaubt dagegen nur, die darauf hinterlegten Daten für einen Sitzplatzbezug und zum einfachen, sicheren Aufbau einer WLAN-Verbindung zu nutzen. Alle weiteren Funktionalitäten werden anschließend über die WLAN-Verbindung abgewickelt. Diese Variante erfordert aber ein mobiles Endgerät des Nutzers und ist mit Smartcards daher nicht kompatibel.

Zwar kann nicht jede Variante alle grundsätzlich benötigten Funktionalitäten im gleichen Maße abdecken, aber die Analyse der Stakeholder-Anforderungen zusammen mit den Projektpartnern hat gezeigt, dass je nach Marktausrichtung der Fluggesellschaft beide Lösungen angeboten werden können, wobei sich eine deutliche Differenzierung beim Leistungsumfang der jeweiligen Lösungsvariante und bei der Nachrüstbarkeit ergibt. Aus diesem Grund war die Entscheidung aller Partner, dass die Systemarchitektur beide Varianten umfasst und auch im finalen Demonstrator beide Varianten zum Einsatz kommen sollten.

Alle Komponenten im Bereich der Passagiersitze wurden in einem weiteren Paket als Subsystem modelliert und zusammengefasst. Nach der Entscheidung, beide NFC-Umsetzungsvarianten vorzusehen, umfasst dieses Paket sowohl den passiven NFC-Tag als auch den aktiven NFC-Reader, den dazugehörigen Sitzplatz-Controller für die Kommunikation zum IFEC-Server und die Spannungsversorgung, vergl. Abbildung 26. Um die Anzahl der Leitungen in der Kabine möglichst gering zu halten, sollte die Kommunikation mit dem IFEC-Server über das bereits für die Kommunikation mit den PEDs eingeplante WLAN-Netzwerk in der Kabine erfolgen. Somit musste der aktive Reader nur noch über eine Spannungsversorgung verfügen. Die Kommunikation zwischen dem Sitzplatz-Controller und dem IFEC-Server sollte über ein separates, verschlüsseltes WLAN Service Set mit eigener SSID²⁷ abgewickelt werden, um eine direkte Trennung zur WLAN-Kommunikation mit den PEDs herzustellen.

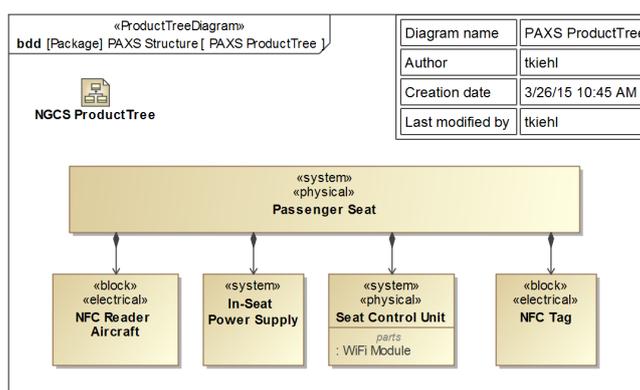


Abbildung 26: Modellierte Systemarchitektur des Passagiersitzes

Speziell für die durchgängige Tür-zu-Tür-Prozesskette wurden weitere Systemkomponenten am Boden benötigt. Neben dem Kiosk-System zur Identitätsableitung sind dies auch der eID-Server sowie ein Server der Fluggesellschaft zur Verwaltung und Bereitstellung der Passagierkonten und Reisebuchung. Dabei besteht das von NXP entworfene Kiosk-System, welches in Abbildung 27 abgebildet ist und sich üblicher Weise dann am Flughafen befinden soll, aus einem Computer mit Bildschirm und WLAN bzw. Bluetooth *Access Point*, an welchen zusätzlich ein aktiver NFC-Reader angebunden ist. Der Computer kann einerseits eine Verbindung zum eID-Server und andererseits über den Bildschirm (2D-Barcode) und die *Access Points* eine drahtlose Verbindung zum mobilen Gerät des Passagiers bzw. der Kabinenbesatzung aufbauen. Die hoheitlichen Wurzeldokumente (Personalausweis oder Reisepass) werden über den NFC-Reader ausgelesen. Für die Kommunikationsdaten wurde eine APDU²⁸-Schnittstelle definiert, welche verschiedene Wurzeldokumente unterstützt und die NFC-Kommunikation zentralisiert.

²⁷ Service Set Identifier, allgemein häufig als Netzwerkname des WLANs bezeichnet

²⁸ Application Protocol Data Unit

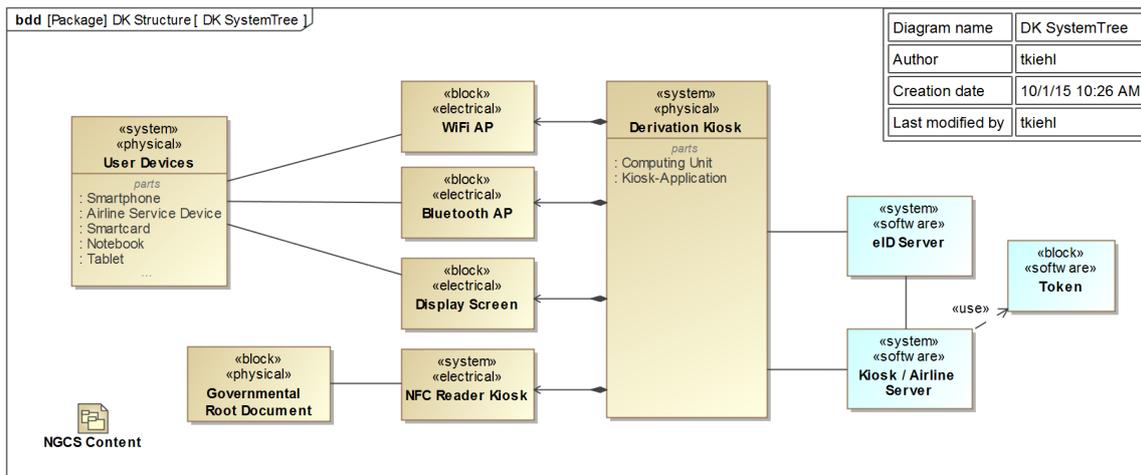


Abbildung 27: Modellerte Systemarchitektur des Kiosk-Systems am Flughafen

Neben der Hardware-Architektur mussten auch die dazugehörigen Software-Architekturen mit den Projektpartnern zusammen entworfen und modelliert werden. Hierbei waren neben den funktionalen Anforderungen aus AP 2.1 auch insbesondere praktische Erfahrungen aus den Arbeitspaketen 2.3 sowie 3.1 bis 3.3 zu berücksichtigen, so dass die zuerst entworfenen Architekturen mehrfach leicht modifiziert werden mussten. Insbesondere durch das zusätzliche, während der Projektlaufzeit ergänzte Arbeitspaket 3.5, welches einerseits den Detail- und Realitätsgrad im Bereich der Identitätsableitung erheblich auf Seiten von NXP verbesserte und andererseits bei der TUHH die zur Verfügung stehende Demonstrator-Hardware deutlich vergrößerte, waren mehrfache Änderungen an der Software-Architektur notwendig. Dies betraf maßgeblich die Software-Architektur des IFEC-Servers, die in ihrer finalen Version in Abbildung 28 dargestellt ist und die sowohl die Komponenten zur Kommunikation mit den Sitzplatz-Controllern, als auch die Token-Verwaltung und den Webserver umfasst. Zusätzlich sind auch Software-Komponenten zur Kommunikation mit dem bestehenden Kabinenmanagement-System vorgesehen worden. Eine detaillierte Beschreibung dieser einzelnen Komponenten findet sich in den Beschreibungen der Arbeitspakete 3.3 und 3.5.

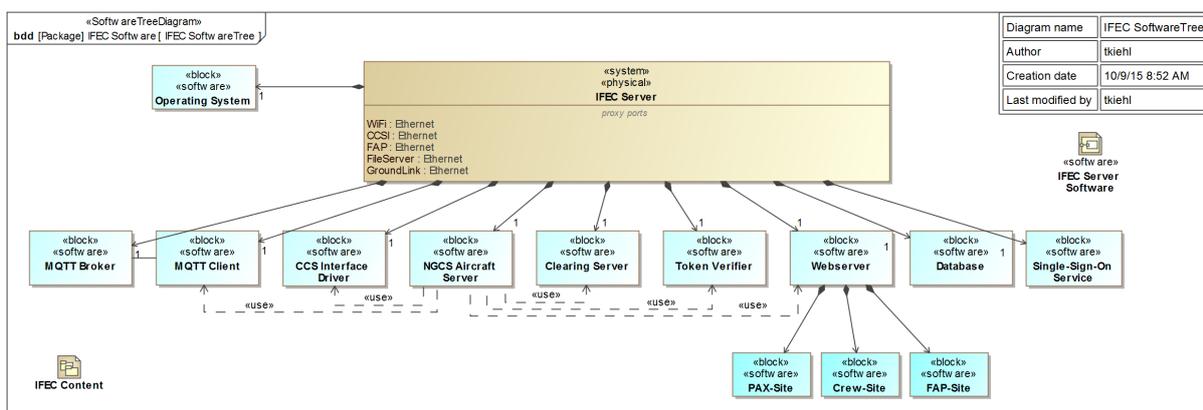


Abbildung 28: Modellerte Software-Architektur des IFEC-Servers



Erfolgte Arbeitstreffen von AP 2.2

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 2.2 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 09.10.2014 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 09.12.2014 Arbeitstreffen bei NXP, Hamburg
- 23.01.2015 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 19.03.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 29.04.2015 Bilaterales Arbeitstreffen bei Stollmann, Hamburg
- 06.07.2015 Meilensteintreffen an der TUHH, Hamburg
- 13.10.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 29.10.2015 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 24.11.2015 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 11.12.2015 Bilaterales Arbeitstreffen bei Stollmann, Hamburg

Liefergegenstände von AP 2.2

- Rekursive Paketstruktur im SysML-Modell für Systemebenen entwickelt und angelegt
- Hard- & Software-Architektur aller Systemkomponenten in SysML modelliert
- Umsetzungsvarianten mit aktivem NFC-Reader oder passivem NFC-Tag analysiert

6.2.6 AP 2.4: Schnittstellenintegration

Nachdem die Projektpartner erste Komponenten aus Arbeitspaket 2.3 zur Verfügung stellen konnten, konnte die TUHH mit den Arbeiten zur Integration dieser Komponenten in eine Flugzeugumgebung beginnen. Mit einem ersten Prototyp des NFC-Readers am Flugzeugsitz, der durch den Projektpartner Stollmann entworfen worden war, wurden erste Integrationstests durchgeführt. Dabei stand vor allem die Positionierung der eigentlichen NFC-Antenne (also dem USB-Stick) im Vordergrund, da einerseits eine gute Erreichbarkeit durch den Passagier gewährleistet und andererseits eine gute Lesereichweite des Readers erzielt werden muss. Dazu wurden mehrere Einbaupositionen untersucht. Generell konnte immer eine Kommunikation zwischen NFC-Reader und mobilem Passagiergerät initiiert werden, allerdings unterschieden sich die Positionen hinsichtlich ihres Passagierkomforts und der Lesereichweite. Als Favoriten dieser Testreihe ließen sich eine Einbauposition in der Rückenlehne des Vordersitzes, wie in Abbildung 29 links zu erkennen ist, sowie der Einbau in die Armlehne des eigenen Sitzes, welche in Abbildung 29 rechts dargestellt wird, identifizieren. Durch entsprechende mechanische Bearbeitung der Sitzbauteile wären sicherlich noch Optimierungen in der Lesereichweite erzielbar gewesen, allerdings waren bereits ohne Veränderungen der Originalteile Reichweiten von etwa 2 bis 4 cm je nach verwendetem Smartphone bzw. Tablet möglich, die für eine stabile Kommunikation völlig ausreichend sind.



Abbildung 29: Untersuchung möglicher Einbaupositionen für die NFC-Antenne (links) in der Rücklehne des Vordersitzes, (rechts) in der Armlehne

Zusammen mit dem Projektpartner KID-Systeme wurden mögliche Lösungen für die Kommunikation zwischen dem Kabinenmanagementsystem (A380 CIDS) und dem Flugzeugserver (HESU) untersucht. Damit die über die mobilen Passagiergeräte eingegebene Bestellungen und Wünsche optimal in bestehende Betriebsprozesse der Kabinenbesatzung integriert werden können, sollte die Kabinenbesatzung möglichst bekannte und genutzte Benutzerschnittstellen verwenden können. Erste Priorität war daher die Nutzung des FAP zur Kommunikation mit der Kabinenbesatzung. Allerdings ist aus Gründen der Systemsicherheit die Kommunikation zum CIDS erheblich restringiert und so konnten im Rahmen dieses Projektes nur vorhandene Schnittstellen verwendet werden. Dazu gehörten neben der Möglichkeit, webbasierte Inhalte im FAP der Kabinenbesatzung anzuzeigen, auch die Schnittstelle zum *Passenger Entertainment System* (PES), welche eine Übermittlung von sitzplatzbezogenen Informationen zwischen den beiden Systemen zulässt. Beide Schnittstellen sind in Abbildung 30 dargestellt.

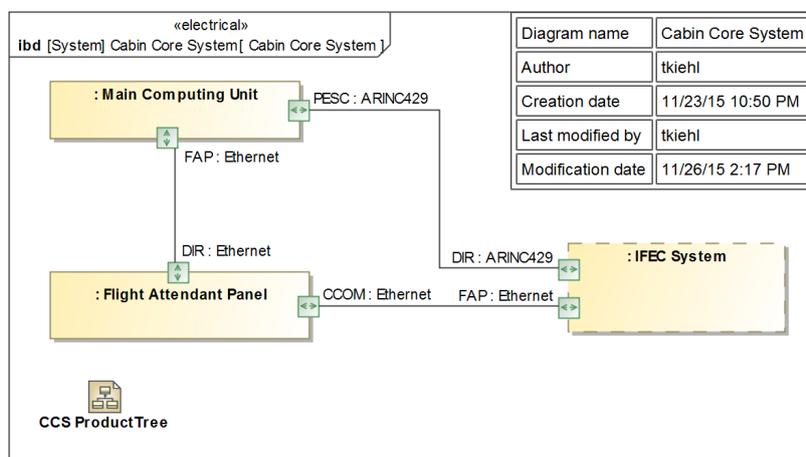


Abbildung 30: Modellierter elektrische Schnittstellen zwischen dem IFEC-System und dem vorhandenen Kabinenmanagementsystem

Während die Schnittstelle zwischen dem IFEC-Server und dem FAP als konventionelles Ethernet ausgeführt ist, ist die PES-Schnittstelle auf Seiten des CIDS als ARINC 429-Bus [Con02], einem dedizierten Datenbus für Avionik-Komponenten, ausgelegt. Unter Nutzung von internen System-Informationen, die von der KID-Systeme bereitgestellt wurden, hat die TUHH dann im Rahmen einer Masterarbeit ein entsprechendes hardwarebasiertes Wandler-Modul entworfen [Spe16]. Dabei sollte das Modul, wie in Abbildung 31 dargestellt, auf der einen Seite wiederum über konventionelles Ethernet angesprochen werden und dann auf der anderen Seite gültige ARINC 429-Signale bidirektional senden und empfangen können.



Abbildung 31: Schnittstellenwandler für den ARINC 429-Bus des CIDS Directors [Spe16]

Der Schnittstellenwandler sollte auf der *Embedded* Plattform *Arduino* basieren und um eine selbstentwickelte Platine ergänzt werden, die die Generierung und den Empfang des ARINC-Signals jeweils in Echtzeit übernimmt. Insbesondere die Echtzeit-Anforderungen stellten eine Herausforderung dar, die mehrere Ansätze mit verschiedenen Hardware-Architekturen notwendig machten, wie in Abbildung 32 zu sehen ist. Nach umfangreichen Systemtests kann das fertige Modul nun per gängigem TCP/IP²⁹ über eine Ethernet-Verbindung angesteuert und auch außerhalb des Projektes z.B. für die Lehre sehr gut verwendet werden.

