

Simplifizierte Integration (SINTEG)

Abschlussbericht

**Fördervorhaben im Rahmen des
Luftfahrtforschungsprogramms 2007–2012**

31. Dezember 2011

Funkwerk Avionics GmbH

Vorhabensbezeichnung: SINTEG: Simplifizierte Integration
Förderkennzeichen: 20K0806K
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2008 bis 31.12.2011
Berichtszeitraum: 01.01.2008 bis 31.12.2011
Berichterstatter: Hubert Stich, Dr. Thomas Wittig, Mario Esslinger
Datum: 31.12.2011
Unterschriften:

INHALT

1. EINLEITUNG	4
1.1. ZWECK DIESES DOKUMENTS	4
1.2. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	4
2. AUFGABENSTELLUNG	5
3. STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK ZU BEGINN DES VORHABENS	6
4. PLANUNG UND ABLAUF	7
4.1. ÜBERSICHT	7
4.2. ANTEILE VON FUNKWERK AVIONICS AM VERBUNDVORHABEN	8
4.2.1. <i>Arbeitspaket 1: Systemkonzept</i>	8
4.2.2. <i>Arbeitspaket 2: Aufbau eines Labormusters und Evaluierung des Gesamtkonzepts</i>	8
4.2.3. <i>Arbeitspaket 3: Dynamische Netzstrukturen</i>	9
4.2.4. <i>Arbeitspaket 4: Projektleitung und Dokumentation</i>	9
4.3. RESSOURCEN- UND MEILENSTEINPLANUNG.....	10
5. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	13
6. ERZIELTE ERGEBNISSE	14
6.1. AP 1 – SYSTEMKONZEPT	14
6.1.1. <i>Teilarbeitspaket 1.1: Konzept Gesamtsystem</i>	14
6.1.2. <i>Teilarbeitspaket 1.2: Konzept für die Anbindung von Sensoren/Aktuatoren</i>	17
6.1.3. <i>Teilarbeitspaket 1.3: Bandbreiten</i>	18
6.1.4. <i>Teilarbeitspaket 1.4: Zulassungskonzept</i>	18
6.2. AP 2 – LABORMUSTER / DEMONSTRATOR	21
6.2.1. <i>Teilarbeitspaket 2.1: Definition</i>	21
6.2.2. <i>Teilarbeitspaket 2.2: Entwicklung und Konstruktion</i>	22
6.2.3. <i>Teilarbeitspaket 2.3: Realisierung</i>	25
6.2.4. <i>Teilarbeitspaket 2.4: Evaluierung</i>	31
6.3. AP 3 – DYNAMISCHE NETZSTRUKTUREN.....	36
6.4. AP 4 – PROJEKTL EITUNG UND DOKUMENTATION	37
6.5. ABSCHLUSSBETRACHTUNG.....	39
7. VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	40
7.1. WIRTSCHAFTLICHE ERFOLGSAUSSICHTEN.....	40
7.2. WISSENSCHAFTLICHE UND WIRTSCHAFTLICHE ANSCHLUSSFÄHIGKEIT.....	40
7.3. SCHLUSSFOLGERUNG	41
8. FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN	42
9. VERÖFFENTLICHUNGEN, VORTRÄGE	43
9.1. VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE	43
9.2. LISTE DER ERSTELLTEN DOKUMENTATION	43

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Bild 1:	Arbeitsstrukturplan	7
Bild 2:	Zeitplan	11
Bild 3:	Miniaturisierung des optischen Transceivers.....	22
Bild 4:	Internes Aufbauprinzip des WAP	23
Bild 5:	Aufbau des WAP (Seitenansicht).....	23
Bild 6:	Aufbau des Wandlerboards	24
Bild 7:	Aufbau des FPGA-Boards	24
Bild 8:	Optischer Transceiver (FwD)	26
Bild 9:	Erster Prototyp der AD/DA-Wandlerplatine	26
Bild 10:	AD/DA-Wandler-Platine, überarbeitete Version,.....	27
Bild 11:	Interface-Modul für VIRTEX5-Entwicklungsplattform (Unterseite)	27
Bild 12:	VIRTEX5-Entwicklungsplattform (EADS-IW) mit FAV-Wandlerboard und Interface-Modul	28
Bild 13:	Development Stack: Adapter Board, FPGA Modul, Wandler-Modul	28
Bild 14:	FPGA-Board	29
Bild 15:	WAP-Module: Wandler-Board, FPGA-Modul, Microcomputer-Board	29
Bild 16:	WAP im Gehäuse.....	30
Bild 17:	WAP mit optischem Frontend (FwD)	30
Bild 18:	Messaufbau mit zwei optischen Frontends und zwei WAPs.....	32
Bild 19:	Messaufbau schematisch	32
Bild 20:	Verlauf der am Receiver gemessenen Leistung (Auto Gain deaktiviert).....	33
Bild 21:	Verlauf der am Receiver gemessenen Leistung (Auto Gain aktiviert).....	34
Bild 22:	BPSK Augendiagramm (Frequenz 4MHz)	34
Bild 23:	BPSK Augendiagramm (Frequenz 20MHz)	35

1. Einleitung

1.1. Zweck dieses Dokuments

Dieses Dokument beschreibt die Arbeiten der Funkwerk Avionics GmbH (FAV) im Forschungsvorhaben SINTEG (Simplifizierte Integration) im Rahmen des Verbundprojekts „Integrierte Technologie für vernetzte Kommunikationssysteme im Luftfahrzeug“.

1.2. Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket	MAC	Media Access Control
DO- <i>n</i>	RTCA document <i>n</i>	PM	Projektmonat
ED- <i>n</i>	EUROCAE Standard <i>n</i>	OFDM	"Orthogonal Frequency Division Multiplex", manchmal auch "Optical Frequency Division Multiplex"
ETSO	European Technical Standard Order (EASA)	OOFDM	Optical Orthogonal Frequency Division Multiplex
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment	SAW	Surface Acoustic Wave
FAV	Funkwerk Avionics GmbH	SW	Software
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft	TSO	Technical Standard Order (FAA)
FPGA	Field Programmable Gate Array	WAP	Wireless Access Point
FwD	Funkwerk Dabendorf GmbH		
ICAO	International Civil Aviation Organization		

2. Aufgabenstellung

Das Teilvorhaben der Funkwerk Avionics GmbH im Rahmen des Verbundvorhabens SINTEG hatte, aufbauend auf Vorarbeiten des Unterauftragnehmers Funkwerk Dabendorf GmbH, die gerätetechnische Realisierung eines drahtlosen Kommunikationssystems für die Flugzeugkabine zum Ziel.

Als gemeinsames technisches Ziel wurde mit den Partnern im Verbund der Laboraufbau eines Versuchsmusters des Gesamtsystems zur Evaluierung der Systemleistungen angestrebt. Weiterhin wurden Weiterentwicklungen am optischen Frontend durchgeführt und eine Reihe von Systemaspekten untersucht.

Im Einzelnen wurden die folgenden Themen bearbeitet:

- Realisierung des Access Point für ein optisches Netzwerk.
- Untersuchungen zu einer ausfallsichere Backup-Lösung für sicherheitskritische Anwendungen, proprietäres Funkkommunikationssystem (SAWbit)
- Integration Systemdemonstrator bei FAV und Bereitstellung von Modulen für die Integration in den Demonstrator der JU Bremen und die Entwicklungsumgebung bei EADS IW
- Beiträge zum Zulassungskonzept

3. Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn des Vorhabens

In der Kabine moderner Verkehrsflugzeuge findet sich eine große Zahl von Systemen, die mit zentralen Avionikgeräten über digitale Busschnittstellen verbunden sind. Der hohe Aufwand für die Verkabelung und die damit verbundenen Probleme sind die Motivation für die Suche nach alternativen Lösungswegen für die Vernetzung dieser Systeme. Ein möglicher Ansatz liegt in der Nutzung von drahtlosen Kommunikationssystemen. Es kommen sowohl Funksysteme in verschiedenen Frequenzbereichen als auch optische Systeme grundsätzlich in Betracht.

Das Verbundvorhaben konzentrierte sich auf die Realisierung eines optischen Netzwerks für die Flugzeugkabine. Derartige Systeme wurden bislang nicht realisiert.

Im Vorhaben Kabtec waren bereits drahtlose Kommunikationslösungen auf Basis der UWB (Ultra Wide Band) - Technologie als auch die optische, ungerichtete Freiraumkommunikation betrachtet worden. Es wurde u.a. eine optische Technologie demonstriert, die jedoch aufgrund des gewählten Modulationsverfahrens nicht netzwerkfähig war. Bei Beginn des Vorhabens SINTEG zeichnete sich ab, dass die UWB-Technologie von den Chipherstellern aufgegeben wurde und somit auch für Anwendungen in der Flugzeugkabine nicht mehr zur Verfügung steht.

Bei Beginn des Vorhabens wurde in dem proprietären Funksystem "SAWBit" eine geeignete Alternative als Backup-System zu optischen Verfahren, insbesondere für sicherheitskritische Anwendungen, gesehen.

Die prinzipielle Machbarkeit innovativen, netzwerkfähigen Modulationsverfahrens für neuartige optische Netzwerke wurde im Rahmen des Vorhabens KABTECH von der Jacobs-Universität Bremen, Prof. Dr. Harald Haas gezeigt. Im Rahmen von KABTECH wurden von Funkwerk Dabendorf GmbH optische Frontends entwickelt, die jedoch nur mit Einschränkungen erfolgreich in Zusammenarbeit mit den Modulationsverfahren der Jacobs Universität demonstriert werden konnten.

Die Nutzung drahtloser Sensoren im Flugzeug war bei Beginn des Vorhabens kaum bekannt. Aus diesem Grund wurden entsprechende Arbeiten in das Vorhaben SINTEG eingeplant.

4. Planung und Ablauf

4.1. Übersicht

Das Vorhaben der Funkwerk Avionics war Teil des Verbundvorhabens SINTEG. Der Teilbereich "Drahtlose Kommunikation" wurde von EADS IW im Auftrag von Airbus Deutschland GmbH koordiniert. Alle Arbeiten der Funkwerk Avionics wurden daher in enger Abstimmung mit EADS IW und den übrigen Verbundpartnern durchgeführt.

Die im nachfolgenden Bild gezeigten Arbeitspakete wurden im Zuwendungsantrag definiert. Die durchgeführten Arbeiten werden im Folgenden beschrieben. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Bearbeitung entsprechend dieser Struktur durchgeführt wurde. Durch die vorhabensübergreifend durchgeführte Koordination durch EADS IW und die teilweise von den Erwartungen bei der Antragstellung abweichenden Zuarbeiten der Verbundpartner ergaben sich Verschiebungen der Gewichtung der einzelnen Arbeitsinhalte gegenüber der ursprünglichen Planung, die jedoch insgesamt im Rahmen der vorgeplanten Mittel und der Zeitplanung blieben.

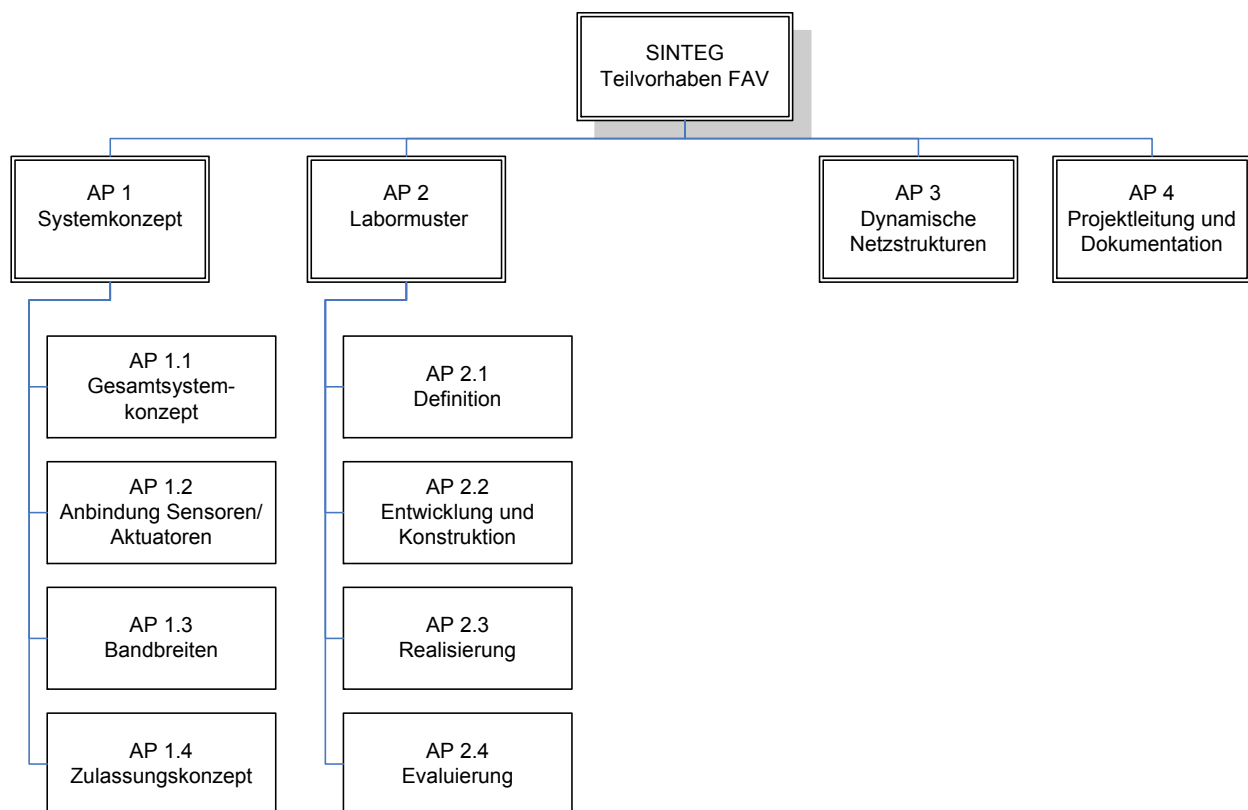


Bild 1: Arbeitsstrukturplan

4.2. Anteile von Funkwerk Avionics am Verbundvorhaben

4.2.1. Arbeitspaket 1: Systemkonzept

4.2.1.1. ARBEITSPAKET 1.1: Gesamtsystemkonzept

Ziel dieser Arbeiten war die Mitarbeit bei der Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes für ein drahtloses optisches Netzwerk für die Flugzeugkabine, das im Rahmen des Vorhabens als Demonstrator realisiert werden sollte. Von Funkwerk Avionics und dessen Unterauftragnehmer Funkwerk Dabendorf wurden Beiträge sowohl bei der Auslegung der Plattform für den „Wireless Access Point“ als auch zum „Frontend“ abgestimmt. Hierfür wurde neben der optischen Kommunikation auch ein als Backup-System angedachtes Konzept, die sog. SAWBit-Technologie, betrachtet.

