

Schlussbericht

- 20.02.2012 -

| | |
|--|---|
| Zuwendungsempfänger: IHP-GmbH, Frankfurt (Oder) | Förderkennzeichen: 01 BU 0800 |
| Vorhabensbezeichnung: 60-GHz-Multimode-Chip-Satz und Demonstrator (EASY-A / IHP) | |
| Laufzeit des Vorhabens: 01.01 2008 bis 30.06.2011 | |

Das Projekt EASY-A (01BU0800) ist in 4 Arbeitsgruppen (WG) gegliedert. Das IHP war an allen beteiligt. Im Rahmen des Projektes wurden vom IHP Sliding-IF Frontend Chips (single-Chip Transmitter und single-Chip Receiver) entwickelt und mit LTCC Module und Patch Array Antennen vom IMST integriert. Auf der neuen FPGA Plattform mit insgesamt vier Virtex-5 FPGAs wurde neben einem 4 Gbit/s OFDM Basisbandprozessor auch ein Ranging Verfahren implementiert. Alle wesentlichen Ergebnisse wurden auf dem EASY-A Statusseminar am 15. Oktober 2010 in München und dem EASY-A Abschlusstreffen am 23.-24.03.2011 in Frankfurt (Oder) präsentiert und demonstriert.

Die detaillierten Ergebnisse der technischen Diskussionen, die Dokumentation der Demonstratoren und die Abstimmungen mit den Projektpartnern sind in separaten technischen Dokumenten der WG1 bis 4 zusammengefasst. Öffentliche Informationen sind bis etwa Ende 2012 auf der Projektwebseite unter <www.easy-a.de> abrufbar.

I. Aufgabenstellung und Ablauf des Vorhabens

I.1. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des Vorhabens „60-GHz-Multimode-Kommunikationssystem und Chip-Satz“ ist es, drahtlose Datenübertragung im 60-GHz-Band mit Datenraten oberhalb von 1 Gbit/s zu ermöglichen. Typische Anwendungen dafür sind die drahtlose HDTV-Übertragung, schnelle Datensynchronisation zwischen Massenspeichern oder auch die Übertragung großer Datenmengen von bildgebenden Verfahren in der Medizintechnik. Dabei sollen neue Techniken wie Beamforming oder Antennen Diversität für diesen Frequenzbereich erschlossen werden. Die Integration der 60-GHz-Technologie mit anderen Radio-Standards wird untersucht.

Da die Anforderungsprofile für verschiedene Anwendungen, welche auf 60-GHz-Technologie zurückgreifen, recht unterschiedlich sein können, kommen auch unterschiedliche Modulationsverfahren zum Einsatz. Für Systeme mit sehr kurzer Reichweite um etwa 1 m kann von Line-of-sight-Verbindungen ohne nennenswerte Mehrwegeausbreitung ausgegangen werden. Hier können einfache Einträger-Verfahren zum Einsatz kommen. Für Systeme mit größerer Reichweite spielt die Mehrwegeausbreitung eine stärkere Rolle und komplexere Übertragungsverfahren wie OFDM sind vorteilhaft. Am IHP haben wir einen Chip-Satz entwickelt, der mehrere Übertragungsmodi unterstützt. Damit kann eine breite Palette von Anwendungen bedient werden.

Die Ergebnisse des Projektes sind in entsprechende Standards eingeflossen. Anfangs arbeitete das IHP intensiv an der 60-GHz-Standardisierung innerhalb von IEEE802.15.3c mit. Später formierte sich auch eine neue Arbeitsgruppe IEEE802.11ad, die an einem neuen WLAN-PHY Layer im 60-GHz-Band arbeitet.

Neue Verfahren und Architekturen in den Bereichen Analog-Frontend (AFE), Basisbandverarbeitung (BB), und Medium Access Control (MAC) sind notwendig, um die extrem hohen Datenraten von mehreren Gbit/s zu erreichen. Durch höhere Integration können strategisch Herstellungskosten gesenkt werden. Die IHP-eigene SiGe:C-BiCMOS-Technologie ist dafür hervorragend geeignet.