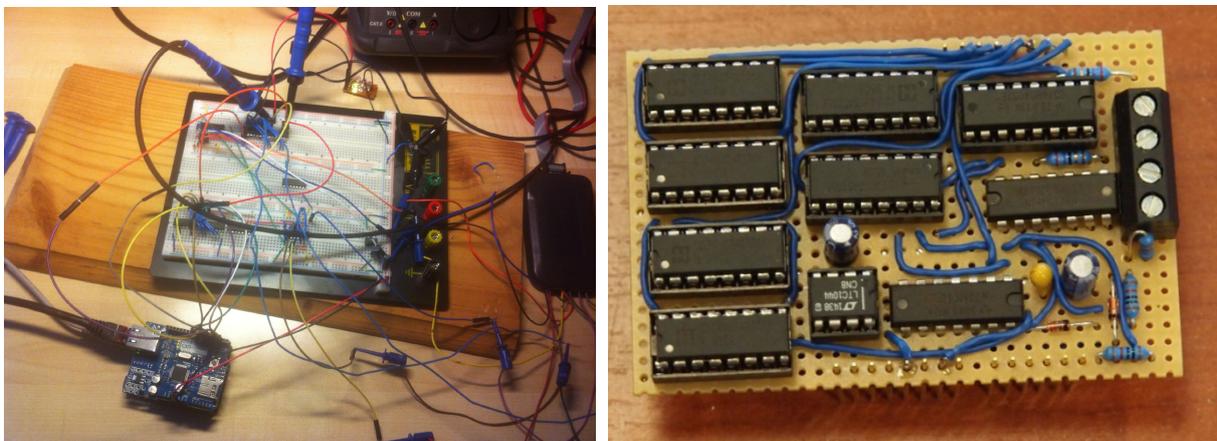


Abbildung 32: ARINC 429 Schnittstellenwandler-Modul als erste Versuche auf einem Steckboard (links) und als fertige Zusatzplatine (rechts) [Spe16]

Basierend auf der zusammen mit den Experten von Airbus und NXP in Arbeitspaket 1.4 neu entwickelten Methodik zur Messung der EMV der NFC-Technologie hat die TUHH in diesem Arbeitspaket umfangreiche Messreihen mit handelsüblichen PEDs durchgeführt. Ziel dabei war es, Worst-Case-Szenarien zu identifizieren, um anschließend zuverlässige Aussagen zur sicheren Verwendung der NFC-Technologie an Bord eines Flugzeuges treffen zu können.

Bevor umfangreiche Investitionen in die dazu notwendigen Messkomponenten getätigt wurden, wurde ein prototypischer Test mit vorhandenen Bauteilen und Systemen durchgeführt, wie er in

²⁹ Transmission Control Protocol / Internet Protocol

Abbildung 33 zu erkennen ist. Hierbei ließ sich bereits sehr gut erkennen, dass durch die induktive NFC-Kommunikation Ströme in Leitungen induziert werden. Dies ließ sich auch im reinen Such- bzw. Standbymodus (also ohne weitere Gegenstelle) nachweisen, der durch das Einschalten der NFC-Schnittstelle eines Smartphones aktiviert wird. Auch wenn die Größe der induzierten Ströme stark von der Entfernung zwischen Smartphone und Leitung abhing und diese Ströme bei Entfernungen von mehr als zehn Zentimeter kaum mehr nachweisbar waren, war folglich eine umfangreichere EMV-Untersuchung für präzise Aussagen notwendig.

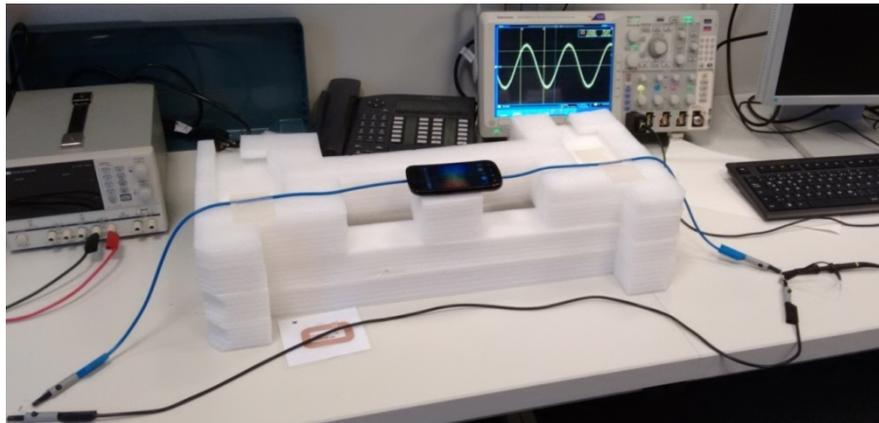


Abbildung 33: Prototypischer Messaufbau für die EMV-Messung zur Auswirkung der NFC-Kommunikation auf (Flugzeug-)Leitungen

Damit bei den Messreihen eine Beeinflussung der Ergebnisse durch den Messaufbau an sich (im Gegensatz zum Aufbau in Abbildung 33) nahezu ausgeschlossen werden konnte, musste zunächst ein geeigneter Messstand entworfen werden. Dieser sollte in der Lage sein, entsprechend der Messmethodik aus Abbildung 17 den maximalen Strom in einer geraden Leitung zu ermitteln, der durch die Beeinflussung mit einem NFC-fähigen PED induziert wird. Da die Charakteristik der NFC-Magnetfelder zunächst sehr unklar war, sollte der Aufbau ermöglichen, dass das PED über der Leitung gedreht und verschoben sowie der Abstand verändert werden kann. Abbildung 34 zeigt den entworfenen, vollständig aus Holz bestehenden Messaufbau.

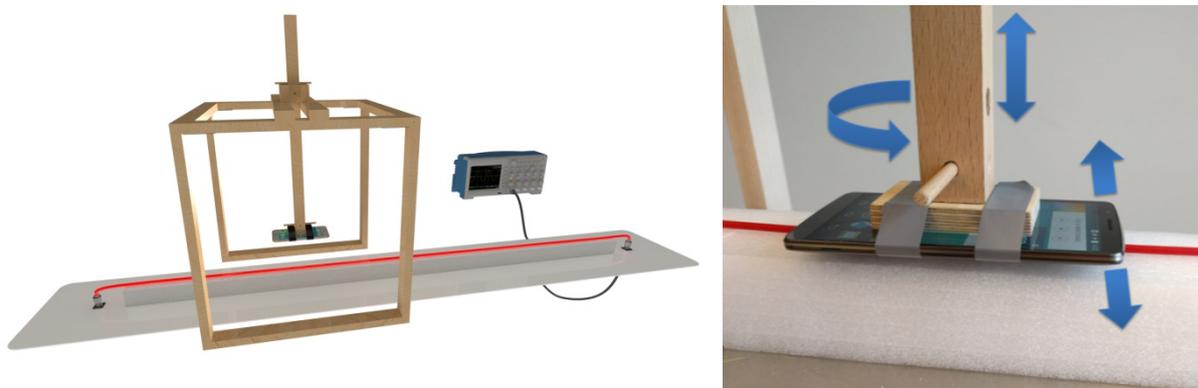
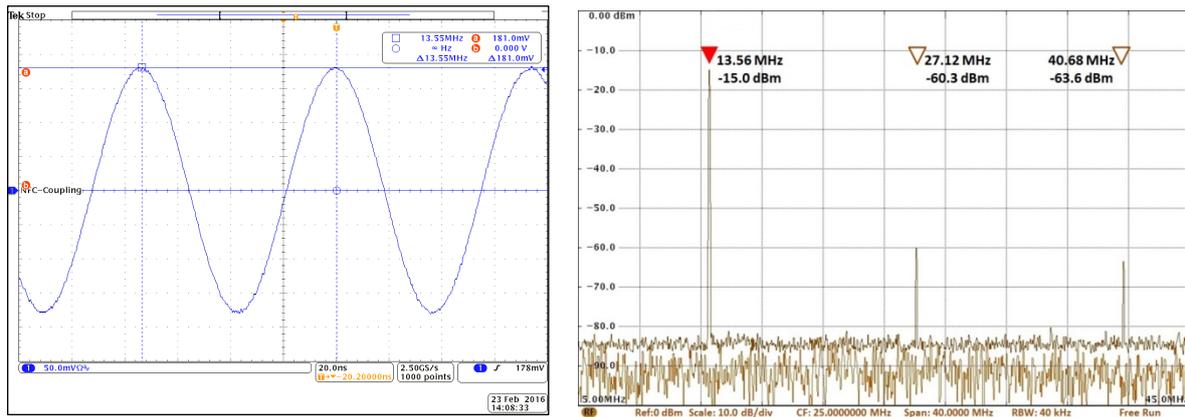


Abbildung 34: Messaufbau zur Erzeugung der maximalen Induktion bei einem gegebenen Abstand durch Drehen und Verschieben des PED [NK+16]

Die TUHH wurde für die anschließenden Messreihen von den Partnern Stollmann und NXP durch die umfangreiche Bereitstellung von aktuellen mobilen Passagiergeräten (Smartphones und Tablets) unterstützt. Auf diese Weise konnten 17 Smartphones und 2 Tablets der Hersteller BlackBerry, HTC,

LG, Nokia, Samsung und Sony auf dem Messtand getestet werden. Dabei war festzustellen (vgl. Abbildung 35), dass bei allen Geräten das NFC-Signal ein sehr schmalbandiges Sinussignal bei 13,56 MHz ist, welches zwar Harmonische aufweist, die aber um ein Vielfaches schwächer ausfallen und daher nicht weiter berücksichtigt werden müssen [Ro11]. Eine nennenswerte Beeinflussung der Feldstärke durch andere aktivierte Funktionen im PED (UMTS, WLAN, Bluetooth etc.) oder ein Einfluss durch den Ladestand des Akkus konnte nicht festgestellt werden. Weiterhin sorgte der NFC-Reader/Writer-Modus, der eine Art Grundmodus des PED ohne NFC-Gegenpartner darstellt, für das stärkste Sendesignal.



**Abbildung 35: Charakteristika des NFC-Signals:
Eindeutiges Sinus-Signal bei 13,56 MHz (links) mit schwachen Harmonischen (rechts) [NK+16]**

Wie zu erwarten traten die größten induzierten Ströme im Kabel beim kleinstmöglichen Abstand auf und nahmen aufgrund der physikalischen Eigenschaften eines Magnetfeldes schnell bei größerem Abstand ab. Dieses generelle Verhalten konnte bei jedem vermessenen Gerät beobachtet werden, allerdings waren erhebliche Unterschiede hinsichtlich des maximalen Induktionsstroms zwischen den Geräten zu beobachten. Abbildung 36 zeigt die Messergebnisse des stärksten (PED #8) sowie des schwächsten (PED #10) Passagiergeräts. Allen Geräten gemeinsam ist die Tatsache, dass der induzierte Strom immer kleiner als 7,5 mA war, dem Grenzwert für die Zertifizierung von Flugzeuggeräten der untersten Kategorie T nach dem Standard [DO-160G].

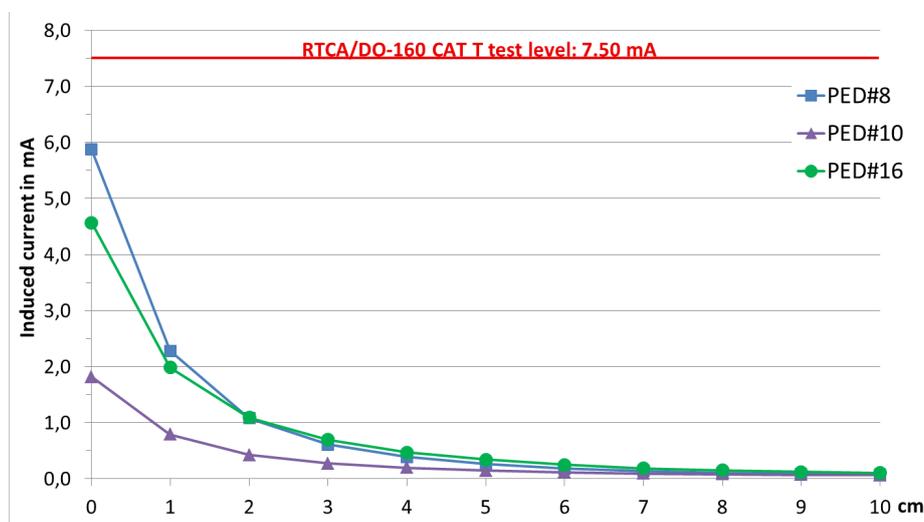


Abbildung 36: Maximale induzierte Ströme ausgewählter Passagiergeräte in Abhängigkeit vom Abstand zum Messkabel und relevanter Grenzwert nach RTCA DO-160 [NK+16]

Diese völlig neuartige Untersuchung und die so gewonnen Ergebnisse wurden beim „2016 ESA Workshop on Aerospace EMC“ in Valencia, Spanien dem anwesenden Fachleuten erfolgreich vorgestellt und publiziert [NK+16]. Anhand der Ergebnisse lässt sich auf den ersten Blick eine negative Beeinflussung von entsprechend zertifizierten Flugzeuggeräten durch die NFC-Schnittstelle von mobilen Passagiergeräten ausschließen.

Allerdings ist die NFC-Antennenleistung eines mobilen Passagiergeräts stark durch die vorhandene Akku-Kapazität und die in ihrer Größe eingeschränkte Antenne beschränkt. Um hierzu relevante Aussagen treffen zu können, wurde in einem nächsten Schritt der vorhandene Messaufbau modifiziert und entsprechend Abbildung 17 aufgebaut. Dabei wurden die zuvor vorherrschenden Restriktionen durch die Verwendung einer großen, leistungsfähigen Rahmenantenne sowie einem Signal-Generator mit zusätzlichem Leistungsverstärker umgangen. Die Zusammenstellung aller Mess-Komponenten zeigt Abbildung 37.

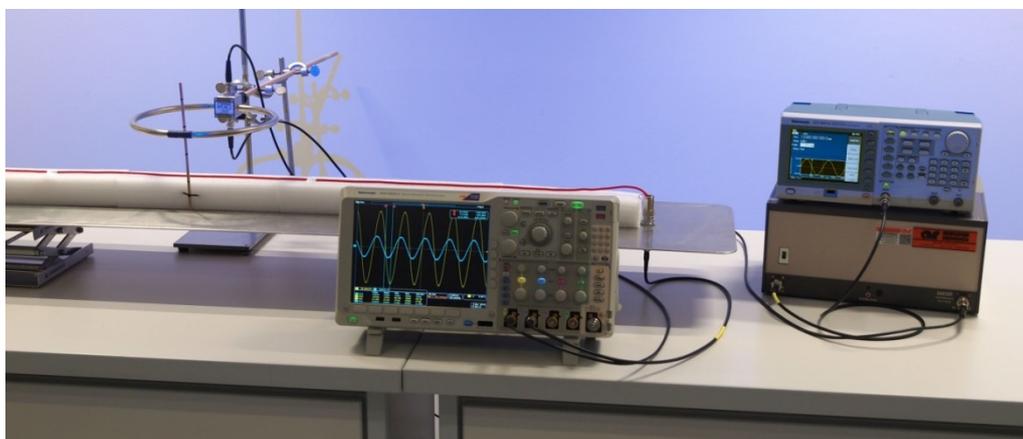


Abbildung 37: Komponenten des erweiterten Messaufbaus [SK+17]

Weiterhin sollte untersucht werden, ob alternative Leiter-Geometrien und Anordnungen zur NFC-Antenne noch größere induzierte Ströme zur Folge haben. Um die dabei auftretenden elektromagnetischen Felder besser verstehen und Grenzfälle leichter identifizieren zu können, wurde zusätzlich eine elektromagnetische Feldsimulation des Messaufbaus mit dem Feldsimulator *CONCEPT-II* [TET17] erstellt und validiert (vergl. Abbildung 38). Gut zu erkennen sind die lokalen Feldstärkemaxima des elektrischen Feldes rund um die NFC-Antenne. Eine Erkenntnis der Simulation war, dass je eher die Leitergeometrie den Abmessungen der Antenne entspricht, desto größer der induzierte Strom ist. Diese Beobachtung deckte sich mit den theoretischen Untersuchung einer vergleichbaren Publikation aus 2006 [KA06]. Weiterhin können je nach gewählter Sendefeldstärke auch induzierte Ströme auftreten, die um ein vielfaches größer als die zuvor ermittelten Werte mit mobilen Passagiergeräten sind.

Diese neuen Erkenntnisse wurde bei einer weiteren Konferenz, dem „6th International Workshop on Aircraft System Technologies“, vorgestellt und veröffentlicht [SK+17]. Auf Grund der benötigten Sendeleistung und der Abmessungen der Antenne sind diese Ergebnisse eher wissenschaftlich-theoretischer Natur. Für die Verwendung einer NFC-Schnittstelle in einer Flugzeugumgebung stellt diese Worst-Case-Betrachtung nicht den tatsächlich auftretenden Real-Fall dar und dient vielmehr dem Verständnis der Feldeigenschaften. Neben der sehr hohen Abstandsabhängigkeit ist hierbei vor allem der (negative) Einfluss von Leiterstrukturen mit ähnlichen Abmessungen zu nennen.