4.2.1.2. Arbeitspaket 1.2: Anbindung von Sensoren/Aktuatoren

Im Rahmen dieses APs wurde von FAV in Zusammenarbeit dem Unterauftragnehmer FwD die Eignung der optischen Netzwerktechnologie für die Anbindung von Sensoren und Aktuatoren betrachtet.

4.2.1.3. Arbeitspaket 1.3: Bandbreiten

In diesem Arbeitspaket waren Untersuchungen zur Systembandbreite und der Bandbreitenverteilung zwischen verschiedenen Anwendungen geplant.

Die Fragestellung der Lastverteilung zwischen verschiedenen Netzwerkpfaden und Nutzung von Redundanz wird durch moderne IP-basierte Netzwerkkomponenten bereits abgedeckt, so dass hier im Rahmen des Vorhabens kein Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen wurde.

4.2.1.4. Arbeitspaket 1.4: Sicherheits- und Zulassungskonzept

Im Rahmen des Arbeitspakets waren spezifische Aspekte für die Zulassung zu untersuchen, die für die von FAV realisierten Komponenten von Bedeutung sind.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen betraf die Nutzung der SRAM-basierten FPGA-Technologie in der Luftfahrt.

4.2.2. Arbeitspaket 2: Aufbau eines Labormusters und Evaluierung des Gesamtkonzepts

4.2.2.1. Arbeitspaket 2.1: Definition

Dieses Teilarbeitspaket umfasst die Abstimmung des Gesamtaufbaus mit den Verbundpartnern und die Spezifikation des Arbeitsanteils von FAV.

4.2.2.2. Arbeitspaket 2.2: Entwicklung und Konstruktion

Dieses Teilarbeitspaket umfasste:

- Definition und Entwicklung der Schnittstellen
- Aufbau des WAP und Erstellung der Software für die externe Vernetzung
- Elektromechanische Konstruktion der WAP-Komponenten
- Inbetriebnahme und Test der Einzelmodule

4.2.2.3. Arbeitspaket 2.3: Integration

Dieses Teilarbeitspaket umfasste:

- Herstellung von optischen Frontends durch FwD
- Herstellung von Systemkomponenten für die Partner
- Mitarbeit beim Aufbau des Gesamtsystems durch Jacobs-Universität
- Definition und Aufbau einer FAV-internen Testumgebung

4.2.2.4. Arbeitspaket 2.4: Evaluierung

Dieses Teilarbeitspaket umfasste:

- Durchführung von Funktionstests des Gesamtsystems
- Messung und Dokumentation der Leistungsparameter des Systems
- Identifizierung von Problembereichen

4.2.3. Arbeitspaket 3: Dynamische Netzstrukturen

Aufbauend auf schon in Entwicklung befindlichen Verfahren der Selbstorganisation der Netzstruktur in der Kabine sollten Konzepte erarbeitet werden, um in einem derartigen Netz ein deterministisches, d.h. vorhersagbares Verhalten der Subsysteme und des Netzes zu erzielen, das als eine Voraussetzung für die Nutzung in sicherheitsrelevanten Anwendungen angesehen wird.

4.2.4. Arbeitspaket 4: Projektleitung und Dokumentation

Dieses AP umfasst die Leitung und Koordination aller Vorhabens-Aktivitäten bei FAV, die Führung des Unterauftragnehmers FwD, die Koordination mit den übrigen Teilnehmern des Verbundvorhabens und die Kommunikation mit dem Projektträger.

4.3. Ressourcen- und Meilensteinplanung

Die Ressourcenplanung der Funkwerk Avionics umfasste zu Beginn des Vorhabens:

Personaleinsatz	10.000 Personalstunden
Personalkosten	744.615,55 €
Material	0,00 €
FE-Fremdleistungen	240.000,00 €
Reisekosten	9.000,00 €
Gesamt	993.615,55 €

Diese Ressourcen verteilen sich gemäß Plan auf die einzelnen Arbeitspakete wie folgt:

AP	Personalstunden	Material	Reisen	FE-Fremdleistungen
AP 1	4.500h		2.000€	162.000€
AP 2	3.500h		2.000€	78.000€
AP 3	1.200h		1.000€	-
AP 4	800h		4.000€	-
Summe	10.000h	0€	9.000€	240.000€

Die geplanten Meilensteine sind im nachfolgenden Balkenplan dargestellt. Sie orientieren sich an der zwischen Airbus und den übrigen Verbundpartnern abgestimmten Planung des Verbundvorhabens.

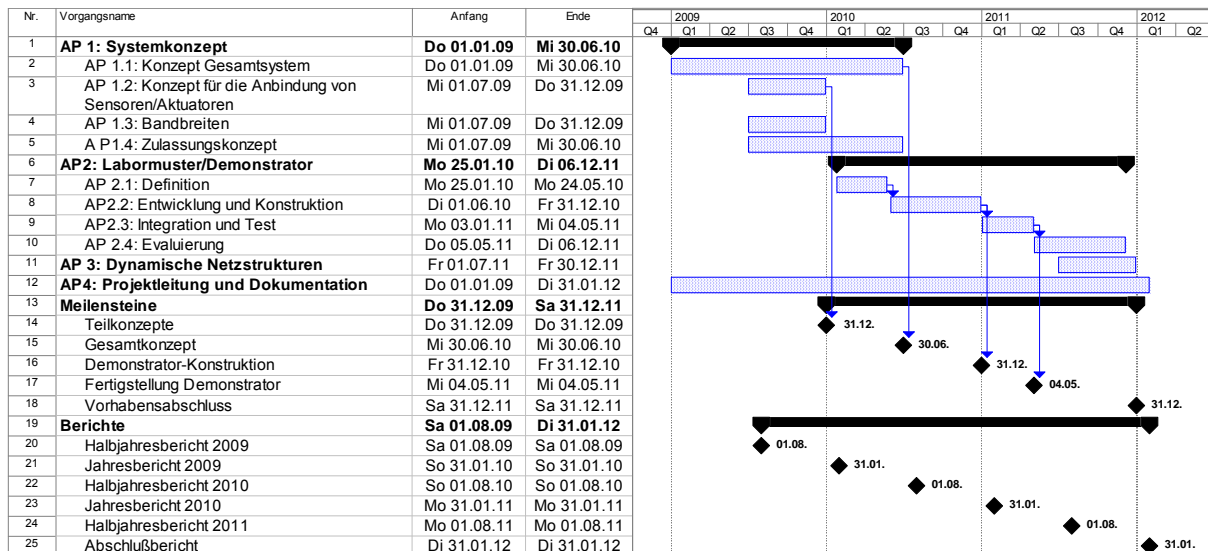


Bild 2: Zeitplan

Mit dem Unterlieferanten Funkwerk Dabendorf wurde am 09.02.2009 ein Forschungs- und Entwicklungsvertrag mit folgenden Eckpunkten abgeschlossen:

1. Laufzeit: 01.01.2009 bis 31.12.2011
2. Höchstgrenze des Selbstkostenerstattungspreises in Höhe von 240.000 Euro
3. Aufgabenbeschreibung:
 - a. AP1 - Mitarbeit bei der Ausarbeitung des Systemkonzeptes
 - b. AP2 - Mitarbeit bei der Spezifizierung und Aufbau einer Testumgebung für die Ermittlung der wesentlichen Verhaltensweisen einer drahtlosen Kabinenkommunikation, Konstruktion und Aufbau von Mustern

Materialkosten waren zu Beginn des Vorhabens nicht vorgesehen.

Reisekosten waren zur Teilnahme an Koordinationsbesprechungen mit dem Unterauftragnehmer sowie den Verbundpartnern vorgesehen.

Weitere Einzelheiten zur Ressourcenplanung zu Beginn des Vorhabens, insbesondere die Aufteilung auf die einzelnen Jahre, sind den AZK zu entnehmen.

Am 27.09.2010 wurde eine Mittelumwidmung in Höhe von 7.000 Euro von Fremdleistungen in Materialkosten beantragt und mit Änderungsbescheid vom 21.10.2010 genehmigt. Diese Mittelumwidmung war nötig, da einzelne elektronische Bauteile nun direkt durch Funkwerk Avionics und nicht wie ursprünglich geplant durch den Unterauftragnehmer Funkwerk Dabendorf beschafft werden mussten.

Am 30.05.2011 wurde schließlich eine weitere Mittelumwidmung in Höhe von 148.000 Euro von Fremdleistungen in Personalkosten sowie in Höhe von 3.000 Euro von Reisekosten in Materialkosten beantragt.

Diese Umwidmung war nötig, da die Arbeiten des Unterauftragnehmer Funkwerk Dabendorf nicht im ursprünglichen Umfang durchgeführt werden konnten. Durch die Vernetzung von SINTEG mit SIMKAB, die unter der Koordination von EADS IW durchgeführt wurden, ergaben sich erheblich geänderte Randbedingungen gegen-

über der Vorhabenplanung, die eine Fortführung der F&T-Arbeiten des Unterauftragnehmers im ursprünglich geplanten Umfang nicht sinnvoll erscheinen ließen, da im Rahmen SIMKAB vom Heinrich-Hertz-Institut der FhG eine direkt einsetzbare optische Frontendlösung entwickelt wurde.

Andererseits entstehen insgesamt höhere Personalaufwände bei FAV durch die Tatsache, dass nicht im geplanten Umfang auf Zuarbeit der Partner zurückgegriffen werden konnte, sondern eine komplette Neuentwicklung des „Wireless Access Points“ durchgeführt werden musste und der Aufbau einer eigenständigen Demonstration durchgeführt werden soll.

Die beantragte Mittelumwidmung wurde bislang nicht durch einen Änderungsbescheid genehmigt, laut telefonischer Aussage des Projektträgers soll dies jedoch aus Vereinfachungsgründen mit dem endgültigen Verwendungsnachweis erfolgen.

Aus diesem Grund wurde der Forschungs- und Entwicklungsvertrag mit Funkwerk Dabendorf mit Nachtrag vom 29.07.2011 geändert. In diesem Nachtrag wurde die Höchstgrenze des Selbstkostenerstattungspreises von 240.000 Euro auf 83.850,55 Euro reduziert.

Das Vorhaben wurde somit insgesamt innerhalb der Kosten- und Zeitplanung durchgeführt.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Arbeiten des Vorhabens waren Teil des Verbundvorhabens SINTEG unter der Koordination der Airbus Operations GmbH. Airbus hat die Koordination des Vorhabens an EADS IW, Ottobrunn, delegiert.

Funkwerk Avionics hat innerhalb des Verbundes, koordiniert durch EADS IW, im Wesentlichen mit der Jacobs Universität Bremen, Prof. Harald Haas, zusammengearbeitet. Mit dem Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut (FhG-HHI), Berlin, ergab sich eine gute Abstimmung der Aktivitäten, die dort im Vorhaben SIMKAB durchgeführt wurden.

Während der Projektlaufzeit hat Funkwerk Avionics intensiv mit Funkwerk Dabendorf zusammengearbeitet. Funkwerk Dabendorf war dabei im Unterauftrag zu Funkwerk Avionics plangemäß an mehreren Arbeitspaketen beteiligt:

- a. AP1 - Mitarbeit bei der Ausarbeitung des Systemkonzeptes
- b. AP2 - Mitarbeit bei der Spezifizierung und Aufbau der Testumgebung
- c. AP3 - Selbstorganisierende Netzwerke

Die Verbundpartner trafen sich 2x jährlich zu Informationsaustausch bei EADS IW unter Einbeziehung des HHI und teilweise unter Einbeziehung des FAV-Unterauftragnehmers FwD. Hierbei wurden jeweils in einer ganztägigen Sitzung Konzepte auf Systemebene ebenso diskutiert wie technische Detailfragen und Problemstellungen. Stärker als von FAV bei Antragstellung erwartet standen die Probleme des optischen Frontends im Mittelpunkt zahlreicher Diskussionen.

Weitere erwähnenswerte Punkte zur Zusammenarbeit:

- Die Jacobs-Universität Bremen und EADS IW erhielten im Rahmen des Vorhabens die von FAV entwickelten AD/DA-Wandler-Module sowie geeignete Interface-Platinen für das dort eingesetzte Entwicklungsboard, die auch bei der abschließenden Systemdemonstration eingesetzt wurden.
- Die Jacobs-Universität Bremen verifizierte, dass der von FAV ausgewählte FPGA-Typ eine ausreichende Leistungsfähigkeit für die OOFMD-Basisbandverarbeitung besitzt.
- FAV erhielt von der Jacobs-Universität im Herbst 2012 den Quellcode einer OFDM-Basisbandverarbeitung. Wegen Inkompatibilität der Entwicklungsumgebungen konnte dieser Code jedoch nicht mehr auf der von FAV entwickelten WAP-Plattform getestet werden.
- FAV beabsichtigt, die entwickelte WAP-Plattform der Jacobs-Universität Bremen für weitere Forschungsarbeiten zur Verfügung zu stellen.

Die Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern und dem Unterauftragnehmer FwD erfolgte neben den halbjährlichen Statustreffen auch in einigen dedizierten Treffen, zahlreichen Telefonaten und regem E-Mail-Austausch, sowie durch den Austausch von Dokumenten.