Auch wenn das IHP auf dem Gebiet der 60-GHz-Kommunikation seit geraumer Zeit eine internationale Spitzenstellung besetzt und bereits einen Demonstrator mit Datenraten um 1 Gbit/s gezeigt hat, wurde eine Vielzahl von technischen Problemen bearbeitet. Dazu zählen insbesondere:

1. Die höhere Integration insbesondere der Analog-Frontend-Chips zur Verringerung der Systemkosten; Realisierung von verschiedenen Modulationsverfahren auf einem Chip.
2. Die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes und insbesondere des Phasenrauschens, um effizient höhere Modulationsverfahren zu unterstützen.
3. Die Verringerung des Energieverbrauchs der Analogkomponenten für den Einsatz in mobilen Systemen.
4. Die Verbesserung der Ausbeute der Analogchips durch Einsatz von digital steuerbaren Baugruppen.
5. Untersuchungen zur technischen Realisierung von Beamforming-Verfahren; Entwurf der notwendigen aktiven Komponenten für phasengesteuerte Patchantennen-Arrays.
6. Kompensation von Unzulänglichkeiten der HF-Schaltungen durch digitale Verfahren (dirty RF); Entwicklung und Implementierung effizienter Basisbandprozessoren für verschiedene Modulationsverfahren.
7. Entwicklung und Implementierung effizienter Protokollprozessoren mit hohem Datendurchsatz. Unterstützung von sektorierten Antennen durch das MAC-Protokoll. Unterstützung der Kombination von 60-GHz-Systemen mit anderen Radio-Technologien wie UWB oder IEEE802.11n.
8. Integration des Analog-Frontend mit Antenne(n) in einem kompakten Modul mit robuster Aufbautechnik und einfach zu handhabenden Schnittstellen.

I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Zu Beginn des EASY-A Projektes war der 60-GHz-Standard IEEE802.15.3c kurz vor der Verabschiedung. Im Rahmen des COMPA-Consortiums hat das IHP gemeinsam mit Partnern wie France Telecom wesentliche Beiträge zu diesem Standard geliefert. Erste Vorarbeiten zum Entwurf von 60-GHz-Frontendchips waren erfolgreich. Eine erste Version eines vereinfachten OFDM Basisbandprozessors hat es prinzipiell ermöglicht, eine Datenrate von 1 Gbit/s zu erreichen.

Vor allem im Rahmen des WIGWAM-Projektes hat das IHP bereits an der Entwicklung und Implementierung von 60-GHz-Systemen gearbeitet. Dabei sind folgende Ergebnisse entstanden:

Analog Frontend

Die letzte Version des *60-GHz-Senders* war mit einem integrierten Image-reject-Filter ausgestattet. Des Weiteren wurde ein Power Amplifier entwickelt und mit dem Sender integriert. Parallel dazu wurde ein völlig neuer Chip auf der Basis einer „Sliding-IF“-Architektur entworfen. Aufgrund der hohen (variablen) Zwischenfrequenz von 12 GHz ergeben sich eine Reihe von Vorteilen. So vereinfacht sich das ‚Image Reject‘-Problem und der Abstimmbereich ist deutlich größer. Die Chips (TX-ZF, TX-RF, RX-ZF, RX-RF) wurden erfolgreich getestet und wurden in den 60-GHz-Demonstrator integriert.