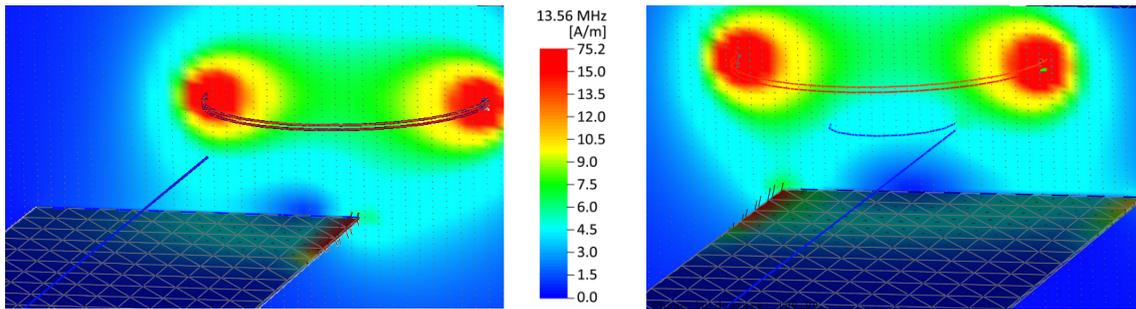


Abbildung 38: Simulierte Magnetfeldverteilung für einen geraden Leiter (links) und eine 100 mm Leiterschleife (rechts) bei einem Antennenabstand von 5 cm [SK+17]

Nachdem festgestellt wurde, dass insbesondere die Leiter-Geometrie einen erheblichen Einfluss auf die induzierten Ströme hat, sollten im letzten Schritt realistische, in einem Flugzeug prinzipiell auftretende Szenarien wieder mit realen PEDs untersucht werden. Hierzu musste zunächst die vorhandene EMV-Simulation angepasst werden, damit zielsicher mit realen Werten und Antennenabmessungen nach Worst-Case-Szenarien gesucht werden konnte. Da sich die hierfür benötigten Werte nicht von einem handelsüblichen PED mit integrierter NFC-Funktionalität ermitteln ließen, wurde ein NFC-Entwicklungsboard der Firma NXP verwendet, das in Abbildung 39 abgebildet ist. Dieses entspricht sowohl von den Antennen-Abmessungen als auch dem verwendeten NFC-Chipsatz stark den NFC-Komponenten, die aktuell in PED verbaut sind, und ermöglichte, ein präzises Simulationsmodell zu erstellen. Dieses Modell konnte durch die Vermessung des realen NFC-Feldes mit Hochpräzisions-Magnetfeldsonden validiert werden.

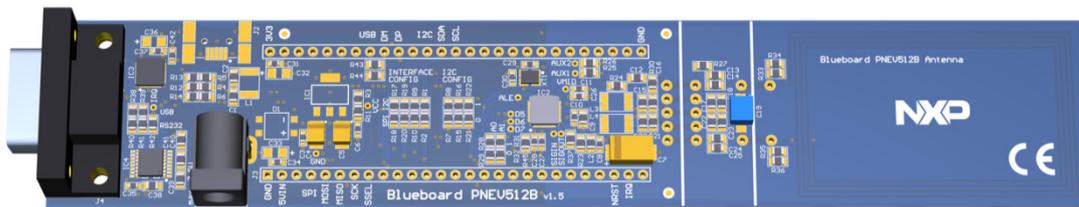


Abbildung 39: NFC-Entwicklungsboard PNEU512B „Blueboard“ der Fa. NXP Semiconductors [NXP14]

Entsprechend der bereits zuvor gemachten Untersuchungen wurden anschließend Leiter-Geometrien untersucht, die in den Abmessungen der NFC-Antenne ähneln. Dabei wurde einerseits die Abmessungen und Art der Leiterschleife (rechteckige und runde mit verschiedenen Durchmessern) und andererseits die Anzahl der Windungen variiert (vgl. Abbildung 40).

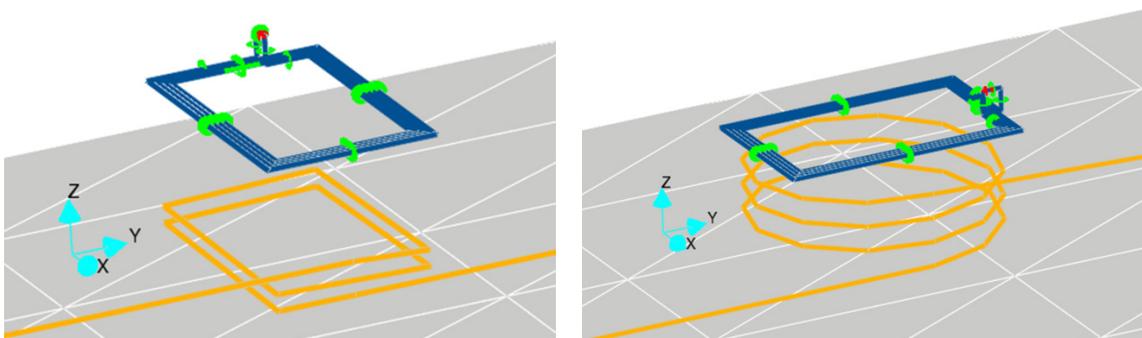


Abbildung 40: Simulationen einer NFC-Antenne über einer Leitung mit verschiedenen Geometrien: Rechteckige Leiterschleife mit 2 Windungen und gleichen Abmessungen (links) und runde Leiterschleife mit 3 Windungen und einem 5 cm Durchmesser (rechts) [KS+17]

Nachdem mehrere Worst-CaseSzenarien ermittelt wurden, wurden diese anschließend in einer aufwendigen, mehr als 1500 Einzelmessungen umfassenden Messkampagne mit realen PEDs auf dem Messstand von Abbildung 34 untersucht. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Geometrie der Leiterschleife einen erheblichen Einfluss auf die induzierten Ströme hat, wie in Abbildung 41 gut beim Vergleich zwischen einem geraden Leiter (grün) und einer Leiterschleife mit 3 Windungen (rot) zu erkennen ist. Allerdings variierten die Ergebnisse, wie auch schon bei der ersten Messkampagne, stark zwischen den einzelnen PED und grundsätzlich war zu beobachten, dass die induzierten Ströme ausschließlich bei extrem kleinen Abständen zwischen PED und Leitung auftraten.

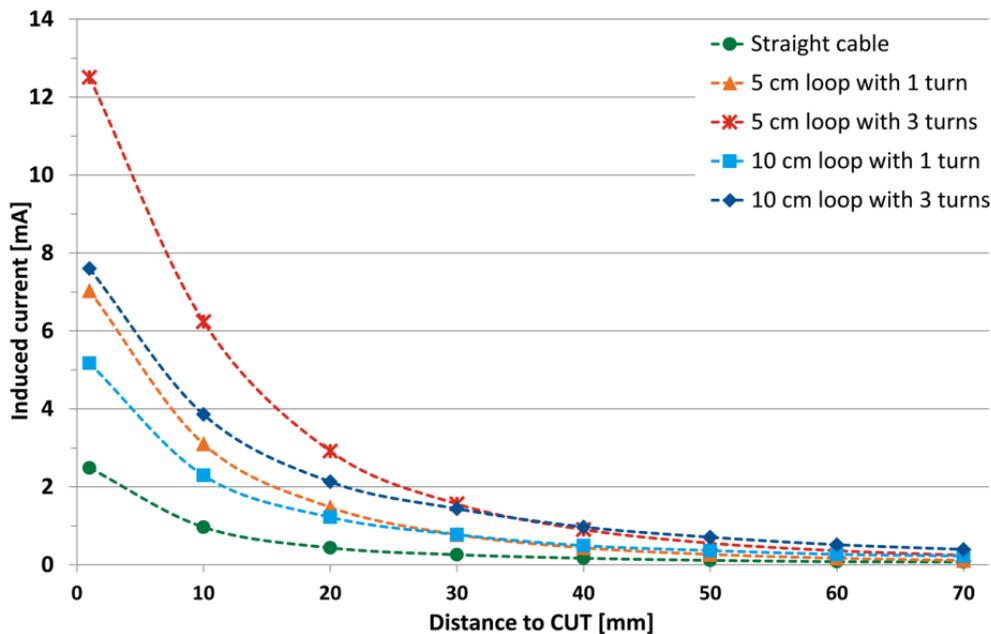


Abbildung 41: Induzierte Ströme eines leistungsstarken PED bei verschiedenen Leitergeometrien [KS+17]

Diese Erkenntnisse, verbunden mit dem Fazit, dass eine sichere Nutzung der NFC-Technologie in der Flugzeugkabine prinzipiell unter Berücksichtigung einiger Punkte möglich ist, wurde kurz nach Projektabschluss auf dem Fachkongress „SAE 2017 AeroTech Congress & Exhibition“ in Fort Worth, USA vorgestellt und veröffentlicht [KS+17].

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 2.4

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 2.4 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 06.07.2015 Meilensteintreffen an der TUHH, Hamburg
- 13.10.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 24.11.2015 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 25.11.2015 Telefonkonferenz mit KID-Systeme
- 26.01.2016 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 11.10.2016 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg

Liefergegenstände von AP 2.4

- Verschiedene Einbauorte für NFC am Flugzeugsitz getestet und miteinander verglichen
- Schnittstellenwandler für die Anbindung an das Kabinenmanagementsystem entwickelt
- Simulationsmodell für NFC-Antennen entwickelt und getestet
- EMV-Prüfstand mit NFC-Messantennen und PED-Halterung entwickelt und aufgebaut
- 16 PEDs und NFC-Rahmenantennen hinsichtlich Emissionen vermessen
- Worst-Case-Analyse durchgeführt und 3 Publikationen dazu veröffentlicht

6.2.7 AP 3.3: Aufbau und Integration NFC am Passagiersitz

Basierend auf den Ergebnissen im Arbeitspaket 2.4 und dem Architekturentwurf in AP 2.2 konnte die TUHH die Integration der NFC-Komponenten in den Kabinendemonstrator vornehmen. Hierzu wurden, wie in Abbildung 42 gezeigt, einerseits die passiven NFC-Tags an geeigneter Stelle auf die Armlehnen der Passagier-Sitzplätze geklebt und andererseits wurden die aktiven NFC-Reader-Module in die Passagier-Sitze integriert. Diese Integration war erwartungsgemäß deutlich aufwendiger, da zunächst die Sitz-Controller unter den Sitzen befestigt werden mussten. Im nächsten Schritt wurde der eigentliche NFC-Reader in die Armlehnen der Passagiersitze eingebaut und über ein USB-Kabel mit dem Haupt-Modul verbunden.



Abbildung 42: NFC-Varianten am Passagiersitz: passiver NFC-Tag (links) und Antenne des aktiven NFC-Reader-Moduls in der Armlehne (rechts)

Durch die Projektaufstockung konnte der Demonstrator mit realen Flugzeugkomponenten zur Spannungsversorgung der aktiven Reader bzw. des Sitz-Controllers ausgerüstet werden. Die Wahl fiel hierbei auf Grund der guten Kompatibilität mit dem bestehenden A380-Kabinenmanagementsystem auf das SKYpower-System der KID-Systeme. Dieses besteht aus mehreren Komponenten (vgl. Abbildung 43): Der ISPC (*In-Seat Power Converter*) wird mit den flugzeugkonformen 115 V AC mit 400 Hz versorgt und stellt an seinen Ausgängen Gleichspannung für die eigentlichen USB-Steckdosen an den Sitzen zur Verfügung. Die Sitz-Controller werden dann jeweils mit den 5 V DC aus den USB-Steckdosen versorgt.

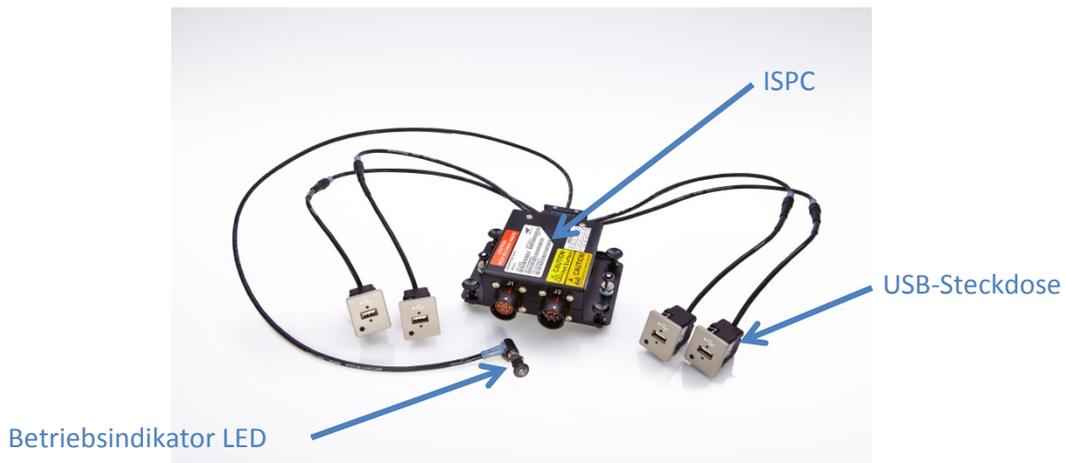


Abbildung 43: SKYpower-Komponenten für die Stromversorgung der aktiven NFC-Reader-Module am Passagiersitz

Bei der Auswahl des Sitz-Controllers wurde aufgrund des hervorragend Preis-/Leistungsverhältnisses und einer flexiblen Architektur in Abstimmung mit dem Projektpartner Stollmann (bzw. Telit) ein *Raspberry Pi 2B* ausgewählt. Dieser ist für einen späteren Produkteinsatz in der Flugzeugkabine zwar erheblich überdimensioniert, eignet sich aber als Forschungsplattform hervorragend, da verschiedenste Software-Architekturen darauf implementiert werden können. Für die Kommunikation mit dem Flugzeugserver mussten *Raspberry Pis* um zusätzliche USB-WLAN-Module ergänzt werden. Weiterhin wurde ein konfigurierbarer WLAN *Access Point* in den Kabinen-Demonstrator integriert, der mit dem IFEC-Server via Ethernet verbunden ist. Ein dediziertes WLAN-Funknetz (eigene SSID) sorgt für eine logische Trennung des Netzwerkverkehrs von der Kommunikation mit den Passagiergeräten. Abbildung 44 zeigt die gesamte Hardware-Architektur des NFC-Systems in der Flugzeugkabine.