6. Erzielte Ergebnisse

6.1. AP 1 – Systemkonzept

6.1.1. Teilarbeitspaket 1.1: Konzept Gesamtsystem

Das im Rahmen des Vorhabens zu untersuchende Gesamtsystem wurde in Abstimmung mit den Verbundpartnern als optischen Netzwerks nach dem (O)OFDM-Konzept mit folgenden Charakteristika definiert (Abstimmung bei EADS IW am 10.06.2010):

- Intensitätsmodulation des optischen Signals (OFDM)
- Potential für schnelle Netzwerke mit Datenraten von ≥ 100 Mbit/s
- Systembandbreite ≥ 25 MHz
- Indirekte Übertragung (NLOS - Non line-of-sight) über bis zu 3m Entfernung

OOFDM¹ steht für "Optical Orthogonal Frequency Division Multiplex", d.h. die Mehrfachnutzung des optischen Spektrums wird dadurch erreicht, dass jedem einzelnen Benutzer zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmter Teil des verfügbaren Spektrums zur Verfügung gestellt wird (Frequenzmultiplex-Verfahren). Da verfügbare optische Frontends nicht in der Lichtwellenlänge modulierbar sind, erfolgt die Mehrfachnutzung über zahlreiche Hilfsträger, die dem Licht aufmoduliert werden. Das Modulationsverfahren OFDM wird in ähnlicher Form auch bei der digitalen Übertragung von Fernsehsignalen nach dem DVB-T-Standard und digitale Radioübertragung DAB eingesetzt. Auch WLAN, DSL und USB 3.0 nutzen ähnliche Modulationstechniken. Die einzelnen Hilfsträger können ihrerseits phasen-, frequenz- oder amplitudenmoduliert werden.

Der Verbundpartner Jacobs-Universität Bremen hat das Modulationsverfahren auf FPGA-Plattformen realisiert. Für weiterführende Informationen zu diesem Bereich wird auf die Berichterstattung des Verbundpartners verwiesen.

Für die Arbeiten von FAV waren zwei Eigenschaften des Modulationsverfahrens von besonderem Interesse:

- die hohen Anforderungen des Modulationsverfahrens an die Linearität der Übertragungsstrecke;
- die Leistungsanforderungen des Verfahrens an die FPGA-Plattform und die AD/DA-Wandlung.

Die ursprünglich als ein Schwerpunkt gesehene Zusammenführung mit Funknetzwerken wurde vom Verbundkoordinator und FAV übereinstimmend als von untergeordneter Bedeutung angesehen. Diese Folgerung ergab sich aus verschiedenen Aspekten.

Durch den Wegfall des UWB-Standards, der von der Halbleiterindustrie de facto aufgegeben wurde stand keine Basistechnologie mit Zukunftspotential mehr zur Verfü-

¹ Die Abkürzung OFDM wird sowohl für "Orthogonal Frequency Division Multiplex" als auch für "Optical Frequency Division Multiplex" verwendet. Mit der hier verwendeten Abkürzung "OOFDM" wird ausgedrückt, dass das Verfahren sowohl "optisch" als auch "orthogonal" ist.

gung. Die ursprünglich vorgesehene SAWBit-Technologie musste für den Einsatz in diesem Vorhaben ebenfalls verworfen werden (s.u.).

Für den Aufbau eines optischen Netzwerks werden aus gerätetechnischer Sicht neben optischen Frontends Komponenten für die Signalverarbeitung auf FPGA-Basis sowie ein Microcomputer mit einer Ethernet-Schnittstelle benötigt.

Die abgestimmte Arbeitsteilung im Vorhaben war wie folgt:

- FAV: optisches Frontend, WAP-Plattform
- Jacobs-Universität: (O)OFDM-Algorithmen, implementiert im FPGA, Software-Treiber zur Anbindung an den Microcomputer
- EADS IW: Test, Koordination, Demonstration

Aus dem Vorhaben SIMKAB wurden vom Heinrich-Hertz-Institut der FhG optische Frontends zur Verfügung gestellt, die ebenfalls für die Systemdemonstration genutzt wurden.

Die im Rahmen des Vorhabens erreichten Ergebnisse zu den einzelnen Systemkomponenten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Optischer Sender und Empfänger (FwD)

Die zwischen den Partnern abgestimmten Leistungsziele für das OOFDM-Netzwerk erfordern ein optisches Frontend, das erheblich über den bislang erreichten Stand der Technik hinausgeht.

FwD überarbeitete nochmals die in Kabtech hergestellten Frontend-Baugruppen.

Bei der Überarbeitung wurde eng mit namhaften Bauteillieferanten zusammengearbeitet. Eine signifikante Verbesserung der optischen Sender- und Empfängerkomponenten findet jedoch ihre Grenzen in den momentan auf dem Markt verfügbaren opto-elektronischen Bauelementen. Zur Erreichung der Anforderungen wäre es daher erforderlich, spezielle Halbleiter, insbesondere Empfängerdioden, zu entwickeln. Aktivitäten in dieser Richtung erfolgten im Rahmen des Vorhabens SIMKAB durch das HHI Berlin.

Eine gemeinsame Vermessung des optischen Frontends wurde bei EADS IW im Oktober 2009 durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass der Sender hinsichtlich der kritischen Parameter "Optische Ausgangsleistung" und "Bandbreite" die Anforderungen erfüllte. Beim Empfänger konnten die Anforderungen mit den zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Bauteilen nur mit deutlichen Einschränkungen erfüllt werden. Wie sich im späteren Vergleich mit den von HHI entwickelten Frontends zeigte, war das Schaltungskonzept insgesamt richtig.

Die Arbeiten seitens FwD zur Weiterentwicklung des optischen Frontends wurden nach den Vermessungen nicht fortgeführt. Für die Demonstration wurden einige Exemplare auf dem letzten erreichten Stand aufgebaut.

SAWBit als ergänzendes System

Als ein mögliches ergänzendes Funksystem für sicherheitskritische Anwendungen wurde die SAWBit-Technologie angesehen. Im Kern arbeitet dieses Verfahren, soweit bekannt, mit einer in analoger Hardware (SAW-Technologie) realisierten Frequenzspreizung, die üblicherweise nach dem heutigen Stand der Technik durch digital generierte Pseudo-Rausch-Codes realisiert wird.

Ein Treffen mit dem Erfinder der SAWBit-Technologie, Prof. Dr.- Ing. habil. Christian Hälsig, verlief leider nicht erfolgreich. Da keine ausreichend tiefen Informationen über das Verfahren offengelegt wurden, konnte die Eignung für den vorgesehenen Anwendungsbereich und die technologische Reife nicht beurteilt werden. Eine Einbindung in das Vorhaben erschien technisch und organisatorisch schwierig. Auf der Webseite der Firma teleBITcom GmbH, die von Prof. Hälsig geleitet wird, wird die Technologie unter der Bezeichnung "SAWAS" als "in Entwicklung befindlich" erwähnt. Der aktuelle Stand ist bei FAV nicht bekannt.

Plattform für den Wireless Access Point (WAP)

In einem drahtlosen digitalen Netzwerk wird häufig zwischen dem Router und dem Nutzer unterschieden, der häufig als "Rover" bezeichnet wird. Gerätetechnisch sind eher Aspekte wie Größe, Gewicht, Energieverbrauch und Schnittstellen als Unterscheidungsmerkmale anzusehen. Der eigentliche Unterschied zwischen beiden Netzwerkkomponenten liegt in der Funktionalität der Software, die beim Rover nur eine Teilmenge der Router-Software darstellt.

Für die Zwecke der Demonstration und die Realisierung der Hardware der Demonstrationsplattform erschien es deshalb sinnvoll, die gleiche Hardware-Lösung sowohl für den Router als auch den Rover zu verwenden. Diese Komponente wurde als "Wireless Access Point", kurz WAP, bezeichnet.

Im Rahmen KABTECH entwickelte die Jacobs Universität Bremen ihr OOFDM-Verfahren auf Basis von Altera STRATIX II Boards, welche durch FwD zur Verfügung gestellt wurden. Aus verschiedenen Gründen wurde zwischen den Partnern frühzeitig vereinbart, dass JU Bremen das OOFDM Verfahrens von der Altera STRATEX II Plattform auf eine Entwicklungsplattform auf Basis der XILINX Virtex 5-FPGA-Familie portiert. Es war zunächst beabsichtigt, die WAP-Plattform ebenfalls auf Basis dieser Bausteinfamilie zu realisieren.

Für FAV bedeutete diese Entscheidung zunächst einen erhöhten Aufwand, der aber kostenneutral im Rahmen des Vorhabens erbracht werden konnte.

Die Xilinx Virtex 5-Familie repräsentierte zum Zeitpunkt der Entscheidung eine der leistungsfähigsten FPGA-Plattformen für die Realisierung digitaler Signalverarbeitungssysteme. Die hohen Kosten, begrenzte Verfügbarkeit und hohe Systemanforderungen (Stromverbrauch, Platinen mit >10 Ebenen) dieser Bausteinfamilie führten zu der Schlussfolgerungen, dass damit das Ziel des Vorhabens nicht zu erreichen ist, einen kompakten, kostengünstigen WAP zu demonstrieren, der das Potential in Richtung eines zukünftigen Produkt erkennen lässt. Es wurde daher in Abstimmung mit den Partnern auf die Xilinx SPARTAN-Familie zurückgegriffen. Durch die Jacobs-

Universität wurde geprüft, dass die Leistung des ausgewählten Bausteins für die OOFDM-Basisbandverarbeitung ausreicht.

Eine weitere wichtige Aktivität betraf die Festlegung der Schnittstelle zum optischen Frontend. Der WAP wurde so ausgelegt, dass sowohl die optischen Komponenten von FwD als auch die des HHI angebunden werden können. Darüber hinaus sollte die Hardware aber auch dazu geeignet sein, andere drahtlose Datenübertragungssysteme an das flugzeugseitige Netzwerk anzubinden.

Das Gesamtsystem wurde im Demonstrator gemeinsam mit den Partnern aus folgenden Komponenten aufgebaut:

- Optischer Sender/Empfänger mit analoger Elektronik (Verstärker): HHI, FwD
- Analog/Digitalwandler: FAV, EADS IW
- FPGA-Board: FAV, Xilinx-Entwicklungsboards bei EADS IW und JU Bremen
- Netzwerkanbindung: Microcontroller-Board FAV, Standard-PC

6.1.2. Teilarbeitspaket 1.2: Konzept für die Anbindung von Sensoren/Aktuatoren

Die Idee der drahtlosen Vernetzung von Sensoren und Aktuatoren in der Flugzeugkabine, teilweise auch an externen Systemen (z.B. Fahrwerk, Triebwerk), hat während der Laufzeit des Vorhabens eine unerwartete Dynamik entwickelt. Getrieben durch zahlreiche erfolgreiche Entwicklungen, vor allem im Bereich der Gebäudeautomatisierung, und gefördert durch die rasante Entwicklung stromsparender Halbleiterbausteine, wurde das Thema auf breiter internationaler Ebene aufgegriffen.

Unter dem Namen WAIC (Wireless Avionics Intra-Communications) ist diese Technologie inzwischen auch Gegenstand eines laufenden Verfahrens bei der ITU mit dem Ziel, einen geeigneten, geschützten Frequenzbereich für derartige Anwendungen zu reservieren.

Die Nutzung eines IP-Netzwerks mit einer aufwändigen Zugangstechnik erschien nach den durchgeführten Vorüberlegungen nicht kompatibel mit den Anforderungen an drahtlose Sensoren, die in großer Stückzahl in Flugzeugen genutzt werden sollen. Derartige Module, die entweder energieautark oder mit stark begrenzten Energiereerven aus Batterien betrieben werden sollen, können nur eine an derartige Anwendungen angepasste Netzwerkarchitektur bedienen, wie sie z.B. in dem in der Gebäudeautomatisierung verbreiteten ZigBee-Standard (basierend auf dem Standard IEEE 802.15.4) realisiert ist. Gegenüber Funknetzwerken besitzen optische Verfahren zwei entscheidende Nachteile bei dieser Anwendung:

- Hoher Energiebedarf;
- Störbarkeit durch Rauch, Staub etc.

Die Nutzung optischer Verfahren für die Anbindung von Sensoren und Aktuatoren hat vor diesem Hintergrund keine wesentliche Bedeutung mehr. FAV ist Partner von Airbus Operations GmbH und IMST GmbH im Vorhaben PROTEG-O, das sich speziell mit der Entwicklung einer Technologie für drahtlose Sensornetzwerke beschäftigt.

Der in SINTEG realisierte WAP würde eine Erweiterung um die Funktionalität zur Anbindung drahtloser Sensoren auf Basis der PROTEG-O-Entwicklungen problemlos unterstützen.

Nach den im ersten Halbjahr 2010 durchgeführten Abstimmungen zwischen den Partnern war festzustellen, dass ein optisches Kabinennetzwerk primär für nicht sicherheitskritische Anwendungen in der Kabine betrachtet wird. Als "nicht sicherheitskritisch" werden Anwendungen der Kritikalitätsstufen D und E (siehe auch Kapitel 6.1.5) eingestuft, die keine oder nur geringe Auswirkungen auf die Flugsicherheit haben. Die Anbindung von Sensoren und Aktuatoren über das Netzwerk wurde auch aus diesem Grund im Rahmen des Projektes nicht weiterverfolgt.

6.1.3. Teilarbeitspaket 1.3: Bandbreiten

Die Zielvorgabe für das Gesamtsystem wurde 2009 auf eine Systembandbreite von 25MHz festgelegt. Diese Vorgabe wird bei der Auslegung der Teilsysteme zu Grunde gelegt. Aufgrund der Eigenschaften der Basisbandverarbeitung der JU Bremen hinsichtlich Bandbreite und Dynamikumfang wurden die A/D- und D/A-Wandler ausgewählt:

	Max. Abtastrate	Auflösung	Typ (z.B.)
A/D-Wandler	125Msamples/s	14 bit	AD9246BCPZ-125
D/A-Wandler	165Msamples/s	14 bit	DAC904E

Die Ergebnisse sind zusammenfassend in Kapitel 6.2.4 dargestellt.

6.1.4. Teilarbeitspaket 1.4: Zulassungskonzept

6.1.4.1. Übersicht

Für den FAV-Arbeitsanteil relevant sind insbesondere die Sicherheits- und Zulassungsfragen, die sich bei der Verwendung von hochkomplexen programmierbaren Bausteinen ergeben. Identifiziert wurden solche Fragen insbesondere im Bereich der Entwicklungsprozesse. Darüber hinaus wird die FPGA-Technologie, insbesondere bei SRAM-basierten Bausteinen, im Luftfahrtbereich vielfach kritisch gesehen.