Das IHE der Uni Karlsruhe hat eine *Vivaldi-Antenne* für das IHP in einem Unterauftrag des WIGWAM-Projektes entworfen. Eine verbesserte Version dieser 60-GHz-Vivaldi-Antenne mit geringen Sidelobes und hohem Gewinn wurde inzwischen vom IHP auf Sender- und Empfängerplatinen integriert. Die gesamte Kommunikationsstrecke mit den überarbeiteten Komponenten wurde in unserem Demonstrator erfolgreich getestet. Eine Datenrate von 960 MBit/s wurde über eine kurze Entfernung von 30 cm drahtlos übertragen. Zum Erzeugen der Basisbandsignale kamen dazu ein kommerzieller Signalgenerator und ein Vector Signal Analyzer zum Einsatz. Über eine Entfernung von 3 m konnte mit den bestehenden Komponenten eine Datenrate von etwa 480 Mbit/s erreicht werden.

PHY-Spezifikation und Implementierung

Das entwickelte MATLAB-Modell wurde mit einigen Hardwarebeschleuniger-Routinen vervollständigt, die im Bereich Dekodierung, Scrambling/Descrambling, Filtering und bei anderen Signalverarbeitungsprozessen die Rechenzeit teilweise erheblich reduzieren, so dass Simulationszeiten verkürzt werden konnten. Der OFDM Basisbandprozessor (BB) verwendet 384 Datensubträger und 30 Pilotensubträger. Die Spitzen-Datenrate (uncodiert) reicht bis 2,16 GBit/s.

Der Synchronisator des OFDM-Systems wurde dahingehend optimiert, dass er über einen weiten SNR-Bereich und selbst bei relativ hohem Phasenrauschen eine zuverlässige Rahmenerkennung und genaue Zeit- und Frequenzsynchronisation gewährleistet.

MAC-Spezifikation und Implementierung

Die Realzeit-Implementierung des IEEE-802.15.3-MAC-Protokolls auf der 60-GHz-Hardware-Plattform lief mit zu geringer Datenrate. Zum Debuggen und Optimieren wurde ein Link-Emulator, bei dem die drahtlose WLAN-Verbindung zwischen zwei Stationen durch eine Kabelverbindung ersetzt ist, verwendet. Dabei wurden die Grenzen der derzeitigen Hardware-Plattform und die zu ihrer Überwindung erforderlichen Schritte deutlich.

Demonstratorspezifikation und Implementierung

Die grundsätzliche Architektur unseres Basisbandprozessors basierte auf einer FPGA-Platine der Firma IAF GmbH (Braunschweig). Eine Reihe von Hardwarekomponenten sind auf die FPGA-Plattform lauffähig. Geeignete A/D- und D/A-Wandlerplatinen wurden mit großem Aufwand in Betrieb genommen und erfolgreich getestet. Die Abtastraten für ADC und DAC sind jeweils 800 MHz. Dezimations- und Interpolationsfilter sind direkt auf den A/D- bzw. D/A-Wandlerplatinen implementiert.

Standardisierung

- Im Mai 2007 hat das IHP mit France Telecom einen gemeinsamen Standardisierungsvorschlag auf der Basis eines OFDM-Modulationsverfahrens unterbreitet. Anschließend haben sich France Telecom und IHP dem CoMPA-Konsortium unter Führung des NICT-Japan angeschlossen.
- Ab etwa 2008 gab es Bestrebungen, auch unter IEEE802.11 innerhalb der neuen Arbeitsgruppe „Very High Throughput“ (VHT) einen 60-GHz-PHY zu definieren. Dies führte zu der Task-Group TG-ad. Diese entwickelte den Standard IEEE802.11ad welcher im Jahr 2012 verabschiedet werden wird.

Die Vorarbeiten am IHP wurden durch mehrere Veröffentlichungen zum Thema 60 GHz Kommunikation reflektiert (siehe Literaturverzeichnis).

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Angelehnt an die EASY-A Gesamtvorhabensbeschreibung mit vier Arbeitspaketen, wurde die Arbeit am IHP in sechs Arbeitspakete gegliedert. Als Konsortialführer kamen dem IHP eine Reihe von Koordinierungs- und Management-Aufgaben zu.

AP-IHP1: Projektmanagement und Systemkonzept (21 PM)

Ein wichtiges Ziel des Gesamtprojektes war es, zwei Demonstratoren zu implementieren. Dazu war eine gute organisatorische und technische Koordination notwendig.