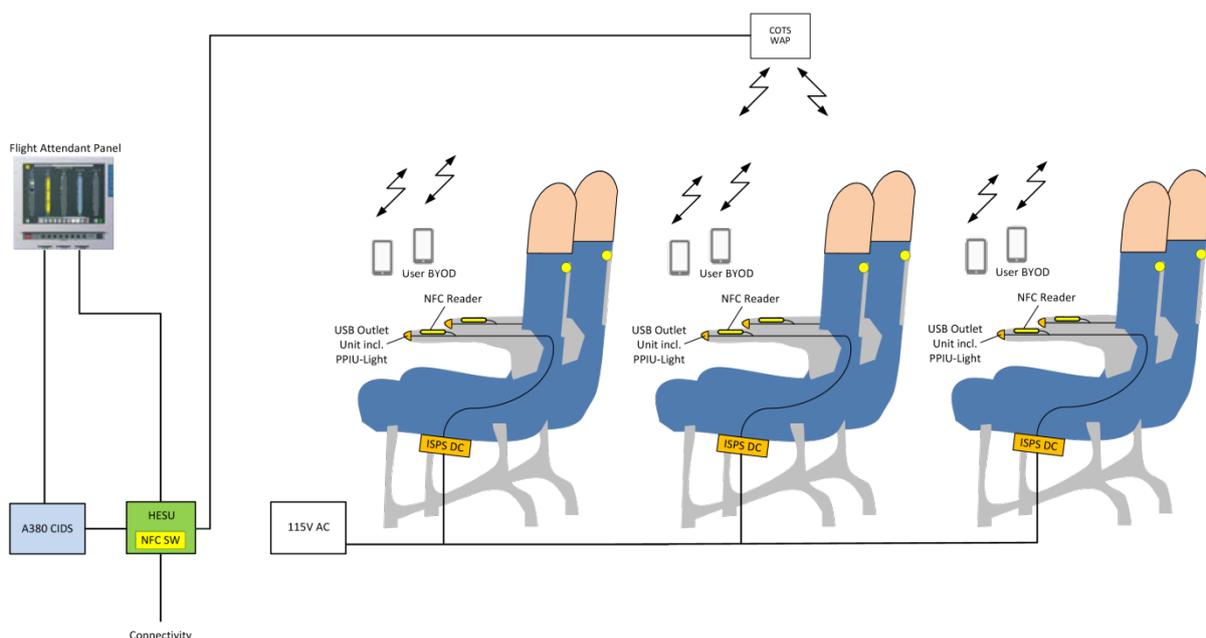


Abbildung 44: Hardware-Architektur für das NFC-System in der Flugzeugkabine



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



Nachdem der Einbau der NFC-Hardware an den Flugzeugsitzen des Demonstrators durchgeführt worden war, musste im nächsten Schritt noch die Software erstellt und angepasst werden. Für die verbauten NFC-Tags war dies sehr einfach, da sie z.B. mit einem NFC-fähigen Smartphone und einer entsprechenden Applikation (z.B. „NXP TagWriter“ für Android) beschrieben werden konnten. Es war geplant, dass auf den NFC-Tags drei Informationen hinterlegt werden:

- Sitzplatzbezug, also eine verschlüsselte Angabe des entsprechenden Sitzplatzes
- Zugangsdaten zum WLAN-Netzwerk der Passagiergeräte
- Adresse (URL³⁰) des bordeigenen Web-Portals bzw. des Webshops

Dabei sollte der Sitzplatzbezug als Argument beim Aufrufen des Web-Portals übergeben werden, um so dem Server die Position des anfragenden Passagiers mitzuteilen. Die Wahl hierfür fiel auf den eigens für solche Zwecke vom *NFC-Forum* definierten *URI Record*. Für die einfache Übermittlung der Zugangsdaten zum WLAN-Netzwerk ist vom *NFC-Forum* ein spezieller *NDEF Record Type* definiert, der die SSID-Zugangsdaten (SSID und WPA2³¹-Key) verschlüsselt abspeichern kann und dann entsprechend der *NFC Forum Connection Handover Specification* eine Anmeldung am hinterlegten WLAN durchführen kann. Allerdings ist diese Funktion aktuell nur auf PEDs mit dem Betriebssystem *Android* verfügbar. Weiterhin war festzustellen, dass nur ein Typ an Informationen auf einem NFC-Tag abzuspeichern ist und sich die komfortable Aktionskette aus automatischem Anmelden am WLAN und direktem Aufruf des Web-Portals mit den aktuell zur Verfügung stehenden NFC-Implementierungen nicht umsetzen ließ. Somit wurde dann auf den NFC-Tags nur die für die Dienstleistungen in der Kabine wichtigere Sitzplatzangabe mit der Web-Adresse hinterlegt und anschließend die NFC-Tags für weitere Schreibvorgänge final gesperrt, um einem Missbrauch vorzubeugen.

Die Software für die aktiven NFC-Reader wurde vom Projektpartner Telit (ehemals Stollmann) zugeiefert. Hierzu fanden zuvor mit der TUHH Abstimmungsrunden über die Schnittstelle statt, da die TUHH für die Gegenseite auf dem IFEC-Server verantwortlich war. Als Ergebnis dieser Runden einigten sich beide Partner auf eine *Message Broker* basierte Paketdaten-Kommunikation, die auf dem Protokoll MQTT³² basiert. Hierzu musste, wie in Abbildung 45 gezeigt, auf dem IFEC-Server ein entsprechender *MQTT Broker* installiert werden und auf jedem Sitzplatz-Controller der dazugehörige *MQTT Client*. Weiterhin hatte Telit im Arbeitspaket 3.2 ihren *NFC-Stack* für eine Verwendung auf einem *Raspberry Pi* angepasst und eine zusätzliche *NFC Service App* programmiert, die die NFC-Funktionalitäten kapseln und somit die Kommunikation über die MQTT-Schnittstelle mit dem Server auf ein notwendiges Minimum reduzieren sollte. Maßgeblicher Grund hierfür waren die nicht-funktionalen Echtzeit-Anforderungen der NFC-Kommunikation, aber auch die Reduzierung der über WLAN zu übertragenden Daten ist vorteilhaft, wenn das System später in einem Flugzeug mit einer hohen Anzahl an Sitzplätzen eingerüstet werden soll.

³⁰ Uniform Resource Locator

³¹ Wi-Fi Protected Access 2

³² Message Queue Telemetry Transport

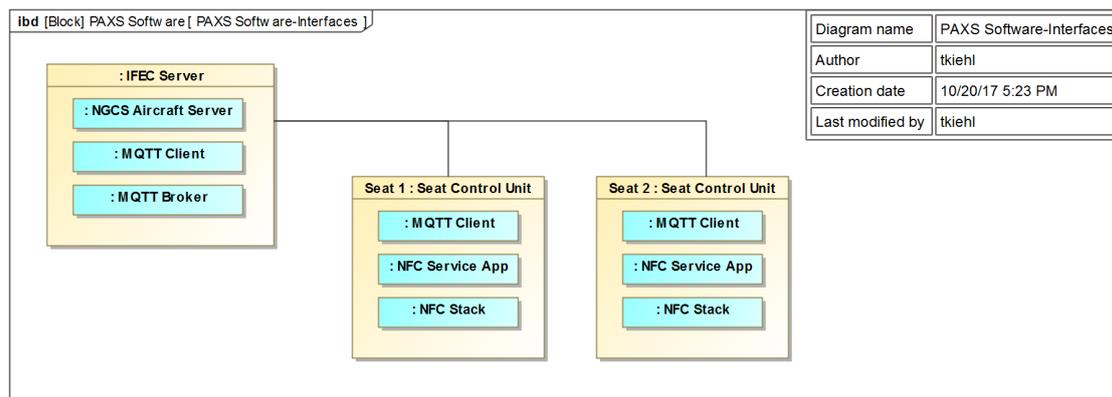


Abbildung 45: Software-Architektur des aktiven NFC-Readers am Passagiersitz

Eine finale Umsetzung dieser Architektur konnte auf Grund von Verzögerungen seitens des Projektpartners Telit bis zum Projektende nicht mehr umgesetzt werden. Allerdings war das System bereits in der Lage, die funktionalen Einschränkungen der NFC-Tags zu umgehen. So ließ sich über die NFC Service App der aktive NFC-Reader in den *Card Emulation Modus* versetzen, in dem sich der NFC-Reader nach außen wie ein NFC-Tag verhält. Die im aktiven NFC-Reader vorhandene Logik sorgt allerdings dafür, dass das Auslesen durch ein PED erkannt wird und sich in diesem Fall der Inhalt des emulierten NFC-Tags dynamisch ändert. Somit war es möglich, zunächst einen NFC-Tag mit den WLAN-Zugangsdaten zu emulieren und anschließend den Inhalt des emulierten NFC-Tags auf die Adresse des Web-Portals mit der Sitzplatzangabe zu ändern.

Funktionstests mit beiden Umsetzungsvarianten zeigten, dass mit beiden gewählten Lösungen ein problemloser und intuitiver Aufruf des Web-Portals mit einem PED möglich war. Insbesondere die Variante mit dem aktiven NFC-Reader, der dynamisch unterschiedliche NFC-Tags emuliert, hatte den großen Vorteil, dass auch mit neuen PEDs, die zuvor noch nie mit dem System in Berührung gekommen waren, innerhalb weniger Sekunden ohne weitere Interaktionen seitens des Nutzers das Web-Portal aufzurufen war. Somit konnten die Funktionstests der NFC-Integration am Passagiersitz erfolgreich abgeschlossen werden.

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 3.3

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 3.3 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 06.07.2015 Meilensteintreffen an der TUHH, Hamburg
- 13.10.2015 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg
- 24.11.2015 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 25.11.2015 Telefonkonferenz mit KID-Systeme
- 11.12.2015 Arbeitstreffen bei Stollmann, Hamburg
- 11.10.2016 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 09.02.2017 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 23.03.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit Telit an der TUHH, Hamburg
- 06.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 09.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit Telit an der TUHH, Hamburg

Liefergegenstände von AP 3.3

- Beide Architekturvarianten (NFC-Tag / -Reader) in Hardware prototypisch integriert
- NFC-Sitz-Controller konfiguriert und in Demonstrator eingebaut
- Testapplikation für IFEC-Server programmiert
- Kommunikation zwischen PED und IFEC-Server definiert und erfolgreich getestet

6.2.8 AP 3.4: Demonstration und Test

Da der Gesamtdemonstrator auf den Laborflächen der TUHH im TechCenter des ZAL aufgebaut werden sollte, hat die TUHH im Forschungsprojekt die Rolle des Integrators übernommen. Im ersten Schritt mussten dazu die bereits im Institut vorhandenen Komponenten auf den neuen Laborflächen aufgebaut und zu einem erweiterten Kabinendemonstrator integriert werden. Hierzu war es insbesondere notwendig, dass vorhandene A380 Kabinenmanagement-System umfangreich zu modifizieren und in die weiteren Komponenten (Kabinen-Mockup und Sitzplätze) einzubauen, wie in Abbildung 46 gezeigt. Der so umgebaute und stark erweiterte Kabinendemonstrator wurde anschließend ausführlich getestet und seine (bezüglich der vorhandenen Systemkomponenten) vollständige Funktion konnte demonstriert werden.



Abbildung 46: Aufbau und Modifikation des vorhandenen Kabinenmanagement-Systems im ZAL TechCenter

Im nächsten Schritt wurde in AP 3.3 die NFC-Schnittstelle an den Flugzeugsitzen in den Demonstrator integriert und zusammen mit der eingerüsteten Stromversorgung erfolgreich getestet. Mit KID-Systeme zusammen konnte die TUHH dann die Kommunikations-Schnittstellen zwischen dem IFEC-Server und dem Kabinenmanagement-System ausgiebig überprüfen. Hierzu meldete sich ein PED unter Verwendung der NFC-Komponenten an einem Sitzplatz an und bekam vom IFEC-Server das kabineneigene Web-Portal angezeigt. Durch den Sitzplatzbezug war es jetzt möglich, an dem jeweils betroffenen Sitzplatz mit der entsprechenden Applikationsseite des Web-Portals das Leselicht zu schalten und die „Passenger Call“-Funktion zu nutzen (vgl. Abbildung 47). Somit konnte die Funktion der ARINC 429-Schnittstelle samt des dazugehörigen Schnittstellenwandlers (vgl. AP 2.4) erfolgreich nachgewiesen werden.



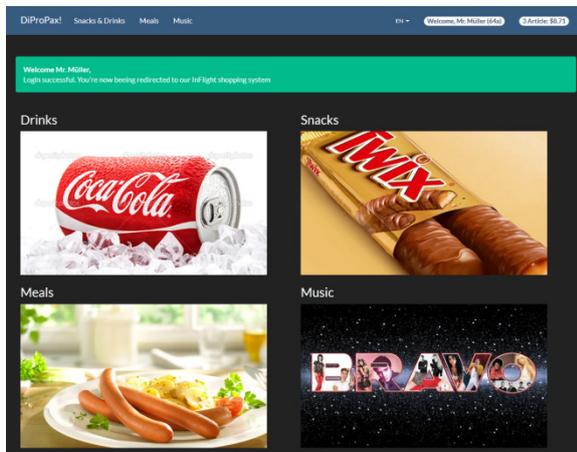
DiProPax!

Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



Abbildung 47: Schnittstellen-Funktionstest für das Leselicht und die „Passenger Call“-Funktion: Applikation auf dem Smartphone (links) und Sitzplatz mit PSU (rechts)

Weiterhin wurden über das Passagiergerät im Web-Portal getätigte Bestellungen von Getränken und Speisen nach Sitzplätzen geordnet der Kabinenbesetzung auf einer speziellen Seite auf dem FAP angezeigt, wie Abbildung 48 zeigt. Die Funktion der Ethernet-Schnittstelle zwischen IFEC-Server und FAP konnte damit erfolgreich getestet werden.



Passenger	Product	Ordered	Action
28a - Mr. Martin Hansen			
1x	Ed Sheeran Shape Of You	> 5 min ago	Details
2x	Fritz Cola	0 min ago	Details
47c - Miss Lisa Schaaf			
1x	Lemonade	> 5 min ago	Details
2x	Wiener sausages	> 5 min ago	Details
1x	Apple Juice	> 5 min ago	Details
1x	Meatball with mustard	4 min ago	Details
64a - Mr. Stefan Müller			
1x	Potato Chips	> 5 min ago	Details
1x	Twix	> 5 min ago	Details
1x	m&m	> 5 min ago	Details

Abbildung 48: Bestellungen von Speisen und Getränken: Auswahl im Web-Portal auf dem Smartphone (links) und dazugehörige Bestellungsliste nach Sitzplätzen sortiert auf dem FAP (rechts)

Auch die Komponenten des Projektpartners NXP mit seinem Unterauftragnehmer AGETO wurden in den Gesamtdemonstrator am ZAL integriert. Hierzu wurden alle Server-Komponenten für die Ableitung von einem Wurzdokument und der anschließenden Generierung des Reise-Tokens auf einem Raspberry Pi installiert. Das Kiosk-System zur Identitäts-Ableitung³³ wurde in Form eines handelsüblichen PCs mit zusätzlichem aktivem NFC-Reader realisiert. Eine weitere Station mit einem Touchscreen-PC sorgte für die Generierung des notwendigen zusätzlichen Reisetokens³⁴. Beim anschließenden Funktionstest ließ sich die Identität von einem deutschen Personalausweis (nPA) auslesen und als abgeleitete Identität in der Applikation auf dem Smartphone speichern (vgl. Abbildung 49 links

³³ Generierung des Long Term Tokens (LTT), vgl. AP 3.5

³⁴ Generierung des Short Term Tokens (STT), vgl. AP 3.5



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



und mitte-links). Die Generierung des Reisetokens auf Basis des Identitäts-Tokens, der mit der eigentlichen Flugreise verknüpft wurde, gelang problemlos an der zweiten Station (vgl. Abbildung 49 mitte-rechts und rechts). Bei Verwendung des nun mit beiden Token versehenen Smartphones am Flugzeugsitzplatz konnte nun im Web-Portal neben dem Sitzplatzbezug nun auch einen Personenbezug hergestellt werden. Neben der persönlichen Begrüßung konnten jetzt Präferenzen des Fluggastes, CRM-Daten und etwaige Bezahllimits auf den IFEC-Server geladen werden.

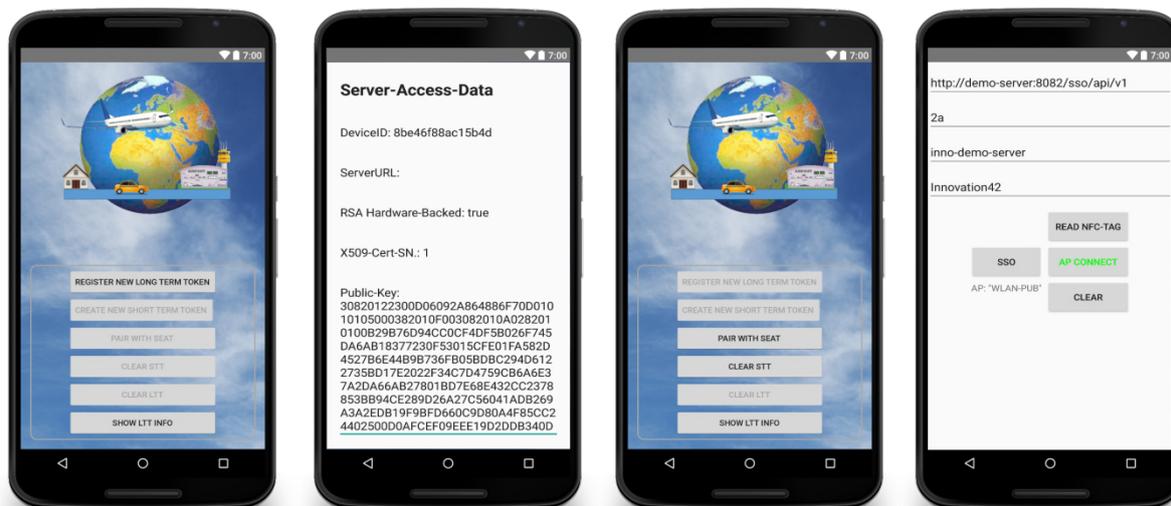


Abbildung 49: Generierung des Identitäts-Tokens (links), Inhalt des neuen Identitäts-Token (mitte-links) sowie die Generierung des Reise-Tokens (mitte-rechts) und neuer Reise-Token (rechts) auf dem Smartphone

Die im Rahmen des Arbeitspaketes 2.1 identifizierten Basis-Funktionalitäten „vereinfachten Zugang ermöglichen“, „Menüführung anbieten / Auswahl übermitteln“, „Sitzplatzbezug herstellen“, „Nutzer identifizieren“, „Authentisierung (z.B. mit PIN) durchführen“, sowie auch prinzipiell die Bezahlung von Waren und Dienstleistungen, hierbei insbesondere „Micro-Payment (Kleinstbeträge) abwickeln“, konnten durch diese Versuche mit dem Demonstrator validiert werden. Somit ließ sich auch die Umsetzung der favorisierten Anwendungsfälle „Kauf von Essen und Getränken“, „Nutzung der Passenger-Call-Funktion“ und der „Bezug von Informationen für den weiteren Reiseverlauf“ unter Nutzung der Basisfunktionalitäten und die damit verbundene nahtlose Tür-zu-Tür-Prozesskette problemlos mit dem Kabinendemonstrator, wie er in Abbildung 50 abgebildet ist, demonstrieren.