6.1.4.2. Entwicklungsprozess

Entscheidend für die Anforderungen an den Entwicklungsprozess ist die Kritikalität des Systems. Diese wird üblicherweise entsprechend den Auswirkungen eines Fehlers auf die Flugsicherheit klassifiziert (siehe Tabelle 1). In der Tabelle wurden die eingeführten englischen Begriffe und Umschreibungen beibehalten.

Die Zertifizierung komplexer elektronischer Systeme für sicherheitskritische Anwendungen erfordert seit 2005, dass die Entwicklung entsprechend EUROCAE ED-80/RTCA DO-254 "Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware" durchgeführt wird. Dies ist z.B. in der FAA-Anweisung AC 20-152 festgelegt. Die An-

wendung dieses Standards für nicht sicherheitskritische Systeme (DAL D/E) ist optional, der Hersteller kann in diesem Fall auch andere Prozesse anwenden.

Die Zulassungsanforderungen an die Systemkomponenten eines drahtlosen Netzwerks hängen somit entscheidend von der geplanten Anwendung ab. Die ursprünglich angedachten Anwendungen lagen im Bereich des Levels C. Die Anwendung für die Nutzung durch das Kabinenpersonal, z.B. die Fernsteuerung von Beleuchtung und Klimaanlage durch das Kabinenpersonal, wären dem Level D zuzuordnen. Die Anwendung als Netzwerkzugang für die Passagiere oder die Verteilung von Inflight Entertainment-Inhalten würde unter Level E fallen.

Level	Impact of a Failure	Failure Condition	Probability	
			Level	Per Flight Hour
A	Catastrophic	Failure that would prevent continued safe flight and landing.	Extremely Improbable	<10 ⁻⁹
B	Hazardous/ Severe-Major	Large reduction in safety margins or functional capabilities, physical distress or higher workload such that the flight crew could not be relied on to perform their tasks accurately or completely, or adverse effects on occupants including serious or potentially fatal injuries to a small number of those occupants.	Extremely Remote	<10 ⁻⁷
C	Major	Significant reduction in safety margins or functional capabilities, a significant increase in flight crew workload or in conditions impairing flight crew efficiency, or discomfort to the occupants, possibly including injuries.	Remote	<10 ⁻⁵
D	Minor	Slight reduction in safety margins or functional capabilities, a slight increase in flight crew workload, such as routine flight plan changes, or some inconvenience to the occupants.	Probable	<10 ⁻³
E	No Effect	Failure conditions that do not affect the operational capability of the aircraft or increase the flight crew workload.	-	-

Tabelle 1: Risikoklassen von Flugzeugsystemen

6.1.4.3. Single Event Upsets (SEU)

Die meisten komplexen elektronischen Bauelemente wie Mikrocontroller, CPUs, Speicherbausteine und FPGAs können durch sog. "Single Event Upset"-Ereignisse in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Ein Single Event Upset (SEU) ist ein "Soft Error", der in Halbleiterbauelementen beim Durchgang hochenergetischer ionisierender Teilchen (z. B. Schwer-Ionen, Protonen) hervorgerufen werden kann. Dies äußert sich beispielsweise als Änderung des Zustandes eines Bits in Speicherbausteinen oder Registern, was zu einer Fehlfunktion des betroffenen Bauteils führen kann. Das Bauteil wird dabei nicht zerstört.

Die Wahrscheinlichkeit eines SEU wächst mit der Flughöhe stark an, SEUs können aber auch am Boden zu nicht reproduzierbaren Fehlern in digitalen Systemen führen. Die schnell fortschreitende Verkleinerung der Strukturen auf Halbleiterbauteilen erhöht die Empfindlichkeit für SEUs.

Eine wirksame Abschirmung gegen hochenergetische Teilchen ist gerade in fliegenden Systemen nicht realisierbar.

Die Wahrscheinlichkeit eines SEU-bedingten Fehlers in einem Baustein der XILINX Virtex 5-Baureihe wird von XILINX mit 1 Fehler in 245 - 520 Jahren (!) Betriebsdauer angesetzt. Dies entspricht einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $4,7...2,2 \cdot 10^{-7}$. Die Schlussfolgerung ist, dass Bausteine dieses Typs allenfalls bis Level C ohne entsprechende Schutzmaßnahmen eingesetzt werden können. Die SEU-Wahrscheinlichkeit ist bei der Ermittlung der MTBF und der Sicherheit des Systems zu berücksichtigen.

Bei den oben genannten Zahlen ist anzumerken, dass diese, soweit bekannt, am Boden gelten. Für die Anwendung in Verkehrsflugzeugen müssen sie entsprechend skaliert werden.

Als Schutzmaßnahme kommt bei Speicherbausteinen in der Regel die Nutzung von ausreichend dimensionierten ECC-Codes zur Anwendung. Für das FPGA-Design stehen spezielle Designwerkzeuge zur Verfügung, die automatisch eine redundante Auslegung des internen Designs und die Auswertung nach dem "Triple Mode Redundancy"-Prinzip erzeugen. Dadurch wird allerdings die Kapazität des Bausteins drastisch reduziert. Weitere Alternativen werden von XILINX beschrieben.

Für die Auswahl der geeigneten Maßnahmen ist auch hier die Anwendung und damit die Kritikalität des Systems ausschlaggebend.

6.1.4.4. Single Event Latch-up (SEL)

Durch den Schichtaufbau der einzelnen Dotierungen von n- und p-Kanal-Feldeffekttransistoren in einem gemeinsamen Substrat in einer integrierten Schaltung ergeben sich ungewollte parasitäre npn- und pnp-Bipolartransistoren. Diese entsprechen in ihrer gegenseitigen Verschaltung einem Thyristor. Der Latch-Up-Effekt bezeichnet das Zünden (Durchschalten) dieses parasitären Thyristors. Dadurch wird die Versorgungsspannung im Bauteil kurzgeschlossen. Der fließende Strom ist dann

hoch genug, um eine thermische Überlastung in diesem Gebiet zu erzeugen und die Schaltung zu beschädigen oder zu zerstören.

Single Event Latch-up tritt unter normalen Betriebsbedingungen nur durch sehr hochenergetische Strahlung (z.B. Alphateilchen) auf. Für die Luftfahrtanwendung sind nach Literaturangaben im Allgemeinen keine speziellen Schutzmaßnahmen erforderlich.

6.2. AP 2 – Labormuster / Demonstrator

6.2.1. Teilarbeitspaket 2.1: Definition

Der WAP (Wireless Access Point) enthält nach dem in 2009 abgestimmten Gesamtkonzept mit Ausnahme der optischen Komponenten und ihrer Beschaltung die gesamte Hardware, die für die Realisierung eines Netzwerkknotens (Router oder Rover) erforderlich ist. Dies bedeutet eine deutlich höhere Integrationsstufe als ursprünglich angedacht, da auch die Basisbandverarbeitung für das OFDM-Verfahren mit integriert wird. Der WAP besteht aus vier kompakten Platinen:

- Wandlerplatine mit je 2 A/D- und D/A-Wandlern
- FPGA-Platine mit einem Xilinx SPARTAN 6 - FPGA-Baustein
- Adapterplatine
- Kommerzielles Microcomputer-Board mit ACTEL SmartFusion - Baustein

Die Hardware ist somit so aufgebaut, dass die OFDM-Basisbandverarbeitung, die bei der JU Bremen entwickelt wurde, im WPA realisiert werden kann. Entsprechende Voruntersuchungen wurden von JU Bremen durchgeführt. Aufgrund der technischen Eigenschaften und der Verfügbarkeit wurde der Typ XC6SLX45-2FGG484 aus der Xilinx SPARTAN 6 - Familie ausgewählt. Zusätzlich stehen noch FPGA-Kapazitäten auf der Basisplatine innerhalb des SmartFusion-Bausteins zur Verfügung, die sowohl zur Realisierung einer schnellen Datenschnittstelle zwischen den Baugruppen als auch z.B. zur Implementierung zeitkritischer MAC-Funktionen genutzt werden können.

Für die Backbone-Anbindung besitzt das Microcontroller-Modul eine Ethernet-Schnittstelle. Bei diesem Modul wurde auf eine Eigenentwicklung verzichtet, da eine geeignete kommerzielle Komponente identifiziert werden konnte.

Zusätzlich zum WAP wurde noch eine Interfaceplatine definiert, die es ermöglicht, das Wandlerboard auch auf der bei der Jacobs-Universität benutzten VIRTEX-5-Entwicklungsplattform einzusetzen.

Der Aufbau des WAP wurde in [2] dokumentiert.

6.2.2. Teilarbeitspaket 2.2: Entwicklung und Konstruktion

Die Arbeiten umfassten im Wesentlichen:

- Erarbeitung eines Konzepts für die elektromechanische Konstruktion (mechanischer Aufbau, Steckverbinder) für den WAP
- Definition der einzelnen Module (AD/DA-Wandler-Board, Interfacemodul, FPGA-Board)
- Auswahl der Bauteile
- Entwicklung der Schaltung
- Testaufbau und Labortests

Optischer Sender und Empfänger

Die aus KABTECH verfügbaren optischen Sender und Empfänger von FwD wurden weiterentwickelt und verkleinert.

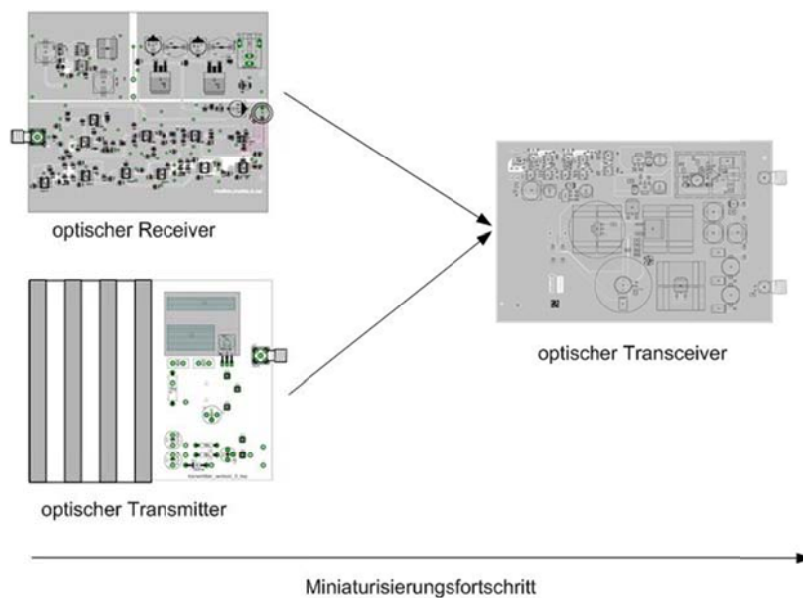


Bild 3: Miniaturisierung des optischen Transceivers

Auch vom HHI standen (aus dem Vorhaben SIMKAB) funktionsfähige optische Sender und Empfänger zur Verfügung. Diese wurden am 30.06.2011 erstmals zusammen mit den Wandlerplatinen von FAV integriert und vermessen. Die Ergebnisse entsprachen den Erwartungen. Die Anlogschnittstelle der Transceiver von FwD und HHI sind kompatibel, so dass beide Gerätetypen mit dem WAP betrieben werden können.

Plattform für den Wireless Access Point (WAP)

Die einzelnen Module des WAP besitzen aufeinander abgestimmte Abmessungen und sind mit HF-tauglichen Steckverbindern direkt miteinander verbunden. Das prinzipielle Aufbaukonzept verdeutlicht das folgende Bild. Die äußeren Abmessungen des Aufbaus betragen 110 x 70mm.

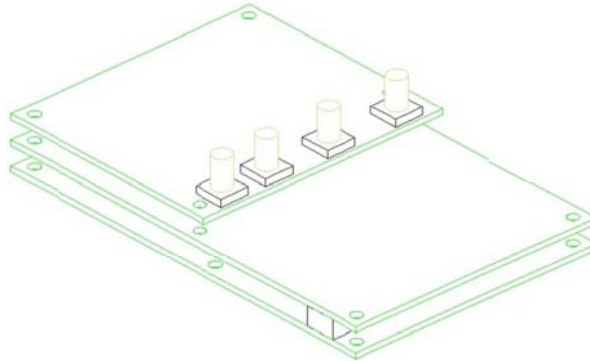


Bild 4: Internes Aufbauprinzip des WAP

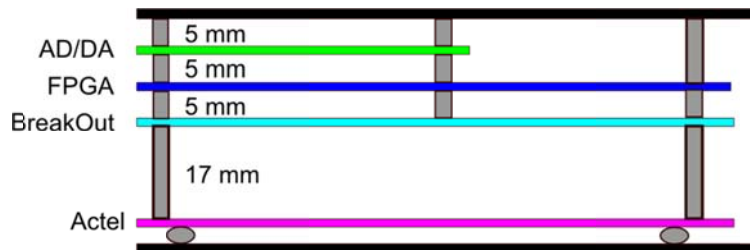


Bild 5: Aufbau des WAP (Seitenansicht)

Der gewählte Aufbau ermöglicht eine sehr kompakte Realisierung des WAP. Gleichzeitig ergibt sich ein mechanisch sehr robuster Aufbau. Die internen Verbindungen sind für hohe Frequenzen/Taktraten ausgelegt. Der Aufbau ist flexibel, die Module können in mehreren unterschiedlichen Konfigurationen eingesetzt werden. Daraus ergibt sich auch eine Wiederverwendbarkeit für ähnlich gelagerte Aufgabenstellungen.

Das Wandlerboard mit je zwei schnellen A/D- und D/A-Wandlern und einer Taktgebereinheit wird direkt auf das FPGA-Board gesteckt. Über eine Adapterplatine (unten) erfolgt der Anschluss an das Microcomputerboard oder die VIRTEX5-Entwicklungsplattform.