- Vom IHP wurden pro Jahr drei Projekttreffen organisiert, auf denen die Ergebnisse vorgestellt und die weiteren Arbeiten koordiniert werden. Ab dem zweiten Projektjahr wurden die Ergebnisse auch auf den BMBF-Statusseminaren präsentiert.
- Vom IHP wurden mit Unterstützung der Projektpartner Dokumente gepflegt, welche die gemeinsamen Ergebnisse zusammenfassen. Dazu wird ein BSCW Server eingesetzt und gepflegt.
- Das IHP vertrat, gemeinsam mit weiteren Partnern, das EASY-A-Konsortium im Bereich der Standardisierung und Frequenzregulierung.

AP-IHP2: Systemarchitekturen

Dieses AP befasst sich mit dem Gesamtkonzept eines 60-GHz-Transceivers unter Berücksichtigung technischer und anwendungsspezifischer Randbedingungen. Es werden Modulationsart, Architektur des RF-Frontends, Basisbandprozessor und Protokollprozessor in ihrem Zusammenwirken betrachtet und aufeinander abgestimmt. Dabei wird auch berücksichtigt, welche Antennen und Aufbautechnik zum Einsatz kommen. Es wird eine layer-übergreifende Betrachtung und Optimierung des Modems verfolgt.

- Optimierung der Architektur und Simulation des Modems wurden durchgeführt. Diese bilden die Grundlage für die Implementierung und Demonstrator-Spezifikation.
- Eine detaillierte Schnittstellendefinition für Projektpartner; Skalierbarkeit von MAC und BB für verschiedene Anwendungsprofile wird erarbeitet.

AP-IHP3: Analog-Frontend-Architektur und Implementierung

Die Arbeiten in diesem AP zielen darauf ab, ein komplexes Modul zu entwickeln, welches von der Antenne bis zum analogen Basisbandsignal reicht. Kritische Blöcke und Parameter für dieses Modul sind:

- Power Amplifier auf der Transmitterseite
- Low-Noise Amplifier (LNA) auf der Empfängerseite
- Digitale Einstellbarkeit der Arbeitspunkte und Parameter einzelner Komponenten des AFE zur Erhöhung der Ausbeute und Robustheit der Chips
- Reduzierung der Verlustleistung des gesamten HF-Frontends.

Dabei können verschiedene Architekturen zum Einsatz kommen. Besonders vielversprechend erscheint die Sliding-IF-Architektur. Diese kommt mit nur einem Quarz-Oszillator aus und verspricht einen sehr großen „tuningrange“.

AP-IHP4: Basisband-Algorithmen und Implementierung

Aufbauend auf den Vorarbeiten für einen OFDM-Basisbandprozessor wird weiter an der Verbesserung der Algorithmen und deren Implementierung gearbeitet. Weiterhin wird dieser Basisbandprozessor für die Multimodeverarbeitung erweitert. In der Standardisierung sind eine Reihe von OFDM- und Single-Carrier Modulationsarten für das 60-GHz-Band definiert worden. In diesem AP werden insbesondere folgende Arbeiten durchgeführt:

- Optimierung der Synchronisations- und Kanalschätzalgorithmen und Architekturen.
- Erweiterung der Basisbandverarbeitung um Einträgerverfahren mit mittlerer oder geringer Komplexität (z. B. „Single Carrier with Frequency Domain Equalization“ oder „Minimum Shift Keying“) unter Verwendung von existierenden OFDM-Baugruppen.