Abbildung 50: Aufgebauter Kabinendemonstrator im ZAL TechCenter

Beim Projekt-Abschlusstreffen am 13. Juni im Hamburger TechCenter des ZAL konnten dann die Projektergebnisse direkt am integrierten DiProPax!-Forschungsdemonstrator vorgeführt und ausprobiert werden, wie Abbildung 51 links zeigt. Anhand der dort aufgebauten Architektur konnte jeder Projektpartner seine geplante Verwertung der Ergebnisse darstellen. In einer gemeinsamen Runde (vgl. Abbildung 51 rechts) wurde anschließend der erfolgreiche Projektabschluss seitens der Projektpartner und auch des Projektträgers festgestellt.



Abbildung 51: Projekt-Abschlusstreffen im ZAL TechCenter mit Vorführung der Ergebnisse (links) und erfolgreichem Projektabschluss (rechts)

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 3.4

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 3.4 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 24.11.2015 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 26.01.2016 Arbeitstreffen an der TUHH, Hamburg



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



- 09.02.2017 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 23.03.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit Telit an der TUHH, Hamburg
- 06.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 08.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit NXP an der TUHH, Hamburg
- 09.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit Telit an der TUHH, Hamburg
- 13.06.2017 Projekt-Abschlusstreffen an der TUHH, Hamburg

Liefergegenstände von AP 3.4

- Gesamtdemonstrator mit allen Komponenten der Partner im ZAL aufgebaut
- Nahtloser Systemtests mit allen Komponenten erfolgreich durchgeführt
- Vorstellung des Gesamtsystems beim Projekt-Abschlusstreffen im Juni 2017

6.2.9 AP 3.5: Integrierter Forschungsdemonstrator für Tür-zu-Tür-Prozesse

Das Arbeitspaket 3.5, welches erst im Rahmen der Projektaufstockung im August 2015 in den Projektplan aufgenommen wurde, sollte die Reichweite des Vorhabens DiProPax! wieder auf den beantragten, aber zunächst bewilligten Projektumfang erweitern. Ziel hierbei war vor allem der Blick auf die gesamte Flugreise, also die Betrachtung von ganzheitlichen, nahtlosen Tür-zu-Tür-Prozessen. Hierzu mussten einerseits die vor- und nachlaufenden Stationen eines Fluges betrachtet werden (vgl. Abbildung 18) und andererseits eine Anschlussfähigkeit zu der für die Kabine bereits erarbeiteten Architektur gewährleistet werden. Aus diesem Grund sind viele Arbeitsergebnisse aus AP 3.5 direkt in andere Arbeitspakete der TUHH und der der Projektpartner eingeflossen. Dabei gab das bereits in AP 2.1 beschriebene Konzept eines abgeleiteten, digitalen Tokens, der auf einem mobilen Passagiergerät gespeichert wird, die wesentlichen Arbeiten in AP 3.5 vor. Wie in Abbildung 52 dargestellt ist, sollte hierbei z.B. das Smartphones des Passagiers das tragende Element für nahtlose Tür-zu-Tür-Prozesse sein. Bereits vor Reiseantritt zu Hause soll der Passagier einen Reisetoken generieren, den er dann bei allen Stationen der Flugreise vorteilhaft nutzen kann.



Abbildung 52: Das Smartphone mit einem Reisetoken als ein tragendes Element für nahtlose Tür-zu-Tür-Prozesse [HPC16]

Hierzu war es zunächst notwendig, weitere Anwendungsfälle für das erweiterte System außerhalb der Flugzeugkabine zu ermitteln und auf ihre sinnvolle Umsetzung mit dem skizzierten Konzept hin zu



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



überprüfen. Die TUHH konnte dabei rund 80 weitere Anwendungsfälle identifizieren, die sich aber auch fast alle auf die in AP 2.1 gefundenen Basis-Funktionalitäten herunterbrechen ließen. Zum Beispiel lässt sich der Kauf einer Fahrkarte für den öffentlichen Nahverkehr auf dem Weg zum Flughafen auf die Funktionalitäten „*Micro-Payment* (Kleinstbeträge) abwickeln“ und ggf. „Access Token beziehen“ reduzieren.

Zusammen mit dem Projektpartner NXP und seinem Unterauftragnehmer AGETO konnte somit ein flexibles Token-Konzept erarbeitet werden, welches einerseits durch die Ableitung von einem Behörden-Dokument eine hohe Sicherheit bietet ohne dabei andererseits den Nutzerkomfort zu sehr einzuschränken. Auch die Anforderungen der Fluggesellschaften, eine Bezahlung von Kleinstbeträgen während des Fluges möglichst einfach und schnell zu ermöglichen, wird von dem Konzept voll unterstützt. Das Konzept sieht vor, dass der Passagier zunächst einen längerfristig gültigen *Long Term Token* (LTT) von einem offiziellen elektronischen Dokument ableitet, der der persönlichen Identifikation dient. Mit Hilfe des LTT kann nun zu Hause oder ggf. auch am Flughafen an einem Kiosk ein *Short Term Token* (STT) generiert und signiert werden, der die detaillierten Reiseinformationen beinhaltet. Bei der ersten Verbindung und der Anmeldung des Passagiers am Sitzplatz im Flugzeug wird nun der STT an den IFEC-Server übermittelt und dort mit Hilfe des LTT verifiziert. Anschließend kann der Passagier beliebige, personalisierte Dienstleistungen in Anspruch nehmen und dabei das bei der Buchung zu Hause hinterlegte, bevorzugte Zahlungsmittel in der gewünschten Währung verwenden. Sofern die Generierung des STT bereits zu Hause erfolgt ist, kann der STT auch beispielsweise den Fahrausweis für den öffentlichen Nahverkehr oder das Ticket für das Parkhaus am Flughafen umfassen. Eine Verifizierung des STT würde dann analog zur Variante im Flugzeug durchgeführt.

Durch die Nutzung eines echten eID-Servers, der vom Unterauftragnehmer AGETO bereitgestellt wurde, für die Ableitung von einem neuen deutschen Personalausweis (nPA) kann das Sicherheitskonzept nicht nur theoretisch beschrieben, sondern auch vollständig demonstriert werden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Tatsache gelegt, dass Flugzeuge nach wie vor vielfach über keine umfassende Konnektivität während des Fluges zum Boden und dem Internet haben. Das vorliegende Konzept erfordert nur eine regelmäßige Erneuerung der Zertifikate der Software-Komponenten im Flugzeugserver. Je nach gewünschtem Sicherheitslevel ist eine Aktualisierung der Zertifikate in einem Turnus von ein bis drei Monaten sinnvoll.

Die entworfene Architektur ist dabei hoch flexibel und lässt sich nahezu beliebig skalieren. Je nach gewünschten Anwendungsfällen und unterstützten Dienstleistungen kann dabei eher der Nutzerkomfort der Passagiere oder die Sicherheit des Systems im Fokus stehen. Gegenüber den aktuell verwendeten Systemen bietet diese Architektur aber fast immer einen höheren Komfort, eine Vereinfachung und Beschleunigung der Geschäftsprozesse an Bord eines Flugzeuges, aber auch im Vor- und Nachlauf der Flugreise sowie eine zuverlässigere Abwicklung von Bezahlprozessen für die Fluggesellschaften.

Für die Umsetzung dieses Konzeptes ist eine leistungsfähige Serverkomponente am Bord des Flugzeuges notwendig. Dazu wurde der auf den Hochschulflächen im Hamburger TechCenter des ZAL bestehende Kabinen-Demonstrator mit einem A380 Kabinenmanagement-System (CIDS) um einen zusätzlichen, frei-konfigurierbaren IFEC-Server erweitert (vgl. AP 2.2 und 2.4). Die Wahl fiel hierbei

auf die sogenannten HESU³⁵ der Firma KID-Systeme, da diese sich ideal in die vorhandene A380 CIDS-Umgebung integrieren ließ (vgl. Abbildung 53) und durch die Projektpartnerschaft mit KID-Systeme Zugriff auf umfangreiche interne Systemkenntnis bestand.

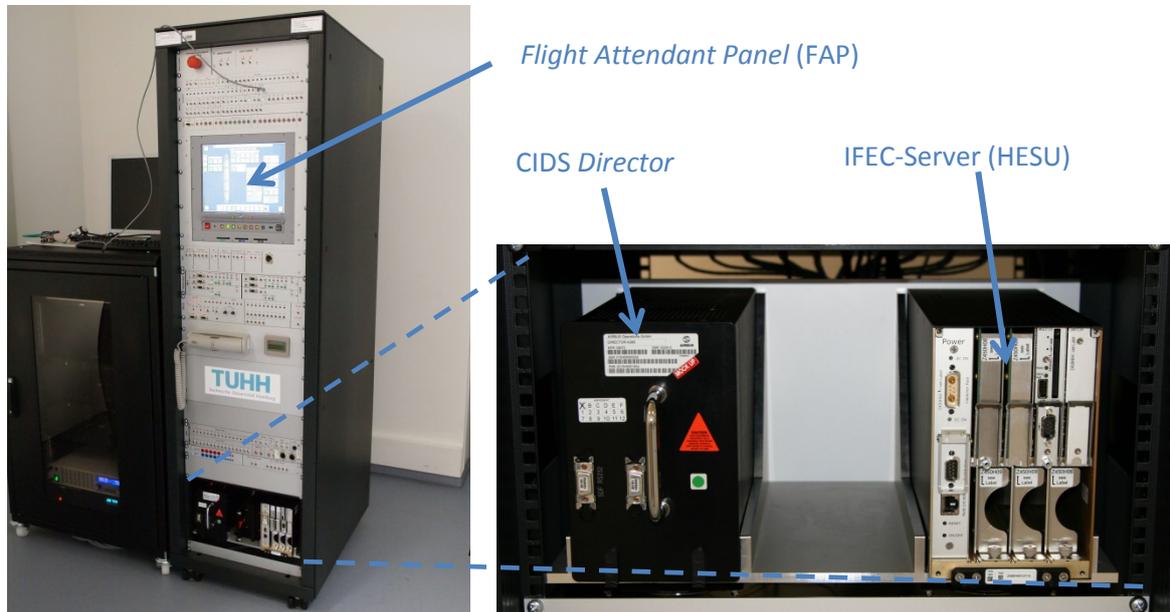


Abbildung 53: IFEK-Server (HESU) integriert in das A380 Kabinenmanagementsystem

Auf der HESU musste die TUHH neben den Software-Komponenten für das Token-Konzept auch die weiteren Elemente aus den anderen Arbeitspaketen installieren. Wie in Abbildung 54 dargestellt, umfasst dies den *Single-Sign-On-Service (SSO)* und den *Verifier* für das Token-Konzept, die MQTT-Komponenten (vgl. AP 3.3) für die aktiven NFC-Reader in den Sitzen, der Schnittstellen-Treiber für die Kommunikation mit dem *CIDS Director*, den Webserver für die Benutzerschnittstelle zu den Passagieren sowie den NGCS³⁶ *Aircraft Server*, der alle Komponenten logisch miteinander verknüpft. Allerdings musste insbesondere für den Bereich der Authentisierung und Identifikation des Nutzers (SSO und *Verifier*) ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht werden, d.h. ein unberechtigter Zugriff auf die Dienste von außen musste erheblich erschwert und im Idealfall unmöglich gemacht werden. Ein gängiger Ansatz hierfür ist die Kapselung dieser Applikationen in dedizierten Virtuellen Maschinen (VMs), deren Schnittstellen zu den anderen VMs bzw. der Außenwelt stark limitiert sind. Die TUHH hat in intensiver Zusammenarbeit mit KID-Systeme basierend auf der grundlegenden Software-Architektur der HESU und insbesondere unter Berücksichtigung der Anforderungen von NXP und ihrem Unterauftragnehmer AGETO eine entsprechende Aufteilung und Konfiguration der VMs vorgenommen. Im Ergebnis sind vor allem die Applikationen für die Token-Verifikation gekapselt und von außen nicht mehr direkt erreichbar. Aufgrund der Sicherheitsarchitektur des A380 CIDS sind auch weitergehende Funktionen und Eingriffe der Passagiere in die Kabinensysteme und damit eine Störung der Betriebsprozesse ausgeschlossen.

³⁵ Head-End Server Unit

³⁶ Next Generation Cabin Services

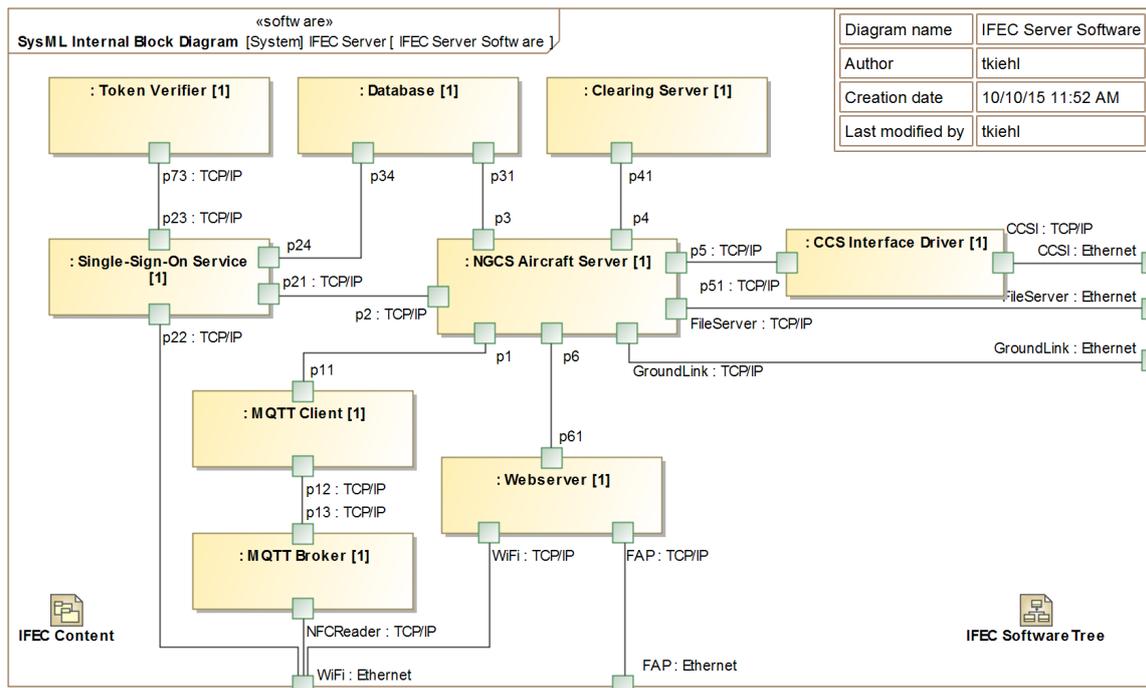


Abbildung 54: Modellerte Software-Architektur auf der HESU

Die einwandfreie Kommunikation der Komponenten untereinander und die Verknüpfung dieser Systeme in der Flugzeugkabine mit nahtlosen, hochflexiblen Tür-zu-Tür-Prozessen konnte im Rahmen der Systemtest und der abschließenden Demonstration im Arbeitspaket 3.4 anschaulich nachgewiesen werden. Der so geschaffenen integrierte Kabinendemonstrator verfügt jetzt neben dem A380 CIDS und der Kabinenumgebung auch über einen frei-konfigurierbaren IFEC-Server, ein dediziertes Kabinen-WLAN und leistungsfähige *Embedded* PCs mit aktiven NFC-Readern und einer Stromversorgung an jedem Sitzplatz. Somit steht jetzt auf den Hochschulflächen im ZAL TechCenter über das Projekt DiProPax! hinaus eine flexible und leistungsfähige Plattform für zukünftige Forschungsprojekte zu Verfügung, die langfristig den Entwurf und die Demonstration von verschiedensten neuartigen Betriebs- und Geschäftsprozesse ermöglicht.