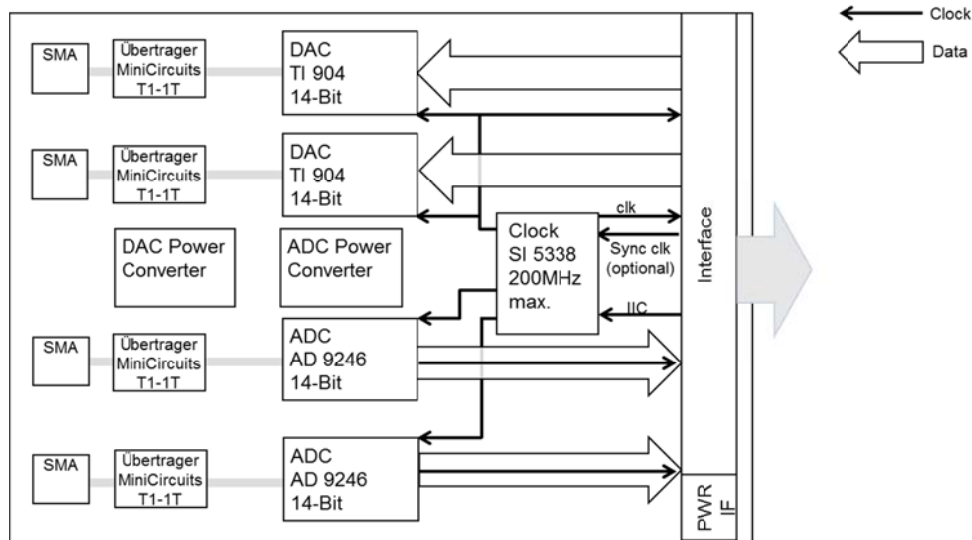


Bild 6: Aufbau des Wandlerboards

Das FPGA-Board stellt das Herzstück des WAP dar. Es ist um einen FPGA-Baustein aus der Xilinx SPARTAN 6-Baureihe herum aufgebaut. Das Wandlerboard wird direkt auf dieses Board aufgesteckt, so dass sehr kurze Verbindungen zwischen den Wandlern und dem Board entstehen, die die erforderliche hohe Taktrate ermöglichen, gleichzeitig aber auch entstehende Störungen auf der Analogseite auf ein Minimum reduzieren.

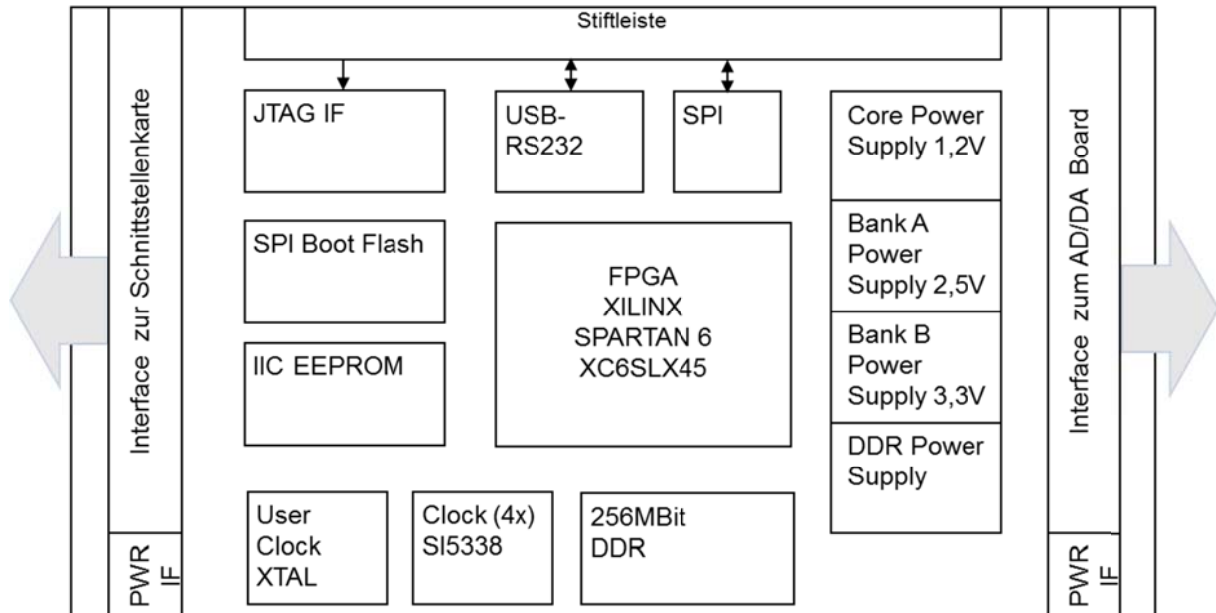


Bild 7: Aufbau des FPGA-Boards

Die Grenze der Miniaturisierung des WAP wird letztlich durch die Komplexität des FPGA-Moduls vorgegeben. Im Wesentlichen bestimmt die Größe des eingesetzten FPGA-Bausteins, die dazugehörige Peripherie und die hohe Anzahl der zu führenden

Verbindungsleitungen die minimalen Abmessungen. Die erreichten Abmessungen sind vergleichbar mit optimierten Serienprodukten ähnlicher Bauart. Es wird daher davon ausgegangen, dass das Modul nahe an der sinnvollen Grenze der Miniaturisierung liegt.

Die Anbindung des WAP an ein Backbone-IP-Netzwerk wird durch ein Microcomputer-Modul mit Ethernet-Schnittstelle und einem einfachen Betriebssystem realisiert, in dem ein IP-Stack enthalten ist.

Der WAP-Aufbau wird ergänzt durch zwei Adapter-Platinen, die wahlweise den Anschluss an die VIRTEX5-Entwicklungsplattform oder an das Microcomputer-Modul ermöglichen.

6.2.3. Teilarbeitspaket 2.3: Realisierung

Nachdem die internen mechanischen und elektrischen Schnittstellen des Demonstrators spezifiziert wurden, wurde als erste Baugruppe ein AD/DA-Wandler-Board realisiert. Ein Evaluierungsmuster wurde in 12/2010 an EADS IW gesandt. Dort erfolgte die Integration mit dem optischen Frontend (HHI, Beistellung aus SIMKAB). Das Board wurde zunächst an die bei EADS IW vorhandene Entwicklungsumgebung angeschlossen.

Die Konstruktion der zweiten Baugruppe, des FPGA-Boards, wurde in 2010 abgeschlossen. Erste Muster standen in Q2/2011 zur Verfügung stehen.

Bis zum Ende des Vorhabens wurden insgesamt bei FAV folgende Module realisiert:

- A/D-D/A-Wandler-Board
- FPGA- Modul
- Adapter-Board für Xilinx-Evaluation Board
- Microcontroller-Modul, bestehend aus
 - Adapter-Board für Microsemi SmartFusion Evaluation Board
 - MicroSemi (Actel) SmartFusion Evaluation Board

Von allen Modulen existieren mehrere funktionsfähige Exemplare, die für die Demonstration eingesetzt werden konnten und teilweise den Partnern zur Verfügung gestellt wurden.

Nach Abschluss der Fertigung der Gehäuse standen schließlich kompakte Einheiten für die Demonstration zur Verfügung.

Die folgenden Bilder zeigen den von Funkwerk Dabendorf entwickelten optischen Transceiver sowie die von Funkwerk Avionics entwickelten Module.



Bild 8: Optischer Transceiver (FwD)

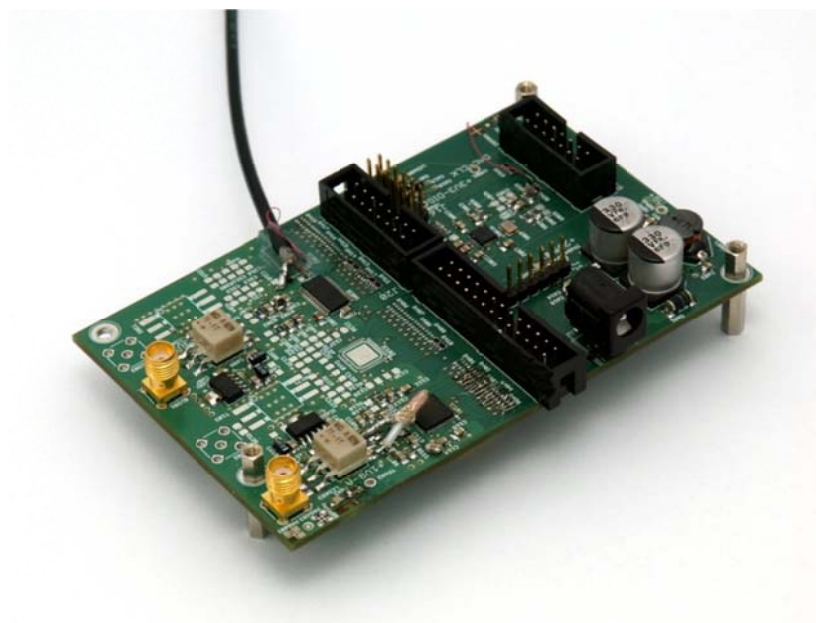


Bild 9: Erster Prototyp der AD/DA-Wandlerplatine

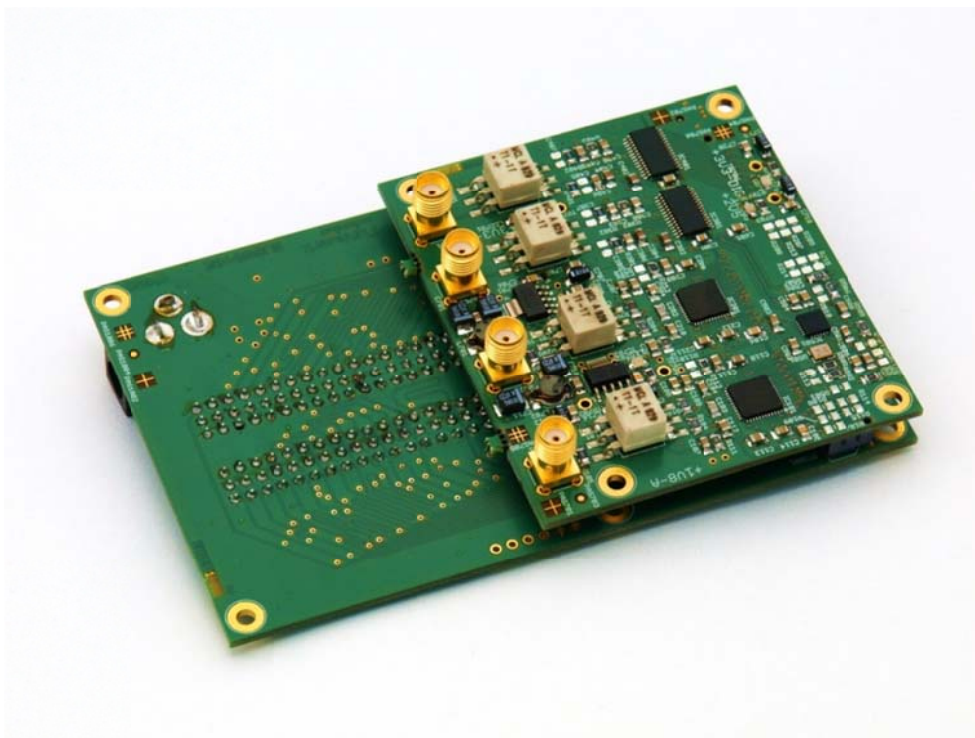


Bild 10: AD/DA-Wandler-Platine, überarbeitete Version, montiert auf Interface-Modul für VIRTEX5-Entwicklungsplattform

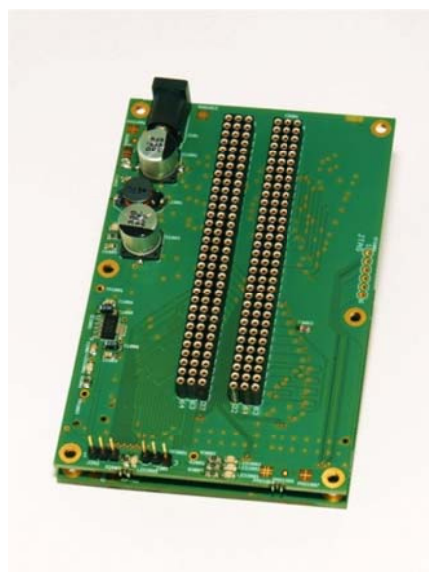


Bild 11: Interface-Modul für VIRTEX5-Entwicklungsplattform (Unterseite)

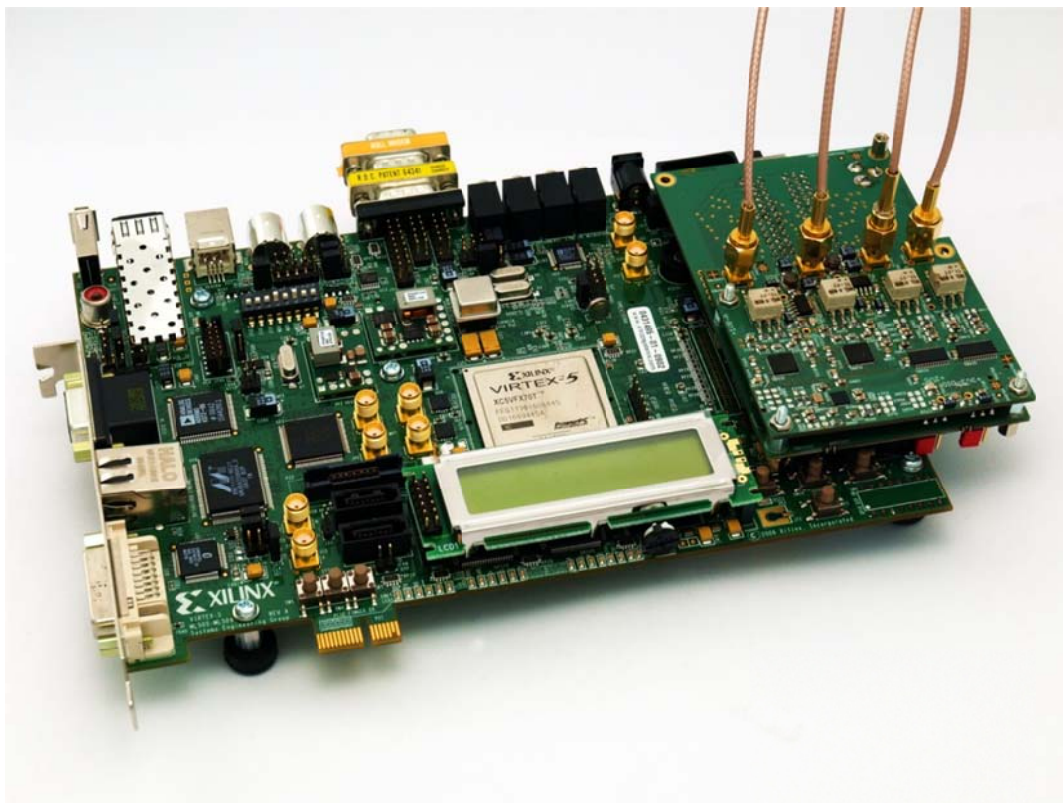


Bild 12: VIRTEX5-Entwicklungsplattform (EADS-IW) mit FAV-Wandlerboard und Interface-Modul