AP-IHP5: Protokollentwurf und Implementierung

Das Arbeitspaket „MAC (Medium Access Control) Protokoll“ umfasst zum einen konzeptionelle Arbeiten zu Erweiterungen oder Modifikationen eines MAC-Protokolls, die bei

sehr hohen Datenraten (mehrere Gbit/s) erforderlich oder zweckmäßig sind (z. B. frameaggregation). Zum anderen wird im Zusammenwirken mit dem Arbeitspaket „Demonstrator“ eine realzeitfähige MAC-Implementierung auf einer geeigneten Hardware-Plattform realisiert. Das zu verwendende MAC-Protokoll soll aus Kompatibilitätsgründen auf einem existierenden Standard aufbauen. Zusätzlich soll es die vom EASY-A PHY-Layer gebotenen Zusatzfunktionen (z. B. beam steering) unterstützen.

AP-IHP6: Systemintegration und Demonstratoraufbau

Die Arbeiten in diesem AP gehen weit über einen Technologiedemonstrator hinaus. Es wurde ein Demonstrator für eine hochratige Videoübertragung gezeigt. Dieser erfüllt wesentliche Anforderungen der Applikation hinsichtlich Datenrate, Übertragungssicherheit und Formfaktor. Dazu ist ein modularer Aufbau der HF-Komponenten mit entsprechenden Antennen notwendig. Der Basisbandprozessor wird zunächst in leistungsfähige FPGA implementiert. Folgende Arbeiten bilden den Schwerpunkt dieses AP:

- Detaillierte Spezifikation des Demonstrators und Abstimmung der Interface mit den Projektpartnern
- Integration der verschiedenen Baugruppen wie Frontend mit Antenne, Basisbandverarbeitung und Protokollprozessor zu einem System
- Inbetriebnahme und Test des Demonstrators sowie Präsentation der Funktion in einer Beispielanwendung.

I.4. Wissenschaftlicher Stand an den angeknüpft wurde

Benutzte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte:

- Als Modulationsverfahren wurde vom IHP zu einem frühen Zeitpunkt OFDM favorisiert. In diesem Zusammenhang gibt es eine Reihe von Patenten, die bestimmte Teile schützen. Vom IHP wurde selber ein Patent zu effizienten Synchronisationsverfahren angemeldet (Nr. US 2006/0146962 A1).
- Zur Kanalkodierung kommen wahlweise Low Density Parity Check Codes (LDPC), Faltungscode und Reed-Solomon Codes zum Einsatz. Insbesondere die Faltungsdecoder (Viterbi-Decoder) sind hier Schutzrechten unterlegen. Der entwickelte LDPC Coder ist zwar frei von Schutzrechten, konnte aber mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht bis zur Einsatzreife im Demonstrator gebracht werden. An dieser Komponente wird weiter gearbeitet.
- Das MAC Protokoll basiert auf dem IEEE802.15.3 Standard und ist als solches ebenfalls geschützt. Allerdings gibt es hier keine Einschränkungen oder Forderungen bei der Benutzung. Ein verwendetes eigenes (proprietäres) Protokoll für hohe Übertragungsgeschwindigkeiten wurde entwickelt und unterliegt keinen Einschränkungen in Bezug auf Schutzrechte.
- Ein Patent für ein Hardware-effizientes Single-Carrier Verfahren wurde im Verlaufe des Projektes vom IHP angemeldet:
M. Petri, E. Grass und M. Piz: „Method and apparatus for demodulating differential binary phase shift keying modulated signals“, Europäische Patentanmeldung, EP 2 328 313 A1, 2009.
Ein entsprechender Basisbandalgorithmus wurde testweise implementiert und zeigte die erwartete Leistungsfähigkeit.

Angaben zur verwendeten Literatur sowie zu den Informations- und Dokumentationsdiensten:

Als verwendete Fachliteratur dienen insbesondere internationale Veröffentlichungen in Journalen und auf Konferenzen. Besonders der online Zugang zu IEEE Veröffentlichungen über IEEE Explor hat sich hier als wichtig herausgestellt. Weiterhin war für Patentrecherchen

der Zugang zur Patent-Datenbank WP-Index des FiZ Karlsruhe sehr vorteilhaft. Eine weitere wichtige Quelle für aktuelle Informationen waren Dokumente und Beiträge, die im Rahmen von IEEE Standardisierungstreffen veröffentlicht wurden. Das IHP hat als „Voting Member“ von IEEE802.15.3c Zugang zu allen Unterlagen der Arbeitsgruppe (WG) IEEE802.15. Ab 2009 war das IHP auch in der IEEE802.11ad Standardisierung aktiv und hat dementsprechend Zugang zu allen Dokumenten der WG IEEE802.11.