Erfolgte Arbeitstreffen von AP 3.5

Innerhalb des Arbeitspaketes AP 3.5 hat das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an folgenden Treffen teilgenommen bzw. diese organisiert:

- 24.11.2015 Arbeitstreffen mit AGETO bei NXP, Hamburg
- 14.12.2015 Bilaterales Arbeitstreffen bei KID-Systeme, Buxtehude
- 12.02.2016 Bilaterales Arbeitstreffen bei KID-Systeme, Buxtehude
- 19.07.2016 Telefonkonferenz mit NXP
- 20.07.2016 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 23.08.2016 Workshop „Identitätsableitung“ mit NXP und AGETO an der TUHH, Hamburg
- 21.09.2016 Telefonkonferenz mit NXP
- 11.10.2016 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 01.12.2016 Bilaterales Arbeitstreffen bei NXP, Hamburg



DiProPax!

Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



- 05.12.2016 Telefonkonferenz mit KID-Systeme
- 13.12.2016 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 25.01.2017 Telefonkonferenz mit NXP
- 09.02.2017 Konsortialtreffen an der TUHH, Hamburg
- 06.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit KID-Systeme an der TUHH, Hamburg
- 08.06.2017 Bilaterales Arbeitstreffen mit NXP an der TUHH, Hamburg

Liefergegenstände von AP 3.5

- Modulare Token-Architektur für Tür-zu-Tür-Prozesskette entworfen
- Integration von HESU und In-Seat-Power in Forschungsplattform für Kabinen- und Tür-zu-Tür-Prozesse im ZAL Tech Center ist erfolgt
- Applikation für Token-basierte Anwendungen auf dem IFEC-Server entwickelt und getestet
- Umsetzung weiterer „Stationen“ der Prozesskette und weitere Nutzung in LuFo V-3 geplant

6.3 Zusammenfassende Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen

Basierend auf den in Kapitel 6.2 und den Unterkapiteln 6.2.1 bis 0 gegebenen Ausführungen und Erläuterungen folgt an dieser Stelle nochmals eine tabellarische Gegenüberstellung der im Teilvorhaben gesetzten Ziele und der erreichten Ergebnisse.

Im Teilvorhaben vorgegebene Ziele	Im Teilvorhaben erzielte Ergebnisse
AP 0: Projektkoordination und internes Projektmanagement	
<ul style="list-style-type: none"> • Das Projekt kann im kalkulierten Zeit- und Budgetrahmen abgewickelt werden. • Die festgelegten Projektergebnisse und der Meilenstein werden erreicht. • Zum Ende des Vorhabens ist die Basis für eine spätere wirtschaftliche Verwertung geschaffen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Beginn des Vorhabens am 01.01.2014 • Planmäßige Laufzeit nach Projektaufstockung bis zum 30.06.2017 (42 Monate) • DiProPax!- Kooperationsplattform aufgesetzt • Erfolgreiches Erreichen des Meilensteins M1 • Erfolgreiche Koordination von vier Partnern • Beendigung des Projekts mit Vorstellung des TRL 4-Demonstrators am 13.06.2017 im Hamburger ZAL
AP 1.1: Anwendungsfälle für NFC in der Kabine	
<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung einer an das Vorhaben angepassten Modellierungsplattform. • Die von den Partnern definierten Anwendungsfälle für NFC in der Kabine werden modelliert. • Vorhandene Service- und Betriebsprozesse sind auf ihre Optimierung durch den Einsatz von NFC hin analysiert und neuartige Self-Service-Dienstleistungen definiert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Methodik zum modellbasierten Anforderungsmanagement entwickelt • An DiProPax! angepasstes Modellierungs-Framework mit SysML erstellt • 104 Anwendungsfälle wurden modellbasiert identifiziert und analysiert • Anwendungsfälle priorisiert und sechs Basis-Anwendungsfälle definiert • Szenarien für priorisierte (Basis-)Anwendungsfälle entwickelt und modelliert • Schnittstellen zu IKT-Systemen und Flughafenprozessen analysiert und teilweise modelliert



AP 1.3: Nicht-funktionale Anforderungen	
<ul style="list-style-type: none">• Modellierung der erfassten nicht-funktionalen Anforderungen an das Gesamtsystem.• Definition von Modell-Bibliotheken, die direkt für den modellbasierten Systementwurf anderer Kabinensysteme verwendet werden können.• Berücksichtigung von Bauvorschriften aus dem Luftfahrtbereich als auch Anforderungen aus dem NFC-Standard.• Analyse weiterer Anforderungen, die sich aus den Kundenanforderungen und den Anwendungsfällen ergeben.	<ul style="list-style-type: none">• 35 Sets nicht-funktionaler Anforderungen von 11 Stakeholdern (Luftfahrt, NFC-Standards, Bezahlungsdienstleister, eID) modellbasiert erfasst• Anlegen einer Anforderungs-Modell-Bibliothek auf dem Modellierungs-Server, die in andere Projekte einfach eingebunden werden kann
AP 1.4: Anforderungsmodell für NFC-Schnittstellen in der Kabine	
<ul style="list-style-type: none">• Berücksichtigung und Formulierung von Anforderungen, die sich aus dem spezifischen Einsatz von NFC in der Flugzeugkabine und am Passagiersitz ergeben.• Anforderungen zu EMV-Themen, zu Schnittstellen mit anderen Kabinensystemen und für die Auslegung des Gesamtsystems sind erfasst und analysiert.	<ul style="list-style-type: none">• Markt- und Patentrecherche zum Einsatz von NFC in der Luftfahrt durchgeführt• Existierenden Luftfahrt-Standards zur EMV umfassend analysiert• Neue Methodik für die EMV-Messungen von NFC erarbeitet• Anforderungen zur Auslegung des Gesamtsystems als funktionale Anforderungen erfasst
AP 2.1: Funktionaler Entwurf Kabinenmanagementsystem mit NFC	
<ul style="list-style-type: none">• Modellierung der funktionalen Beschreibung der Systemabläufe bei der Nutzung eines Kabinenmanagementsystems mit NFC.• Eine Zuordnung der definierten Funktionen zu den Anforderungen ist durch das Modell gegeben.	<ul style="list-style-type: none">• Aus Anwendungsfällen und Anforderungen 10 Basis-Funktionen für das System identifiziert• Nutzungsszenarien erstellt und mit Basis-Funktionen verglichen• Interaktionen der Stakeholder bei den Basis-Funktionen analysiert
AP 2.2: Architekturentwurf	
<ul style="list-style-type: none">• Modellierung der gemeinsam mit den Partnern erarbeiteten Systemarchitektur.• Erstellung von modellbasierten Simulationen für eine frühzeitige Bewertung der Architektur.• Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten.	<ul style="list-style-type: none">• Rekursive Paketstruktur im SysML-Modell für Systemebenen entwickelt und angelegt• Hard- & Software-Architektur aller Systemkomponenten in SysML modelliert• Umsetzungsvarianten mit aktivem NFC-Reader oder passivem NFC-Tag analysiert• Eine neue <i>Rapid-Prototyping</i>-Architektur wurde entworfen, allerdings konnten nicht mehr alle DiProPax-Komponenten damit getestet werden.
AP 2.4: Schnittstellenintegration	
<ul style="list-style-type: none">• Integration einer NFC-Schnittstelle am Flugzeugsitz, die unter allen Gesichtspunkten die bestmögliche Lösung darstellt.• Umfassende Tests der Schnittstelle gegen die Anforderungen aus AP 1.3 und AP 1.4.• Untersuchungen zur EMV weisen auf einen realisierbaren Betrieb während des Fluges hin.	<ul style="list-style-type: none">• Verschiedene Einbauorte für NFC am Flugzeugsitz getestet und miteinander verglichen• Schnittstellenwandler für die Anbindung an das Kabinenmanagementsystem entwickelt• Simulationsmodell für NFC-Antennen entwickelt und getestet• EMV-Prüfstand mit NFC-Messantennen und PED-Halterung entwickelt und aufgebaut• 16 PEDs und NFC-Rahmenantennen hinsichtlich



	<p>Emissionen vermessen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Worst-Case-Analyse durchgeführt und drei Publikationen dazu veröffentlicht
AP 3.3: Aufbau und Integration NFC am Passagiersitz	
<ul style="list-style-type: none"> • Eine prototypische Hardware-Integration einer NFC-Schnittstelle in Flugzeugsitzreihen unter Berücksichtigung von mechanischen und praktischen Anforderungen wird durchgeführt. • Einfache Applikationen auf den PEDs und im Sitz-Controller weisen die Funktionsfähigkeit der Schnittstelle nach. 	<ul style="list-style-type: none"> • Beide Architekturvarianten (NFC-Tag / -Reader) in Hardware prototypisch integriert • NFC-Sitz-Controller konfiguriert und in Demonstrator eingebaut • Testapplikation für IFEC-Server programmiert • Kommunikation zwischen PED und IFEC-Server definiert und erfolgreich getestet
AP 3.4: Demonstration und Test	
<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integration des Gesamtsystems im ZAL sowie die Anbindung an die zuvor erstellte modellbasierte Simulation. • Auf Basis dieses Demonstrators im ZAL wird ein Test des Gesamtsystementwurfs durchgeführt. • Ein TRL des Demonstrators von mindestens 4 ist erreicht. • Erste Präsentationen der Forschungsergebnisse gegenüber der Fachwelt und interessierten Kunden sind in Zusammenarbeit mit der Fa. KID-Systeme organisiert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtdemonstrator mit allen Komponenten der Partner im ZAL aufgebaut • Nahtloser Systemtests mit allen Komponenten erfolgreich durchgeführt • Vorstellung des Gesamtsystems beim Projekt-Abschlusstreffen im Juni 2017 • Weitere Präsentation in Vorbereitung für Kick-Off des Anschluss-Vorhabens in Q1/2018 geplant • Simulation weiterer Komponenten mit neuer RP-Architektur noch ausstehend
AP 3.5: Integrierter Forschungsdemonstrator für Tür-zu-Tür-Prozesse	
<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Aufbau einer integralen Forschungsplattform für Kabinen- und Tür-zu-Tür-Prozesse im ZAL Tech Center. • Vollständige Integration aller Hard- und Softwarekomponenten, so dass nahtlose und umfassende Simulation von Tür-zu-Tür-Prozessketten durchgeführt werden kann. • Der erweiterte Demonstrator wird einer breiten Öffentlichkeit dauerhaft zugänglich sein und für weiterführende Forschung über das Projekt hinaus zur Verfügung stehen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modulare Token-Architektur für Tür-zu-Tür-Prozesskette entworfen • Integration von HESU und In-Seat-Power in Forschungsplattform für Kabinen- und Tür-zu-Tür-Prozesse im ZAL Tech Center ist erfolgt • Applikation für Token-basierte Anwendungen auf dem IFEC-Server entwickelt und getestet • Umsetzung weiterer „Stationen“ der Prozesskette und weitere Nutzung in LuFo V-3 geplant

Tabelle 4: Tabellarische Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen im Teilvorhaben

Das im Teilvorhaben übergreifend verfolgte Ziel, mit Hilfe einer modellbasierten Spezifikation des Gesamtsystems eine integrierte Forschungsplattform für Tür-zu-Tür-Prozesse im TechCenter des Hamburger Zentrums für angewandte Luftfahrtforschung aufzubauen, konnte insgesamt erreicht werden. Im Rahmen einer Abschlussveranstaltung konnte ein Konzept für einen durchgängig digital unterstützten Reiseprozess anschaulich präsentiert werden, welches maßgeblich auf der sicheren Integration von NFC-Schnittstellen in die Kabine aufbaut. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zu allen im Teilvorhaben definierten Zielen entsprechende Ergebnisse im veranschlagten Zeit- und Kostenrahmen erarbeitet werden konnten.



7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Teilvorhaben des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme wurde das bewilligte Gesamtbudget zu insgesamt 100,14 % (d.h. mit leichter Überziehung von 0,14%) zur Deckung der entstandenen Kosten genutzt.

Zur Beschäftigung von Wissenschaftlichen Mitarbeitern (WiMi E13) und Studentischen Hilfskräften (HiWi) wurden finanzielle Mittel i.H.v. insgesamt 82,7 % des bewilligten Gesamtbudgets genutzt:

- Personalmittel für 67 MM WiMi 81,1 % der Gesamtmittel – zu 100,5 % eingesetzt
- Personalmittel für 12 MM HiWi 1,6 % der Gesamtmittel – zu 86,7 % eingesetzt

Für Investitionen wurden finanzielle Mittel i.H.v. insgesamt 14,8 % des bewilligten Gesamtbudgets genutzt:

- Flugzeugserver (HESU) 7,0 % der Gesamtmittel – zu 100,2 % eingesetzt
- In-Seat Power Ausrüstung 2,3 % der Gesamtmittel – zu 100,0 % eingesetzt
- NFC-Messsystem 1,5 % der Gesamtmittel – zu 112,1 % eingesetzt
- Demonstrator-Upgrade für HESU 1,4 % der Gesamtmittel – zu 100,0 % eingesetzt
- Lizenzen Modellierungs-Software 1,0 % der Gesamtmittel – zu 118,8 % eingesetzt
- Weitere Investitionsgüter 1,6 % der Gesamtmittel – zu 85,6 % eingesetzt

Weitere finanzielle Mittel i.H.v. insgesamt 2,5 % des bewilligten Gesamtbudgets wurden genutzt für:

- Mittel für Gegenstände bis 410 € 1,9 % der Gesamtmittel – zu 90,6 % eingesetzt
- Mittel für Reisen 0,6 % der Gesamtmittel – zu 95,9 % eingesetzt

Kosten für den Aufwand der Konsortialführung und Projektkoordination sowie weitere Kosten für diverse Kleinteile zum Aufbau des integrierten Forschungsdemonstrators wurden vom Institut getragen und im Projekt nicht geltend gemacht. Die angeschafften Investitionsgüter sind zum Aufbau des integrierten Forschungsdemonstrator im Hamburger ZAL verwendet worden und werden wie das NFC-Messsystem und die Software-Lizenzen vom Institut nach Projektende im nicht kommerziellen Bereich für weitergehende Aufgaben in der Forschung und zur Verwertung der Projektergebnisse, z.B. in der Lehre, eingesetzt.

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im elektronischen Zahlungsverkehr findet für die bekannte NFC-Schnittstelle inzwischen – auch in Deutschland – eine rasante Verbreitung statt. Diese Schnittstelle wurde im Lufttransportsystem von der IATA und SITA bereits vor einigen Jahren als eine technologische Grundlage für das digital unterstützte Reisen definiert. Obgleich inzwischen am Boden weit verbreitet, existieren derzeit noch keine expliziten Richtlinien und Vorgaben dazu, wie diese wichtige Schnittstelle zum Boden anschlussfähig in einer Flugzeugumgebung integriert werden kann. Das hier durchgeführte Vorhaben liefert erstmals einen Architekturvorschlag zur Integration von NFC-Schnittstellen in das Kabinenmanagementsystem. Gleichzeitig wurden ein Messaufbau und ein Simulationsmodell zur Charakterisierung der



EMV beim Einsatz von NFC-Schnittstellen in der Kabine erarbeitet. Das hohe Interesse an den hierzu entstandenen wissenschaftlichen Publikationen belegt den Bedarf solcher Forschung. Trotz werbetätig aufgemachter Ankündigungen großer IFE-Hersteller zur kurzfristigen Integration und Nutzung von NFC-Schnittstellen im Flugzeug ist eine zum Einsatz kommende Lösung bis heute kaum erkennbar. Auch dieser Umstand rechtfertigt die hier von einem Expertenteam durchgeführten Arbeiten. Das zur Einführung der Technologie im Flugzeug benötigte Fachwissen ist durchaus umfangreich und war bislang nicht einfach zugänglich. Das im Rahmen der Luftfahrtforschungsprogramms V-1 durchgeführte Vorhaben sichert für den Hochtechnologie-Standort Deutschland eine Vorreiterrolle bei der Integration und Nutzung von NFC-Technologie im Flugzeug. Die Ergebnisse des Vorhabens, die geleisteten Arbeiten und die damit verbundenen Aufwände stehen, gemessen am erzielten Erkenntnisgewinn und Erfolg in einem angemessenen Verhältnis.