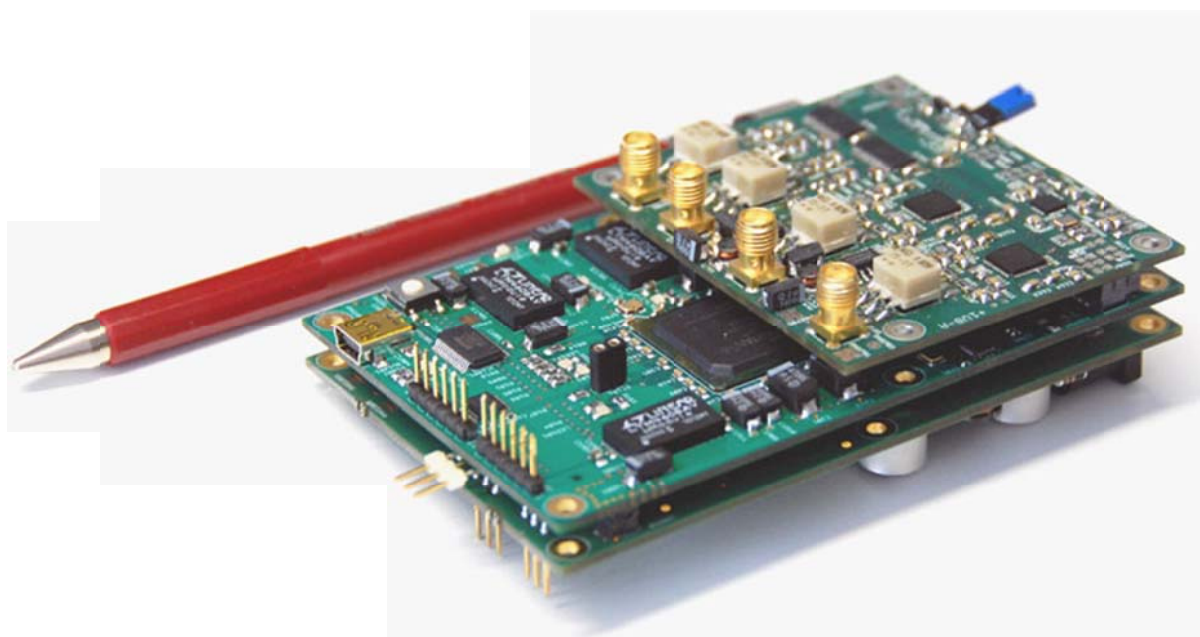


Bild 13: Development Stack: Adapter Board, FPGA Modul, Wandler-Modul

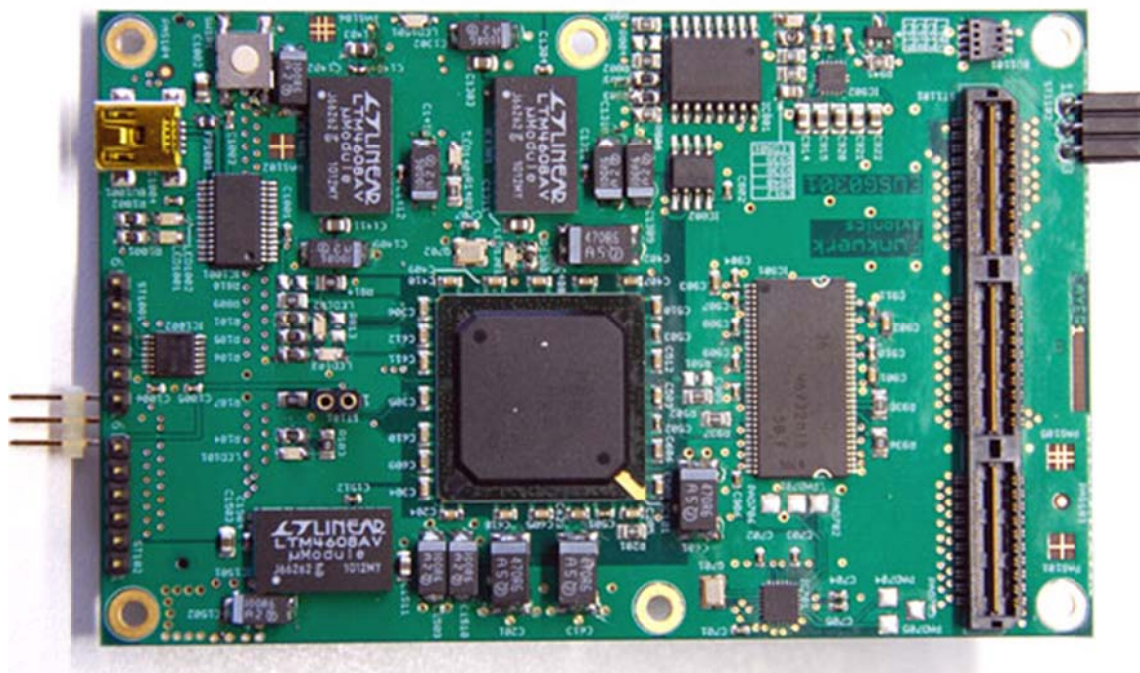


Bild 14: FPGA-Board

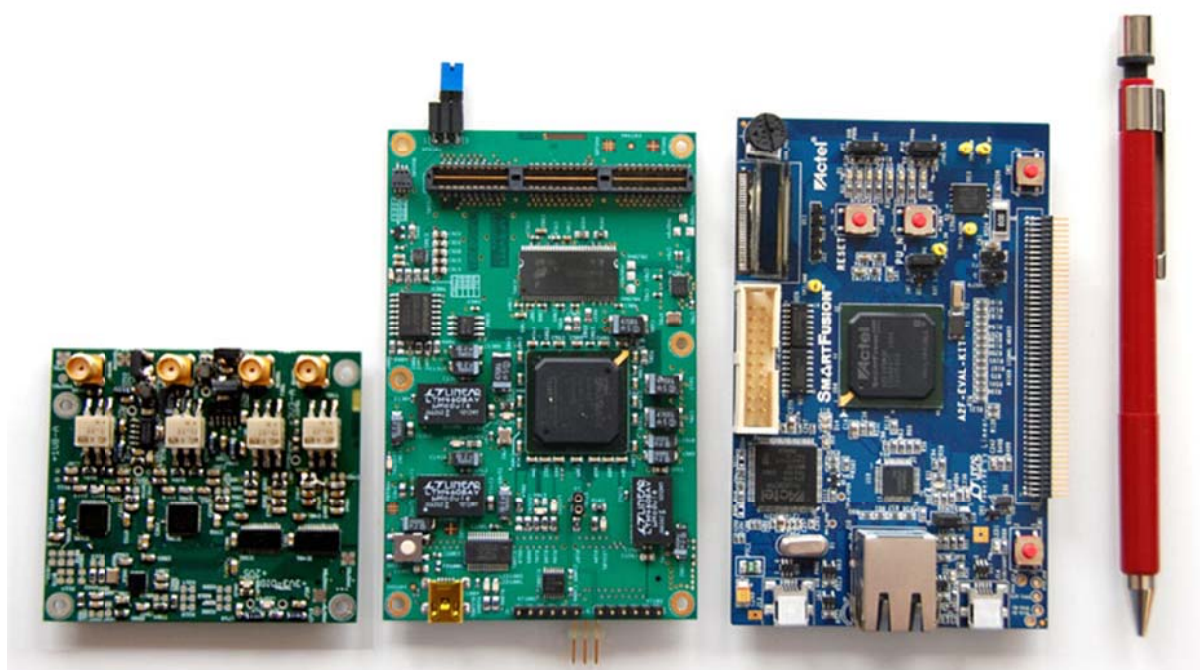


Bild 15: WAP-Module: Wandler-Board, FPGA-Modul, Microcomputer-Board



Bild 16: WAP im Gehäuse

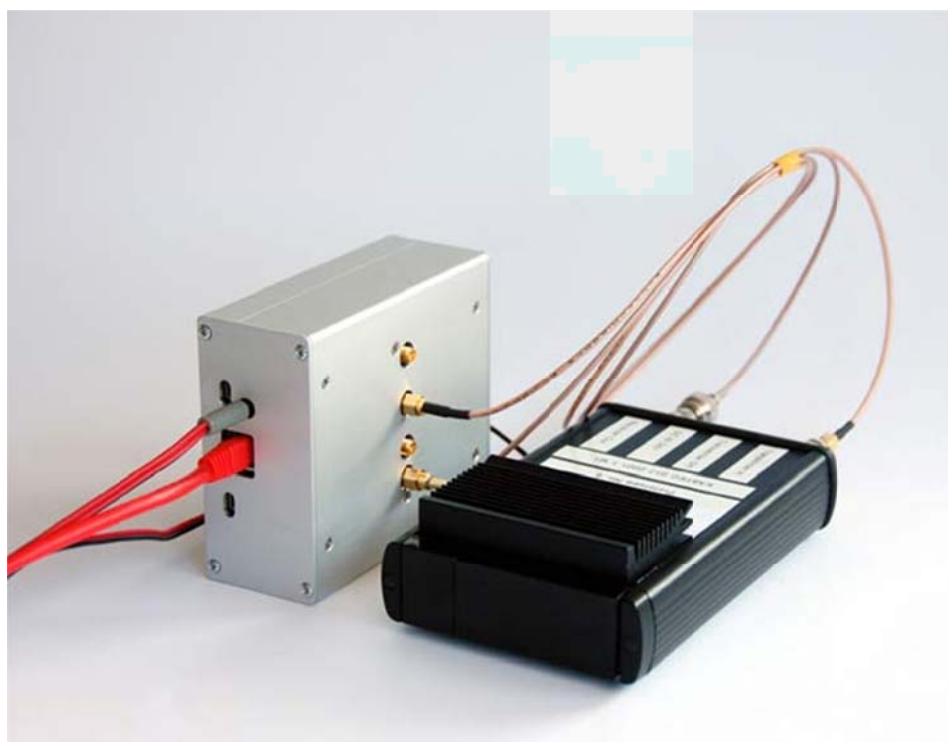


Bild 17: WAP mit optischem Frontend (FwD)

6.2.4. Teilarbeitspaket 2.4: Evaluierung

6.2.4.1. Überblick

Die Arbeiten zu diesem Teilpaket wurden mit internen Messungen und der Laborvermessung der Wandlerplatine beim HHI am 30.06.2011 begonnen.

Die Wandlerplatine wurde nach positivem Ausgang der Tests beim HHI der Jacobs Universität zur Verfügung gestellt und fand bei der abschließenden Demonstration des OFDM-Verfahrens Verwendung.

Weiterhin wurde bei FAV ein Versuchsaufbau realisiert, mit dem die Funktionsfähigkeit aller Komponenten des WAP im Zusammenspiel getestet werden konnte.

6.2.4.2. Messungen beim HHI am 30.06.2011

Die Messungen hatten das Ziel, die Kompatibilität zwischen dem HHI-Frontend und der FAV-Wandlerplatine zu verifizieren.

Die Messungen ergaben, dass die beiden Komponenten problemlos miteinander verbunden werden konnten und insgesamt eine Tauglichkeit für Entfernungen (Line-of-sight) bis zu 4,5m nachgewiesen werden konnte.

Die Messergebnisse im Detail sind in einem Bericht [6] niedergelegt, der von HHI und FAV gemeinsam erarbeitet wurde.

6.2.4.3. Messungen am Versuchsaufbau FAV

Die Messungen bei FAV wurden ausschließlich mit Hardware- und Software-Komponenten durchgeführt, die von FAV und Unterauftragnehmer FwD bereitgestellt wurden. Anstelle der OOFDM-Modulation der Jacobs-Universität, die nicht mehr integriert werden konnte, wurde eine Phasenmodulation eingesetzt, die bei FAV für die Durchführung der Tests realisiert wurde.

Da bei der Demonstration der Jacobs-Universität nicht alle FAV-Komponenten genutzt wurden, sollten mit dieser Messkampagne die Funktionsfähigkeit aller bei FAV und FwD entwickelten Komponenten gezeigt werden.