9 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der fortgeschriebene Verwertungsplan des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme zeigt, dass nahezu alle vorgegebenen, nicht-kommerziellen Verwertungsaufgaben schon während der Projektlaufzeit begonnen wurden. Dies belegt die hohe Aktualität der im nicht-wirtschaftlichen Bereich durchgeführten Forschungsarbeiten. Gemäß der Umsetzung des Verwertungsplanes stellt sich der Nutzen der erzielten Ergebnisse wie folgt dar:

In der Forschung: Zur Integration von NFC-Schnittstellen in der Flugzeugkabine liegt ein nach Methoden und mit Werkzeugen des *Model-based Systems Engineering* (MBSE) erstelltes integriertes Anforderungsmodell vor. Dieses wurde auf Basis der standardisierten semi-formalen Modellierungssprache *Systems Modeling Language* (SysML) erstellt. Nach den gleichen Prinzipien wurde auch zur Lösung des Integrationsproblems in das Kabinenmanagementsystem ein Architektur- bzw. Systementwurf erhalten, welcher zur Verwertung grundsätzlich direkt in eine Produktlösung transformiert werden kann. Das im Vorhaben entworfene System steht am ZAL TechCenter als Versuchsaufbau zur Verfügung und wird dort für die weitergehende Forschung, aber auch für die Ausbildung und Lehre genutzt. Während und nach Abschluss des Vorhabens sind diverse Publikationen entstanden. Fachvorträge zum Projekt und zu den einzelnen Forschungsergebnissen wurden auf internationalen Konferenzen in Europa und in den USA gegeben.

In der Ausbildung und Lehre: Der oben genannte und im Projekt entstandene Forschungsdemonstrator im ZAL TechCenter wird auch in der Ausbildung und Lehre genutzt. Studierende können die diversen Funktionen des Demonstrators untersuchen und nachvollziehen. Auch besteht für Studierende durch Nutzung des Aufbaus die Möglichkeit zur Entwicklung weiterer Funktionen und Lösungen. Weiterhin wurden im Rahmen des Vorhabens eine Bachelor- und eine Masterarbeit angefertigt, so dass sich zwei Studierende in die Thematik einarbeiten und diese vertiefen konnten. Ein Austauschstudent aus den USA war weiterhin an der Messung und Simulation zur Charakterisierung der EMV der NFC-Schnittstelle beteiligt.

Beim Technologietransfer: Der Versuchsaufbau im ZAL TechCenter, die Publikationen in wissenschaftlichen Journalen, die Fachvorträge und die Verbreitung der Ergebnisse in der Ausbildung und Lehre tragen zum Technologietransfer bei. Wesentliches Merkmal des Vorhabens ist es jedoch, dass



durch die Zusammenarbeit eines Hochschulinstituts mit einem Luftfahrt-Systemhersteller und zwei Technologielieferanten alle erforderlichen Kompetenzen zur Integration von NFC-Schnittstellen in die Kabine gebündelt werden konnten. Das Projekt hat deutlich gezeigt, dass diese Problemstellung ohne die erfolgte Zusammenarbeit und Kooperation nicht bzw. nur sehr schwer lösbar gewesen wäre. Den wichtigen Anreizeffekt dazu lieferte die Co-Finanzierung des BMWi im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms V-1. Eine weitergehende Nutzung der erzielten Ergebnisse und eine Ausdehnung der mittels der NFC-Technologie unterstützten Prozessketten auf die landseitigen Verkehre des Lufttransportsystems ist in einem kommenden LuFo V-3 Vorhaben in Kooperation mit dem österreichischen Forschungsprogramm Take Off und österreichischen Partnern geplant.

10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen

Es sind während des Vorhabens keine zusätzlichen oder konkurrierenden FuE-Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, welche eine vergleichbare Methodik für eine „Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine“ nutzen. Publierte FE-Ergebnisse der TUHH zur Standardisierung und Zulassung der NFC-Technologie finden größere Beachtung (u.a. bei der Neufassung des Flugzeug-Standards EUROCAE ED-130A [ED-130A]), so dass die Arbeitsinhalte des Vorhabens DiProPax! von allgemeinem Interesse und großer Wichtigkeit sind.

Für das Gesamtvorhaben der erstmaligen Integration der NFC-Technologie in das Kabinenmanagementsystem sind hingegen während der Projektlaufzeit seitens Dritter mehrere relevante Schutzrechtsanmeldungen getätigt worden:

- Die deutsche Firma Lufthansa Technik AG hat beim Deutschen Patentamt zwei Schutzrechtsanmeldungen für die Nutzung u.a. von NFC in der Flugzeugkabine getätigt. Die Offenlegungsschriften vom April 2014 „Kommunikationssystem in einem Flugzeug“ [MUI12a] und „Software, Kommunikationssystem und -verfahren in einem Flugzeug“ [MUI12b] beschreiben dabei u.a. eine NFC-basierte Datenschnittstelle am Flugzeugsitz zur Kommunikation mit den Passagieren. Als bekannter Stand der Technik wurde allerdings beiden Patentanmeldungen u.a. eine Veröffentlichung des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme der TU Hamburg-Harburg [HG11] entgegengehalten.
- Die neuseeländische Firma Phitek Systems Ltd. hat beim Europäischen Patentamt eine Schutzrechtsanmeldung getätigt. Dabei beschreibt die Offenlegungsschrift ebenfalls vom April 2014 „Near field communication apparatus“ [GD13] vor allem den mechanischen Aufbau sowie das Antennen-Design einer NFC-Leseinheit am Passagiersitz.
- Ein System, welches maßgeblich für eine NFC-gestützte Bestellung und Bezahlung in einer Flugzeugkabine ausgelegt ist, wird in der Offenlegungsschrift „Order and Payment System“ [URT14] der britischen Firma IFPL Group Ltd. dargestellt, die von der WIPO im August 2014 veröffentlicht wurde.
- Die amerikanische Firma LiveTV, LLC. stellt im September 2015 in ihrer Offenlegungsschrift „Registration of a PED with an Aircraft IFE System using an Aircraft Generated Registration



Identifier and Associated Methods“ [KF14] beim amerikanischen Patentamt ein System vor, bei dem über die NFC-Schnittstelle dem Passagiergerät eine „Session ID“ zugewiesen wird, um eine eindeutige Identifizierung des Gerätes in der Kommunikation mit dem IFE System zu ermöglichen.

- Die deutsche Firma Airbus Operations GmbH hat im März 2015 in der Offenlegungsschrift „*Method and device for communication with a personal electronic device in an aircraft*“ [Air15] beim Europäischen Patentamt insbesondere eine Ladevorrichtung für mobile Passagiergeräte beschrieben, welche zusätzlich NFC-Technologie verwendet, um den Ladevorgang zu steuern und um eine einfache Anmeldung am Flugzeug-internen WLAN-Netzwerk zu ermöglichen.
- Die neuseeländische Firma Phytex Systems Ltd. hat eine weitere Schutzrechtsanmeldung beim Europäischen Patentamt getätigt. Die Offenlegungsschrift vom Oktober 2016 „*Communications System for Aircraft*“ [GD16] beschreibt dabei eine Vorrichtung, die die aktive Betriebszeit von eingebauten NFC-Lesegeräten auf ein notwendiges Mindestmaß reduzieren soll. Hierdurch soll einerseits Strom gespart und andererseits unnötigen Feldemissionen entgegen gewirkt werden.

Mit einer viel beachteten Pressemitteilung im September 2014 kündigte die Firma Panasonic Avionics Corp. für den Sommer 2015 eine NFC-Schnittstelle zur Einbindung in ihre Inflight-Entertainment-Systeme an, die aber keine genauen Systemdetails erkennen ließ [Pan14]. Zwar wurden anschließend mehrere Sitzplatzstudien mit NFC-Technologie von Panasonic und auch der Firma Thales S.A. in Zusammenarbeit mit der Firma IFPL Group Ltd. (u.a. bei der *AIX 2015*³⁷, *APEX Expo 2015*³⁸ und *CES 2016*³⁹) vorgestellt. Es wurde aber jeweils dabei betont, dass eine Umsetzung erst in mehreren Jahren zu erwarten sei, da nach wie vor die Zertifizierung entsprechender Systeme nicht einfach sei.

Im März 2017 stellte Qatar Airways auf der Messe „ITB“ in Berlin seine neueste Business-Klasse „Q Suite“ vor, welche an den Sitzplätzen über eine aktive NFC-Schnittstelle zum IFE verfügt. Der Erstflug dieser von B/E Aerospace gelieferten Sitze fand am 24. Juni 2017 auf einer umgerüsteten Boeing 777 statt. Auch andere Sitzhersteller wie Stelia Aerospace haben im Sommer 2017 neue First- und Business-Class-Produkte mit eingebautem, aktivem NFC-Reader vorgestellt.

Eine maßgebliche Veränderung der Marktsituation der NFC-Technologie hat sich im September 2014 durch die Vorstellung des Smartphones „iPhone 6“ der Firma Apple, Inc. ergeben, da somit alle relevanten Hersteller jetzt mobile Geräte mit NFC im Angebot haben. Auf Grund der guten Marktposition der Firma Apple, insbesondere im Bereich der Business und First Class Kunden, war am Boden direkt eine erhebliche Verbreitung der NFC-Schnittstelle und damit ein Zugewinn eines großen Marktanteils bei Nutzern von NFC-Technologie zu beobachten..

³⁷ Aircraft Interiors Expo, Hamburg

³⁸ Airline Passenger Experience Association Expo, Portland, USA

³⁹ Consumer Electronics Show, Las Vegas, USA



11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Wichtige im Rahmen des Teilvorhabens „Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine“ erarbeitete Projektergebnisse wurden bereits in Formen von Publikationen und Fachvorträgen auf nationalen und internationalen Konferenzen veröffentlicht. Dabei wurde die verwendete Modellierungsmethodik frühzeitig auf dem vom 24. bis 25. Februar 2015 in Hamburg stattfindenden „5th International Workshop on Aircraft System Technologies“ vorgestellt. Die erarbeitete Messmethodik sowie erste Messergebnisse zur EMV der NFC-Technologie in einer Flugzeugkabine wurde auf dem vom 23. bis 25. Mai stattfindenden „2016 ESA Workshop on Aerospace EMC“ in Valencia, Spanien mit den anwesenden Fachleuten diskutiert. Die fortführenden Arbeitsergebnisse zur EMV-Simulation konnten 2017 in Hamburg beim „6th International Workshop on Aircraft System Technologies“ vom 21. bis 22. Februar präsentiert werden. Abschließende Untersuchungsergebnisse der EMV Worst-Case-Untersuchungen wurden kürzlich auf der „SAE 2017 AeroTech Congress & Exhibition“ vorgestellt, die vom 26. bis 28. September in Fort Worth, USA veranstaltet wurde.

Eine Abschlusspräsentation und Vorführung des Gesamtdemonstrators mit allen Projektpartnern fand am 13. Juni 2017 im TechCenter des Zentrums für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) in Hamburg statt. Weitere Präsentationen sind im Rahmen von nachfolgenden LuFo V-3-Projekten geplant.

Das Vorhaben wird auch in Form der Schlussberichte publiziert. Dazu werden zum Teilvorhaben zwei gedruckte Ausfertigungen des Schlussberichtes (ohne vertrauliche Bestandteile und ohne den Erfolgskontrollbericht) der Bibliothek des BMWi in Berlin überlassen. An das TIB Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften Universitätsbibliothek – Deutsche Forschungsberichte – in Hannover wird ein gedrucktes Freistück und ein elektronisch gespeichertes Exemplar gesendet, ebenfalls ohne vertrauliche Bestandteile und ohne den Erfolgskontrollbericht.

Bisherige Konferenzbeiträge, Veröffentlichungen, die bislang erfolgte Öffentlichkeitsarbeit sowie studentische Abschlussarbeiten, die im Kontext des Projektes angefertigt wurden, sind nachfolgend tabellarisch aufgelistet:

Publikationen

- T. Kiehl, J. P. Speichert, E. Higgins, R. God, "Electromagnetic Compatibility (EMC) of Electronic Devices with Near Field Communication (NFC) for Use in Aircraft". In: *SAE Technical Paper*, 2017, doi: 10.4271/2017-01-2107.
- J. P. Speichert, T. Kiehl, R. God, H.-D. Brüns, C. Schuster, "Simulation-based Validation of Near Field Communication Effects on Aircraft Wiring". In: *Proceedings of the 6th International Workshop on Aircraft System Technologies. February 21-22, 2017, Hamburg, Germany*. Shaker, Herzogenrath, 2017, S. 283–292.
- C. Nalbantoglu, T. Kiehl, R. God, T. Stadtler, R. Kebel, R. Bienert, "Electromagnetic Compatibility (EMC) for Integration and Use of Near Field Communication (NFC) in Aircraft". In: *2016 ESA Workshop on Aerospace EMC. May 23 - 25, 2016, Valencia, Spain*, 2016, doi: 10.1109/AeroEMC.2016.7504559.



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



- T. Kiehl, R. God, "Modeling Top-Level Requirements for a Tangible User Interface in the Aircraft Cabin". In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Aircraft System Technologies. February 24-25, 2015, Hamburg, Germany*. Shaker, Herzogenrath, 2015, S. 275–284.
- R. God, T. Kiehl, "Die Flugzeugkabine: Ein Cyber-Physical System?". *Ingenieurspiegel*, 2014 1, S. 88–89.
- T. Kiehl, R. God, "An MBSE-Approach for using Near Field Communication in the Aircraft Cabin". In: *Proceedings of the 4th International Workshop on Aircraft System Technologies. April 23 - 24, 2013, Hamburg, Germany*. Shaker, Aachen, 2013, S. 333–354.

Öffentlichkeitsarbeit und Netzwerkbildung

- T. Kiehl, R. God, „AirToken – Der persönliche Begleiter für die ganze Flugreise“, Bewerbung beim *1. Innovationspreis der Deutschen Luftfahrt 2016*, 1. Mai 2016, Berlin
- F. Haack, C. Petermann, C. Clark, „@SeatService: A cyber-physical Journey“. Application for the *Crystal Cabin Award 2016* at the Aircraft Interiors Expo, Hamburg, 2016.
- Erarbeitung und Hosting des Internetauftritts unter https://www.tuhh.de/fks/010_research/projects/dipropax/
- Erarbeitung und Hosting einer passwortgeschützten Kooperationsplattform für die DiProPax!-Projektpartner unter <https://projects.fks.tuhh.de/dipropax/>

Studentische Arbeiten

- J. P. Speichert, "Analyse und Entwurf einer Inter-Domänen Kommunikation im Flugzeugdatennetzwerk". Masterarbeit, TU Hamburg-Harburg, 2016.
- S. Backhaus, "Nutzungskonzepte für NFC-Schnittstellen am Passagiersitz für neuartige elektronische Dienstleistungen". Bachelorarbeit, TU Hamburg-Harburg, 2014.

Im Sinne der Verwertung der Projektergebnisse sind weitere Präsentationen und Veröffentlichungen geplant.



Literaturverzeichnis

- [14443-2] ISO/IEC, 14443-2:2010, „Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Proximity cards – Part 2: Radio frequency power and signal interface“. International Organization for Standardization, Geneva, 2010.
- [15288] ISO/IEC, 15288:2008, „Systems and software engineering – System life cycle processes“. International Organization for Standardization, Geneva, 2008.
- [18092] ISO/IEC, 18092:2013, „Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Near Field Communication – Interface and Protocol (NFCIP-1)“. International Organization for Standardization, Geneva, 2013.
- [Ada15] Adam Gavine, „Pay Day“. In: Aircraft Interiors International, 2015, Showcase 2016, 1, S. 150–151.
- [Air15] Airbus Operations GmbH, „Method and device for communication with a personal electronic device in an aircraft“. EP 2 843 846 A1, 2015.
- [Alt12] O. Alt, „Modell-basierte Systementwicklung mit SysML“. Hanser, München, 2012.
- [ARINC-664P5] Aeronautical Radio Inc., ARINC-664P5, „Aircraft Data Network - Part 5 - Network Domain Characteristics and Interconnection“, Annapolis, MD, 2005.
- [Bac14] S. Backhaus, „Nutzungskonzepte für NFC-Schnittstellen am Passagiersitz für neuartige elektronische Dienstleistungen“. Bachelorarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2014.
- [BF14] P. Bourque, R. E. Fairley (Hrsg.), „Swebok: Guide to the software engineering body of knowledge“. IEEE Computer Society, Washington, DC, 2014.
- [CEP15] CEPT ECC, „ERC Recommendation 70-03: Relating to the use of Short Range Devices (SRD)“, European Conference of Postal and Telecommunications Administration (CEPT), Kopenhagen, 2015.
- [Con02] Condor Engineering Inc., „ARINC Protocol Tutorial Manual“, Santa Barbara, CA, 2002.
- [DO-160G] RTCA, DO-160G, „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“. RTCA, Inc., Washington, DC, 2010.
- [DO-307] RTCA, DO-307, „Aircraft Design and Certification for Portable Electronic Device (PED) Tolerance“. RTCA, Inc., Washington, DC, 2007.
- [ED-130] EUROCAE, ED-130, „Guidance for the Use of Portable Electronic Devices (PEDs) on Board Aircraft“. EUROCAE, Malakoff, 2006.
- [ED-130A] EUROCAE, ED-130A, „Guidance for the use of Portable Electronic Devices (PEDs) on Board Aircraft“. EUROCAE, Malakoff, 2016.
- [Est08] J. A. Estefan, „Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies“. INCOSE MBSE Initiative, International Council on Systems Engineering (INCOSE), Seattle, WA, 2008.



DiProPax! Spezifikation und Validierung digitaler und sicherer Prozesse in der Kabine



- [Fed13] „Expanding Use of Passenger Portable Electronic Devices (PED): InFO 13010“. Federal Aviation Administration (FAA), 2013.
- [FMS15] S. Friedenthal, A. Moore, R. Steiner, „A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language“. Morgan Kaufmann, Amsterdam, Boston, 3. Auflage, 2015.
- [FR+13] G. Fordham, L. Rökaas, C. de Vos, D. Coleman, „The Airports 2025 Think Tank“, Las Vegas, NV, 2013.
- [GD13] N. Greig, H. Dublon (Phitek Systems Ltd.), „Near field communication apparatus“. EP 2 725 719 A1, 2013.
- [GD16] N. Greig, M. A. Dublon (Phitek Systems Ltd.), „Communications System for Aircraft“. EP 3 082 061 A1, 2016.
- [GI11] GSM Association (GSMA), International Air Transport Association (IATA), „The Benefits of Mobile NFC for Air Travel“, 2011.
- [GK14] R. God, T. Kiehl, „Die Flugzeugkabine: Ein Cyber-Physical System?“. In: *Ingenieurspiegel*, 2014, 1, S. 88–89.
- [Has11] C. Haskins (Hrsg.), „Systems Engineering Handbook: A Guide For Life Cycle Processes and Activities“. International Council on Systems Engineering (INCOSE). International Council of Systems Engineering, San Diego, CA, 2011.
- [HG11] H. Hintze, R. God (Airbus Operations GmbH, TUHH), „Zugangssystem für ein Fahrzeug und Verfahren zum Verwalten des Zugangs zu einem Fahrzeug“. DE 10 2011 122 461 A1, 2011.
- [HG13] H. Hintze, R. God, „Authentifizierung und Benutzerrollen als Teilaspekt des Kabinenmanagementsystems von Verkehrsflugzeugen: TUHH Schlussbericht im Vorhaben ‚Simplifizierte Kabine (SIMKAB) - Basistechnologien für eine leichte und vereinfachte Kabine‘ LuFo IV-3“. Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013.
- [HPB11] J. Holt, S. A. Perry, M. Brownsword, „Model-Based Requirements Engineering“. The Institution of Engineering and Technology, Stevenage, 2011.
- [HPC16] F. Haack, C. Petermann, C. Clark, „@SeatService: A cyber-physical Journey“. Projektarbeit, TU Hamburg-Harburg, 2016.
- [HV+11] H. Hintze, V. Voges, R. God, G. Hüttig, „Digitization of Processes for a Consistently Harmonized Security and Service Concept“. In: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Aircraft System Technologies. March 31 - April 1, 2011, Hamburg, Germany*. Shaker, Aachen, 2011, S. 201–211.
- [Int10] International Air Transport Association (IATA) (Hrsg.), „Identifying Technology Trends: Next Steps for the Future“. In: *Airlines International*, 3, 2010.
- [KA06] W. Kürner, P. Argus, „Auswirkung von RFID Leseinheiten auf Leiterstrukturen“. In: *Elektromagnetische Verträglichkeit 2006. 7. bis 9. März 2006, Düsseldorf*. VDE Verlag, Berlin, 2006, S. 145–152.



- [KF14] M. R. Keen, J. A. Frisco (LiveTV, LLC.), „Registration of a PED with an Aircraft IFE System using an Aircraft Generated Registration Identifier and Associated Methods“. US 2014-282727 A1, 2014.
- [KG13] T. Kiehl, R. God, „An MBSE-Approach for using Near Field Communication in the Aircraft Cabin“. In: *Proceedings of the 4th International Workshop on Aircraft System Technologies. April 23 - 24, 2013, Hamburg, Germany*. Shaker, Aachen, 2013, S. 333–354.
- [KG15] T. Kiehl, R. God, „Modeling Top-Level Requirements for a Tangible User Interface in the Aircraft Cabin“. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Aircraft System Technologies. February 24-25, 2015, Hamburg, Germany*. Shaker, Herzogenrath, 2015, S. 275–284.
- [KMR13] K. Küpfmüller, W. Mathis, A. Reibiger, „Theoretische Elektrotechnik: Eine Einführung“. Springer, Berlin, Heidelberg, 19. Auflage, 2013.
- [KS+17] T. Kiehl, J. P. Speichert, E. Higgins, R. God, „Electromagnetic Compatibility (EMC) of Electronic Devices with Near Field Communication (NFC) for Use in Aircraft“. In: *SAE Technical Paper*, 2017, doi: 10.4271/2017-01-2107.
- [KW+11] R. Karban, T. Weilkiens, R. Hauber, M. Zamparelli, R. Diekmann, A. Hein, „Cookbook for MBSE with SysML“. MBSE Initiative – SE2 Challenge Team, GfSE, 2011.
- [LM08] G. Lin, A. M. Mikhak (Apple, Inc.), „System and method for transportation check-in“. US20080286353, 2008.
- [LR10] J. Langer, M. Roland, „Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC)“. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [MIL-STD-461F] DoD, MIL-STD-461F, „Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment“, 2007.
- [Mui12a] A. Muirhead (Lufthansa Technik AG), „Kommunikationssystem in einem Flugzeug“. DE 10 2012 217 797 A1, 2012.
- [Mui12b] A. Muirhead (Lufthansa Technik AG), „Software, Kommunikationssystem und -verfahren in einem Flugzeug“. DE 10 2012 217 795 A1, 2012.
- [NDEF-1.0] NFC Forum, NDEF-1.0:1.0, „NFC Data Exchange Format (NDEF)“. NFC Forum, Inc., Wakefield, MA, 2006.
- [NI13] NFC Forum, International Air Transport Association (IATA), „NFC Reference Guide for Air Travel“, 2013.
- [NK+16] C. Nalbantoglu, T. Kiehl, R. God, T. Stadtler, R. Keibel, R. Bienert, „Electromagnetic Compatibility (EMC) for Integration and Use of Near Field Communication (NFC) in Aircraft“. In: *2016 ESA Workshop on Aerospace EMC. May 23 - 25, 2016, Valencia, Spain*, 2016, doi: 10.1109/AeroEMC.2016.7504559.
- [NXP14] NXP Semiconductors B.V., „PNEV512B: PN512 reader board“. <http://www.nxp.com/demoboard/PNEV512B.html>, 2014. Zugriffsdatum: 01.04.2017.



- [Pan14] Panasonic Avionics Corporation, „A match made in heaven – Panasonic launches NFC in aircraft cabin“. Anaheim, CA, 2014.
- [Pan15] Panasonic Avionics Corporation „Singapore Airlines partners with Panasonic to launch seamless travel app“. Portland, OR, 2015.
- [Poh08] K. Pohl, „Requirements engineering: Grundlagen, Prinzipien, Techniken“. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 2008.
- [Rol11] Roland Minihold, „Near Field Communication (NFC) Technology and Measurements“, Rohde & Schwarz, München, 2011.
- [Ros11] N. Rose, „Navigating the Airport of tomorrow“, Amadeus IT Group SA, 2011.
- [Sca09] A. H. Scalliet, „Beyond the Boarding Pass“. Airport Technology. <http://www.airport-technology.com/features/feature63257/>, 2009. Zugriffsdatum: 28.04.2015.
- [SIT12] SITA, „Passengers pass seamlessly through Toulouse airport using only a mobile phone: World first at Toulouse-Blagnac Airport“. Toulouse, 2012.
- [SIT14] „The Passenger IT Trends Survey 2014“, Geneva, 2014.
- [SK+17] J. P. Speichert, T. Kiehl, R. God, H.-D. Brüns, C. Schuster, „Simulation-based Validation of Near Field Communication Effects on Aircraft Wiring“. In: *Proceedings of the 6th International Workshop on Aircraft System Technologies. February 21-22, 2017, Hamburg, Germany*. Shaker, Herzogenrath, 2017, S. 283–292.
- [Spe16] J. P. Speichert, „Analyse und Entwurf einer Inter-Domänen Kommunikation im Flugzeugdatennetzwerk“. Masterarbeit, TU Hamburg-Harburg, 2016.
- [TET17] Institute of EM Theory, „CONCEPT-II“. Hamburg University of Technology. www.tet.tuhh.de/concept/. Zugriffsdatum: 01.04.2017.
- [Thi12] S. Thies, „Untersuchung zur EMV-konformen Integration von kontaktloser Smart Card Technologie in das Flugzeug am Beispiel eines Flight Attendant Panel“. Diplomarbeit, TU Hamburg-Harburg, 2012.
- [URT14] G. P. Underwood, M. T. Reed, N. J. Thomas (IFPL Group Ltd), „Order and Payment System“. WO 2015/028810 A1, 2014.
- [Wei08] T. Weilkiens, „Systems Engineering mit SysML/UML: Modellierung, Analyse, Design“. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 2008.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich von drahtlosen Kommunikationstechnologien in der Flugzeug-Kabine	7
Abbildung 2: Zeitplanung im Projekt und Abfolge der Hauptarbeitspakete HAP 1 bis HAP 3	9
Abbildung 3: DiProPax!-Projektplan nach Erhöhung der Projektreichweite	9
Abbildung 4: Flugzeug-Domänenmodell mit zugeordneten Funktionen	11
Abbildung 5: ACRE-Ontologie [HPB11] dargestellt in der SysML	19



Abbildung 6: Prozess zur Erstellung eines <i>Tailored Framework</i>	20
Abbildung 7: Methodik für ein Anforderungsmodell	20
Abbildung 8: Prozessschritte des „ <i>Stakeholder Requirements Definition Process</i> “	20
Abbildung 9: Gesamtheit aller Stakeholder des NFC-Systems in der Kabine.....	21
Abbildung 10: Hoch priorisierte Anwendungsfälle in der Kabine	22
Abbildung 11: Szenario des Anwendungsfalls „Lokale Unterhaltungsmedien konsumieren“	23
Abbildung 12: Prozessschritte des „ <i>Requirements Analysis Process</i> “	24
Abbildung 13: Nicht-funktionale Anforderungen des NFC-Forums für das NDEF	25
Abbildung 14: Übersicht von Dokumenten mit nicht-funktionalen Anforderungen	26
Abbildung 15: <i>Tracing</i> -Tabelle für die Verknüpfung von Anforderungen und Anwendungsfällen mit ihren externen Quellenelementen.....	27
Abbildung 16: „ <i>Back door coupling</i> “ in Flugzeugsysteme und Leitungen.....	29
Abbildung 17: EMV-Messverfahren zur Ermittlung der induktiven Kopplung von NFC-Geräten in Leitungen eines Flugzeugs	30
Abbildung 18: Auf einem digitalen Prozessschlüssel (Token) basierende durchgängige Tür-zu-Tür- Prozesskette.....	32
Abbildung 19: Ausgewählte Funktionen der Stakeholder während einer Flugreise.....	33
Abbildung 20: Anwendungsfälle mit wichtigen Basis-Funktionalitäten.....	34
Abbildung 21: Rekursive Paketstruktur im Modell auf Systemkomponenten-Ebene.....	35
Abbildung 22: Modellierte Systemarchitektur auf Komponenten-Ebene	35
Abbildung 23: Modellierte Systemkomponenten des bestehenden Kabinenmanagement-Systems ..	36
Abbildung 24: Vergleich von Umsetzungsvarianten basierend auf NFC-Readern (grün) und NFC- Tags (blau).....	37
Abbildung 25: Die drei NFC-Funktionalitäten im Vergleich.....	37
Abbildung 26: Modellierte Systemarchitektur des Passagiersitzes	38
Abbildung 27: Modellierte Systemarchitektur des Kiosk-Systems am Flughafen.....	39
Abbildung 28: Modellierte Software-Architektur des IFEC-Servers.....	39
Abbildung 29: Untersuchung möglicher Einbaupositionen für die NFC-Antenne (links) in der Rücklehne des Vordersitzes, (rechts) in der Armlehne	41
Abbildung 30: Modellierte elektrische Schnittstellen zwischen dem IFEC-System und dem vorhandenen Kabinenmanagementsystem.....	41
Abbildung 31: Schnittstellenwandler für den ARINC 429-Bus des CIDS <i>Directors</i>	42
Abbildung 32: ARINC 429 Schnittstellenwandler-Modul als erste Versuche auf einem Steckboard (links) und als fertige Zusatzplatine (rechts).....	42
Abbildung 33: Prototypischer Messaufbau für die EMV-Messung zur Auswirkung der NFC- Kommunikation auf (Flugzeug-)Leitungen.....	43
Abbildung 34: Messaufbau zur Erzeugung der maximalen Induktion bei einem gegebenen Abstand durch Drehen und Verschieben des PED.....	43
Abbildung 35: Charakteristika des NFC-Signals: Eindeutiges Sinus-Signal bei 13,56 MHz (links) mit schwachen Harmonischen (rechts).....	44
Abbildung 36: Maximale induzierte Ströme ausgewählter Passagiergeräte in Abhängigkeit vom Abstand zum Messkabel und relevanter Grenzwert nach RTCA DO-160.....	44
Abbildung 37: Komponenten des erweiterten Messaufbaus	45
Abbildung 38: Simulierte Magnetfeldverteilung für einen geraden Leiter (links) und eine 100 mm Leiterschleife (rechts) bei einem Antennenabstand von 5 cm.....	46



Abbildung 39: NFC-Entwicklungsboard PNEV512B „Blueboard“ der Fa. NXP Semiconductors	46
Abbildung 40: Simulationen einer NFC-Antenne über einer Leitung mit verschiedenen Geometrien: Rechteckige Leiterschleife mit 2 Windungen und gleichen Abmessungen (links) und runde Leiterschleife mit 3 Windungen und einem 5 cm Durchmesser (rechts).....	46
Abbildung 41: Induzierte Ströme eines leistungsstarken PED bei verschiedenen Leitergeometrien...	47
Abbildung 42: NFC-Varianten am Passagiersitz: passiver NFC-Tag (links) und Antenne des aktiven NFC-Reader-Moduls in der Armlehne (rechts)	48
Abbildung 43: SKYpower-Komponenten für die Stromversorgung der aktiven NFC-Reader-Module am Passagiersitz.....	49
Abbildung 44: Hardware-Architektur für das NFC-System in der Flugzeugkabine	49
Abbildung 45: Software-Architektur des aktiven NFC-Readers am Passagiersitz.....	51
Abbildung 46: Aufbau und Modifikation des vorhandenen Kabinenmanagement-Systems im ZAL TechCenter.....	52
Abbildung 47: Schnittstellen-Funktionstest für das Leselicht und die „Passenger Call“-Funktion: Applikation auf dem Smartphone (links) und Sitzplatz mit PSU (rechts)	53
Abbildung 48: Bestellungen von Speisen und Getränken: Auswahl im Web-Portal auf dem Smartphone (links) und dazugehörige Bestellungsliste nach Sitzplätzen sortiert auf dem FAP (rechts).....	53
Abbildung 49: Generierung des Identitäts-Tokens (links), Inhalt des neuen Identitäts-Token (mitte-links) sowie die Generierung des Reise-Tokens (mitte-rechts) und neuer Reise-Token (rechts) auf dem Smartphone	54
Abbildung 50: Aufgebauter Kabinendemonstrator im ZAL TechCenter	55
Abbildung 51: Projekt-Abschlussstreffen im ZAL TechCenter mit Vorführung der Ergebnisse (links) und erfolgreichem Projektabschluss (rechts).....	55
Abbildung 52: Das Smartphone mit einem Reisetoken als ein tragendes Element für nahtlose Tür-zu-Tür-Prozesse.....	56
Abbildung 53: IFEC-Server (HESU) integriert in das A380 Kabinenmanagementsystem	58
Abbildung 54: Modellierter Software-Architektur auf der HESU	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Feldstärken-Grenzwerte für elektromagnetische Emissionen	28
Tabelle 2: Übersicht der Nutzungsszenarien.....	32
Tabelle 3: Analyse der Nutzungsszenarien hinsichtlich des Funktionsumfangs	33
Tabelle 4: Tabellarische Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen im Teilvorhaben	62