Der Versuchsaufbau umfasste folgende Elemente:

- optisches Frontend (FwD) 2x
- Plattform für den Wireless Access Point 2x
bestehend aus jeweils:
 - A/D-D/A-Wandler-Board
 - FPGA- Modul
 - Microcontroller-Modul
- Test PC
- Netzwerk-Switch

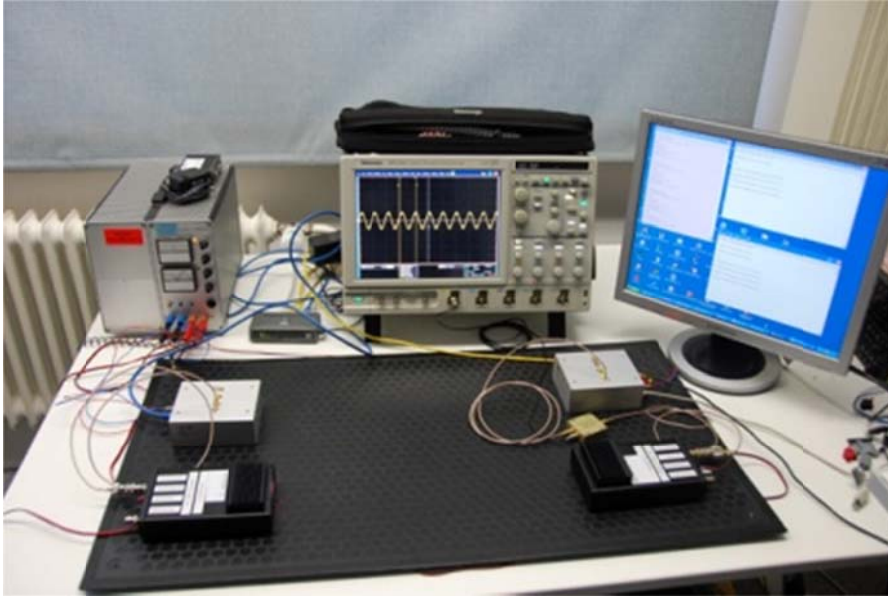


Bild 18: Messaufbau mit zwei optischen Frontends und zwei WAPs

Die für die Tests bei FAV implementierte Software umfasst folgende Komponenten:

- Ein an die Anforderungen des Systems angepasstes μC Betriebssystem zur netzwerkseitigen Anbindung des Wireless Access Point (Webserver)
- Bidirektionale Software Schnittstelle zwischen Microcontroller und FPGA
- VHDL Code zur Realisierung der Anbindung FPGA AD-DA Wandler und FPGA Microcontroller
- VHDL Code zur Realisierung der Signalmodulation / Demodulation des übertragenen optischen Signals

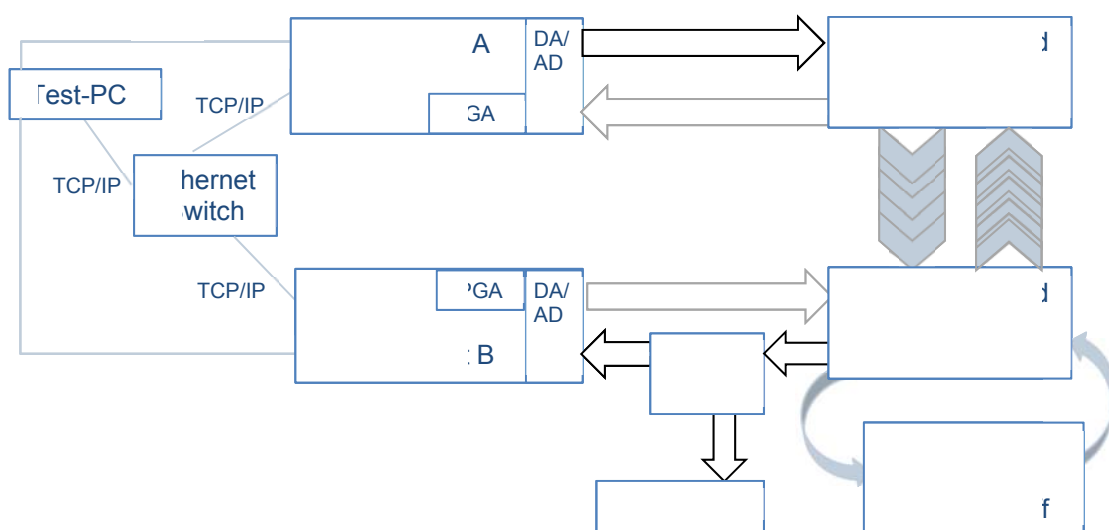


Bild 19: Messaufbau schematisch

Bild 19 zeigt die komplette Messkette in schematischer Übersicht. Im Aufbau wurden empfängerseitig Frontends mit wahlweise aktivierter oder deaktivierter Empfangssignalverstärkung eingesetzt.

Zur Bestimmung der Leistung des übertragenen Signals wurde zuerst die Konfiguration mit deaktivierter automatischer Empfangssignalverstärkung vermessen.

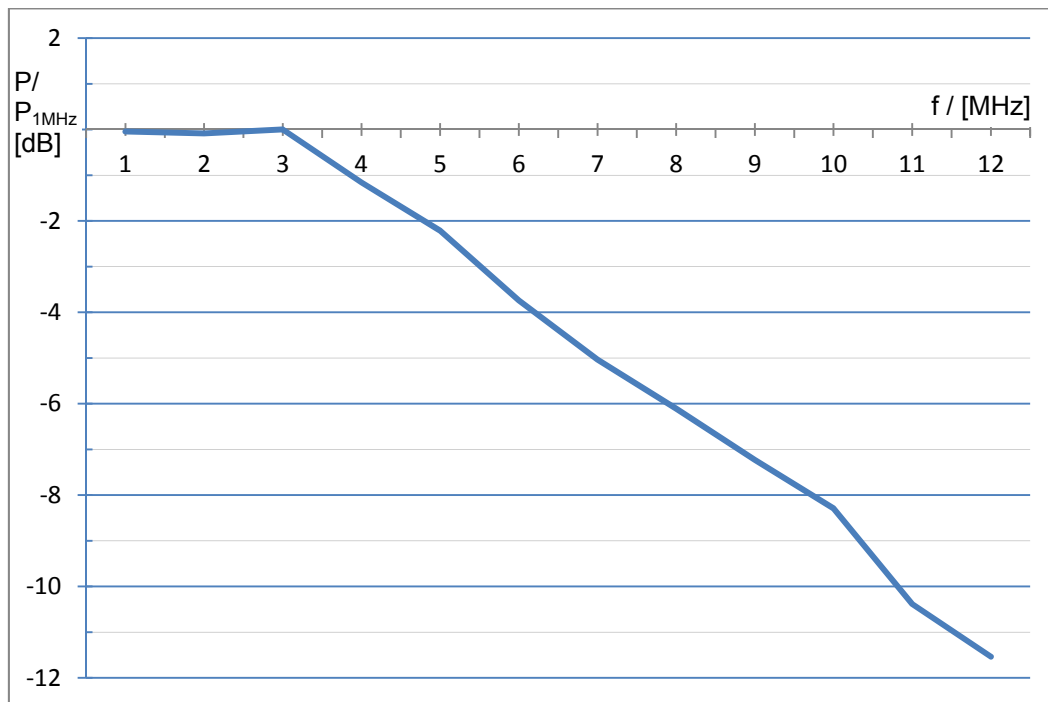


Bild 20: Verlauf der am Receiver gemessenen Leistung (Auto Gain deaktiviert)

Der Verlauf der Empfangspegel am Frontend C ist in Bild 20 dargestellt. Der Verlauf das Verhältnis der empfangen Leistung zur Empfangsleistung bei 1MHz. Die so ermittelte 3dB Grenzfrequenz liegt im Bereich zwischen 5 bis 6MHz.

Bei aktivierter automatischer Empfangsverstärkung ergibt sich zu höheren Frequenzen hin ein stetig anwachsender Rauschanteil im gemessenen Signal. Für die Ermittlung der Leistungsübertragungskennlinie bei aktivierter Empfangsverstärkung wurden daher die minimalen Werte des gemessenen Signals bei der jeweiligen Frequenz betrachtet (siehe auch Abbildung 23).

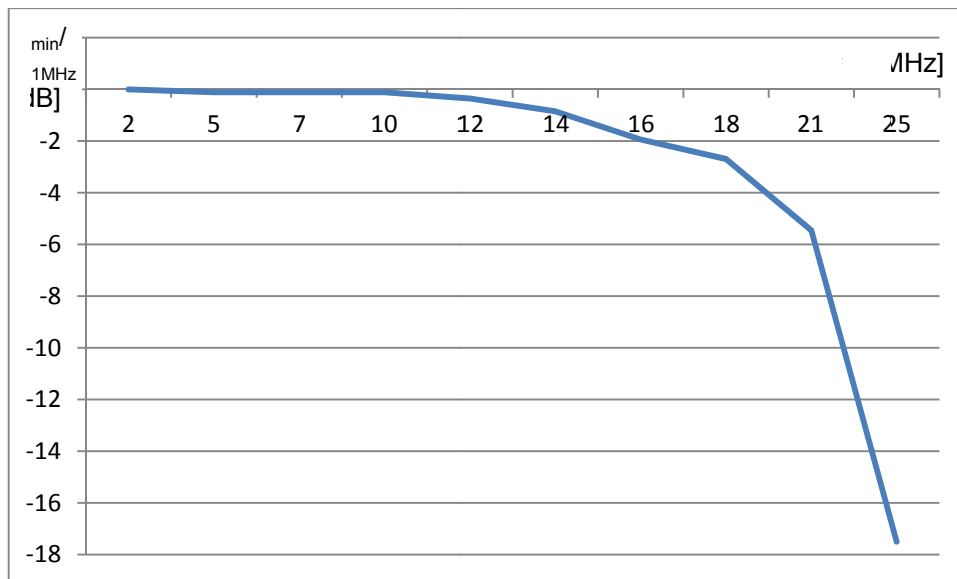


Bild 21: Verlauf der am Receiver gemessenen Leistung (Auto Gain aktiviert)

Der Verlauf der Empfangspegel am Frontend B ist in Bild 21 dargestellt. Die grafisch ermittelte 3dB Grenzfrequenz liegt hier im Bereich von etwa 17MHz.

Zur Vermessung der Übertragungstrecke Optical Frontend A → Optical Frontend C wurde eine BPSK Modulation (180° Phasendifferenz) des Datensignals verwendet. Dadurch konnten Augendiagramme zur Bewertung der Qualität des empfangenen Signals am Oszilloskop aufgezeichnet werden.

Abbildung 22 und 23 zeigen entsprechende Augendiagramme bei Übertragungsfrequenzen von 4MHz bzw. 20MHz. In Abbildung 23 ist der erhöhte Rauschanteil durch die automatische Empfangsverstärkung zu erkennen.

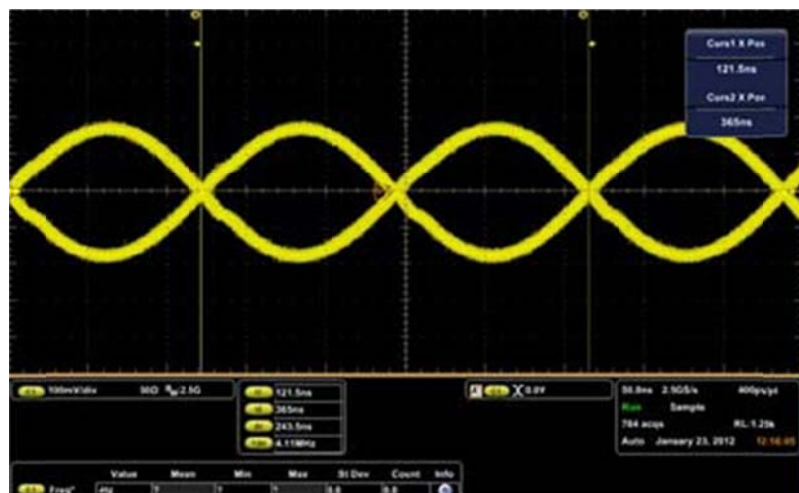


Bild 22: BPSK Augendiagramm (Frequenz 4MHz)

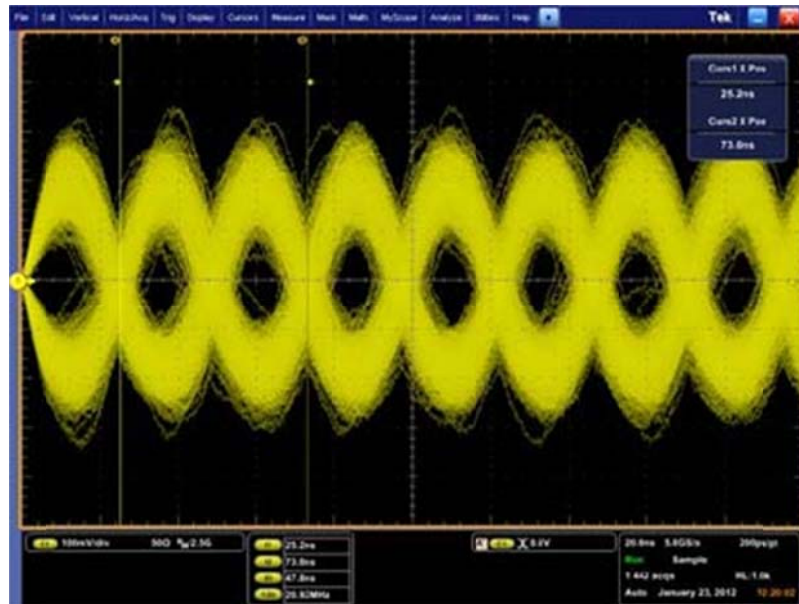


Bild 23: BPSK Augendiagramm (Frequenz 20MHz)

Die Auswertung der Augendiagramme lässt eine Datenrate von über 10MBit bei der gewählten BSPK als umsetzbar bei der im Testaufbau vorliegenden Konfiguration (Line of Sight, Entfernung 0,5m) möglich erscheinen. Die Begrenzung der Reichweite ist im Wesentlichen auf die Schlüsselkomponenten des Frontends zurückzuführen (LED als Sender, kleinflächige Fotodiode im Empfänger). Die von HHI entwickelten Frontends arbeiten mit einer Laserdiode im Sender und großflächiger Fotodiode im Empfänger.

Abschließend wurde die digitale Datenübertragung über die komplette Datenübertragungskette des Messaufbaus getestet. Dazu wurden Datenpakete unterschiedlicher Größe bei verschiedenen Trägersignalfrequenzen übertragen. Die Messreihe ergab eine Datenpaket Übertragung bis in den Bereich von 1 bis 2MBit. Als begrenzender Faktor ergab sich die paketbasierende Vermittlung des eingesetzten Webservers bzw. der darunter liegenden TCP/IP Schichten. Das Scheduling des verwendeten Microcontroller Betriebssystems ließ eine höhere Priorisierung des Netzwerk Tasks zur Erreichung einer nahezu kontinuierlichen Übertragung der Daten vom Ethernet zum FPGA Modul (und umgekehrt) in der vorliegenden Version nicht zu.

6.2.4.4. Abschlussdemonstration der Jacobs Universität

Beim Abschlussmeeting der Projektpartner bei EADS IW am 26.01.2012 wurde von der Jacobs Universität ein integriertes System mit zwei Teilnehmern auf einem optischen Netzwerk mit einer Datenübertragungsrate von 100MBit/s demonstriert. Hierfür wurden die optischen Frontends des HHI, die Wandlerplatine von FAV und das OOFDM-Modulationsverfahren der Jacobs-Universität auf der Xilinx Virtex5-Entwicklungsplattform demonstriert.

Details hierzu werden im Abschlussbericht der Jacobs-Universität dargestellt.

6.3. AP 3 – Dynamische Netzstrukturen

Aufbauend auf schon in Entwicklung befindlichen Verfahren der Selbstorganisation der Netzstruktur in der Kabine sollten Konzepte erarbeitet werden, um in einem derartigen Netz ein deterministisches, d.h. vorhersagbares Verhalten der Subsysteme und des Netzes zu erzielen, das als eine Voraussetzung für die Nutzung in sicherheitsrelevanten Anwendungen angesehen wird

Es war geplant, diese Arbeiten beim UAN FwD durchführen zu lassen. Erste Vorüberlegungen wurden dort auch unternommen.

Da sich aus dem Verbund heraus keinerlei Ansätze für eine weiterführende Bearbeitung ergaben, wurde beschlossen, diese Arbeiten zu streichen und die hierfür vorgesehenen Mittel teilweise für den Aufbau zusätzlicher optischer Transceiver, deren Modifikation bei FAV sowie für die erhöhten Aufwände einzusetzen, die bei FAV bei der Realisierung des WAP aufgrund der Vorgaben von EADS IW entstanden sind.

6.4. AP 4 – Projektleitung und Dokumentation

Dieses Arbeitspaket umfasste die folgenden Tätigkeiten:

- Leitung und Koordination aller Vorhabensaktivitäten bei FAV
- Führung des UAN FwD
- Koordination mit den übrigen Teilnehmern des Verbundvorhabens
- Kommunikation mit dem Projektträger

Die Organisation sowie Abstimmung zu Arbeitsinhalten erforderte einige Besprechungen zwischen den Projektpartner und Unterauftragnehmern, die in der folgenden Tabelle aufgelistet sind:

<u>Datum</u>	<u>Ort</u>	<u>Projekt-partner</u>	<u>Anlass</u>
18.02.2009	Hamburg	Projektpartner	SINTEG Kick-Off
03.03.2009	Ulm	EADS IW, FwD, FAV	Besprechung zu Kabtec/Sinteg
01.04.2009	Ottobrunn	AD, EADS IW, HHI, JUB, FwD, FAV	Koordinationsmeeting EADS IW hat technische Koordination für „optisches Drahtlos-Kabinennetzwerk“ in den Projekten SINTEG/SIMKAB/KABTEC übernommen. Abstimmung von Aufgabenverteilung und konzeptionelle Diskussion
19.05.2009	Berlin	FwD, FAV, HHI	Absprache zum Thema „optisches Drahtlos Kabinennetzwerk“ und bezüglich möglicher Tests des von FwD entwickelten Sender/Empfängerpaares
14.07.2009	Ottobrunn	EADS IW, FwD, FAV	Koordinationsmeeting Abstimmung der WAP-Plattform
09.12.2009	Dabendorf	FwD, FAV	Sachstandsbesprechung, Abstimmung der Aktivitäten 2010
14.01.2010	Ottobrunn	EADS IW, FwD, FAV, JU Bremen, HHI, Airbus	Jahresmeeting, technische Abstimmung
10.06.2010	Ottobrunn	EADS IW, FwD, FAV, JU Bremen, HHI	Sachstandsbesprechung, technische Abstimmung

10.06.2010	Dabendorf	FwD, FAV	Sachstandsbesprechung
14.10.2010	Ottobrunn	EADS IW, FwD, FAV, JU Bremen, HHI	Technische Abstimmung, Sachstandsbesprechung
19.08.2010	Dabendorf	FwD, FAV	Technische Abstimmung, Sachstandsbesprechung
09.- 10.11.2010	Dabendorf	FwD, FAV	Technische Abstimmung, Sachstandsbesprechung
11.04.2011	Ottobrunn	EADS IW, FwD, FAV, JU Bremen, HHI	Technische Abstimmung, Sachstandsbesprechung
18.05.2011	Hamburg	Alle SINTEG- Projektpartner, PT	Status-Workshop
30.06.2011	Berlin	HHI	Integration und Vermessung Frontends, Wandlerboards, FPGA-Modul
22.09.2011	Ottobrunn	EADS IW, FwD, FAV, JU Bremen, HHI	Technische Abstimmung, Sachstandsbesprechung

Ein abschließendes Treffen der Verbundpartner fand bei EADS IW 26.01.2012 in Ottobrunn statt.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets erfolgte auch die rechtzeitige Erstellung von monatlichen internen Projektberichten sowie den folgenden Halbjahresberichten:

- a. 03.07.2009: 1. Halbjahr 2009
- b. 18.01.2010: 2. Halbjahr 2009
- c. 05.07.2010: 1. Halbjahr 2010
- d. 17.01.2011: 2. Halbjahr 2010
- e. 25.07.2011: 1. Halbjahr 2011
- f. 16.01.2011: 2. Halbjahr 2011

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden schließlich in diesem technisch-wissenschaftlichen Abschlussbericht dokumentiert.

6.5. Abschlussbetrachtung

Das Thema optische Netzwerke wird seit geraumer Zeit intensiv diskutiert. Es ist seit Jahren Gegenstand weltweiter Forschung, ohne dass bislang ein Durchbruch zur Entstehung marktreifer Produkte erkennbar wurde. Das Teilvorhaben der Funkwerk Avionics war darauf ausgelegt, die Forschung der übrigen Projektpartner zu unterstützen und aus der Sicht des Geräteherstellers praxisnahe Hardware-Lösungen für die Nutzung optischer Netzwerke in der Flugzeugkabine zu erarbeiten. In diesem Sinne war das Projekt durchaus erfolgreich. Wie sich gezeigt hat sind Kernprobleme optischer Netzwerke, die bei Beginn des Vorhabens von FAV als gelöst angesehen wurden, noch offen. Sie wurden entsprechend dem Zuwendungsantrag durch das Teilvorhaben der FAV nur gestreift.

Es bleiben technologische Grundsatzprobleme, die noch zu lösen sind. Hierzu gehört an erster Stelle die Begrenzung der optischen Sendeleistung durch die Forderungen der Augensicherheit, insbesondere im Wellenlängenbereich bei 0,8...0,9 μ m. Als mögliche Alternative bietet sich das Ausweichen auf den Wellenlängenbereich bei 1,5 μ m an. Entsprechende Forschungsergebnisse des HHI wurden im Rahmen des Vorhabens vorgestellt.

Die Suche nach dem optimalen Modulationsverfahren für die optische Übertragung kann ebenfalls noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Die Empfindlichkeit der in SINTEG erprobten Verfahren gegenüber der Nichtlinearität der optischen Komponenten scheint ein noch zu lösendes Problem darzustellen.

Ein weiteres Problem stellt die zu geringe Empfindlichkeit der Empfängerdioden und die hohe Spannung, die diese für ihren Betrieb benötigen, dar. Zusammen mit der hohen elektrischen Leistung, die auf der Senderseite benötigt wird, ergeben sich charakteristische Daten eines optischen Transceivers in Größe und Energieverbrauch, die um Klassen schlechter sind als die Merkmale moderner drahtloser Funknetzwerke.

Die Nutzung optischer Netzwerke für sicherheitskritische Anwendungen in Flugzeugen ist u.a. wegen des Ausfallrisikos bei Rauchentwicklung bis auf weiteres nicht zu erwarten.

Das Teilvorhaben SINTEG der Funkwerk Avionics GmbH wurde im vorgeplanten Zeit- und Kostenrahmen abgewickelt. Die entwickelten Komponenten eines optischen Netzwerks konnten erfolgreich getestet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt werden und stehen als Basis für weitere Arbeiten zur Verfügung. FAV hat den Know-How-Zuwachs im Bereich der FPGA-Anwendung erfolgreich vermarkten können und wird die im Rahmen des Vorhabens entwickelten Komponenten als Plattform für weitere markt- und produktrelevante Technologieentwicklungen nutzen.

Funkwerk Avionics dankt den Projektpartnern und dem Projektträger Luftfahrtforschung beim DLR für die gute Zusammenarbeit während der Vorhabensdurchführung.

7. Verwertbarkeit der Ergebnisse

7.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die Nutzung optischer Netzwerke in der Flugzeugkabine bleibt eine attraktive Zukunftsvision für den Bereich der Passagierkommunikation und das Inflight Entertainment. Für sicherheitskritische Anwendungen in Flugzeugen ist u.a. wegen des Ausfallrisikos bei Rauchentwicklung zumindest in der Kabine die Eignung optischer Netzwerke kritisch zu sehen.

Vor dem Hintergrund einer langfristig zu erwartenden Nutzung optischer Kommunikation in Flugzeugen und anderen Verkehrsmitteln war die intensive Beschäftigung mit dieser Technologie und der Entwicklung von Geräten auf dieser Basis für Funkwerk Avionics eine Basisinvestition in einen vielversprechenden Zukunftsmarkt. Eine kurzfristige Verwertung (d.h. nächste drei Jahre) in Produkten scheidet derzeit jedoch noch an der Verfügbarkeit geeigneter optoelektronischer Komponenten.

Eine Fortführung der Arbeiten zur drahtlosen Kommunikation (nicht optisch) in der Flugzeugkabine erfolgt jedoch durch Funkwerk Avionics im LuFO-Vorhaben PROTEG-O noch bis Anfang 2013. Es ist realistisch, dass in zukünftigen Airbus-Flugzeugen drahtlose Kommunikation in der Flugzeugkabine eine Rolle spielen wird. Durch die Kontakte im SINTEG- und PROTEG-Verbund hat Funkwerk Avionics eine Chance für einen Marktzugang, um hier eine zukünftige Nische zu besetzen. Im Rahmen der Verwertung werden daher die Kontakte zu Airbus aber auch zu deren Lieferanten wie Diehl Aerospace kontinuierlich gepflegt. So ist z.B. noch im ersten Halbjahr 2012 mit einer Ausschreibung durch Airbus zu rechnen, um Komponenten für eine Technologiebewertung der drahtlosen Kommunikation zu entwickeln. Funkwerk Avionics wird hier alle Möglichkeiten nutzen, um auf derartige Ausschreibungen bestmöglich zu antworten.

Die von Funkwerk Avionics entwickelten Komponenten stehen direkt kurzfristig primär als Basis für weitere Entwicklungsaktivitäten zur Verfügung und werden u.a. im Rahmen des LuFO-Vorhabens HETEREX eingesetzt. In diesem Projekt werden die entwickelten Komponenten Ende 2012 auch im Flugversuch erprobt. Weiter werden die Komponenten in den Jahren 2012 bis 2014 auch der Jacobs-Universität Bremen auf deren Wunsch als Plattform für weitere Forschungsarbeiten zur Verfügung gestellt.

Die intensive Beschäftigung mit FPGA-basierten Systemen hat es Funkwerk Avionics schließlich ermöglicht, Aufträge im Rahmen des ESA-Projekts EGNOS zu akquirieren, für die dieses Know-How eine wesentliche Voraussetzung war. Die Entwicklung von Baugruppen zur EGNOS NLES G2 (Navigation Land Earth Station Generation 2) erfolgt bei Funkwerk Avionics bis Ende 2012.

7.2. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus dem Vorhaben ist mit den entwickelten Komponenten ein System von Modulen entstanden, die sich gut als Plattform für die Realisierung von digitalen Signalverarbeitungssystemen eignen. In dieser Form erfolgt die Nutzung derzeit bis Ende 2012 im LuFO-Vorhaben HETEREX sowie voraussichtlich von 2012 bis 2014 durch die

Jacobs-Universität Bremen. Die Arbeiten zur Anwendung und Vertiefung der erworbenen Technologiekenntnisse werden somit fortgeführt.

Die Eignung der Technologie zur kurzfristigen Nutzung in Produkten des Unternehmens läuft derzeit noch.

7.3. Schlussfolgerung

Die direkte Nutzung der im Vorhaben erarbeiteten Ergebnisse als Ausgangsbasis für die Entwicklung von entsprechenden Produkten im Bereich drahtloser optischer Netzwerke für die Flugzeugkabine ist, bedingt im Wesentlichen durch Entscheidungen seitens Airbus in den nächsten 2-5 Jahren nicht zu erwarten. Trotzdem hat das Vorhaben einen spürbaren Beitrag zur Stärkung der technologischen Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit der FAV im Avionikmarkt beigetragen. FAV hat verwertbares Know-How aufgebaut und wird dieses weiterhin nutzen.

8. Fortschritt bei anderen Stellen

Die Fortschritte der Projektpartner sowie der Partner im Simkab-Verbund werden in den jeweiligen Abschlussberichten dargestellt.

Das EU-Vorhaben OMEGA hat es sich im Arbeitspaket 4 zum Ziel gesetzt, optische Netzwerke mit Übertragungskapazitäten im Bereich von GBit/s mit Infrarot-Technik und in der Größenordnung von 100MBit/s zu realisieren. Das Projekt läuft seit 2010. In diesem Rahmen hat das HHI ein System auf Basis von sichtbarem Licht mit Übertragungsbandbreiten bis 800MBit/s vorgestellt.

Zahlreiche Aktivitäten existierten auch in den USA, wobei erkennbare Schwerpunkte auf den Gebieten der Halbleitertechnologie (z.B. hochintegrierte optische Frontends) und der Modulationsverfahren liegen. Beide Bereiche liegen außerhalb der von FAV in SINTEG bearbeiteten Themen.

9. Veröffentlichungen, Vorträge

9.1. VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE

Veröffentlichungen: Keine

Vorträge: Keine außerhalb der Projekttreffen mit Verbundpartnern

9.2. LISTE DER ERSTELLTEN DOKUMENTATION

Im Rahmen des Projekts wurden die folgenden Dokumente durch Funkwerk Avionics und den Unterlieferanten Funkwerk Dabendorf erstellt:

- [1] SINTEG – Hardware Module Description, V 0.1, 22.03.2010
- [2] SINTEG – Access Point Beschreibung, V 1.0, 02.03.2012
- [3] SINTEG – Ergebnisbericht 2009, V 1.0, 11.01.2010
(Funkwerk Dabendorf)
- [4] SINTEG – Ergebnisbericht 2010, V 0.4, 03.12.2010
(Funkwerk Dabendorf)
- [5] SINTEG – Ergebnisbericht 2011, V 0.1, 14.12.2011
(Funkwerk Dabendorf)
- [6] Bericht zum Integrationsmeeting am 30.06.2011 HHI - FAV, Juli 2011