Auch wenn der Einfluss eines Forschungsinstitutes auf die Standardisierung relativ gering ist, konnten doch zahlreiche nützliche Informationen gewonnen werden.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Am EASY-A-Projekt waren insgesamt 14 Partner sowie eine Reihe von Unterauftragnehmern beteiligt. Die Zusammenarbeit im EASY-A Konsortium war insgesamt sehr konstruktiv und erfolgreich. Insbesondere mit EADS, der TU-Ilmenau, der TU-Dresden, Meytec und dem IMST gab es einen intensiven Austausch von Erfahrungen und Ergebnissen. Mit diesen Einrichtungen wird auch nach dem offiziellen Ende des Projektes an bestimmten Themen weitergearbeitet. So wurde bei EADS ein 60 GHz Demonstrator erfolgreich in einen A320 Mock-up installiert und dient nun Demonstrationszwecken. Für die TU-Ilmenau und MEDAV wurden auch nach Projektende noch Arbeiten für einen Channel Sounder fortgeführt.

Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes wurden in einem Sonderheft des „International Journal of Microwave and Wireless Technologies“, Vol. 3, April 2011, welches von der European Microwave Association herausgegeben wird, veröffentlicht. In dieser Sonderausgabe sind Beiträge aller Partner enthalten.

Im Verlaufe des Projektes hat das IHP sehr erfolgreich mit verschiedenen Unterauftragnehmern zusammengearbeitet. Insbesondere folgende Einrichtungen haben als Unterauftragnehmer des IHP Beiträge geliefert:

- Humboldt-Universität, Berlin, Institut für Informatik
 - o Untersuchung und Implementierung von Lokalisierungsalgorithmen für 60 GHz Kommunikation (Demonstrator)
- TU-Ilmenau
 - o 60 GHz Frontend Modul in LTCC Technologie
- TU-Berlin
 - o 60 GHz Leistungsverstärker mit hoher Ausgangsleistung

Weiterhin haben wir im Verlaufe des EASY-A Projektes unsere enge Zusammenarbeit mit *France Telecom* fortgesetzt. Insbesondere im Bereich der IEEE802.15.3c- und später IEEE802.11ad -Standardisierung war dies für beide Seiten sehr vorteilhaft.

II. Erreichte Ergebnisse in den IHP Arbeitspaketen

II.1. AP-IHP1: Projektmanagement und Systemkonzept

Im Rahmen der Konsortialführerschaft des IHP wurden im Projektzeitraum folgende wesentlichen administrativen Aufgaben bearbeitet.

Shared-Workspace-Server

- Einrichtung eines Shared-Workspace-Servers (im Folgenden: BSCW-Server) zur Verwaltung und zum Austausch von Dokumenten, zur Benachrichtigung nach Gruppenzugehörigkeit etc.
- Zu dem BSCW-Server haben alle Projektmitarbeiter Zugang. Die wesentlichen technischen Ergebnisse sind in Dokumenten in den Verzeichnissen der AP1-4 zu finden.

- Der BSCW-Server dient der Publizierung von technischen Unterlagen, Agenden, Protokollen, Standards, Meeting-Dokumenten, Vertragsunterlagen, etc.
- Die Dokumente auf dem BSCW Server werden Anfang 2012 archiviert und der Server wird dann ausser Betrieb genommen.

E-mail Verteiler

- Ein e-mail Verteiler für die einzelnen WG wurde eingerichtet und vom IHP mit dem BSCW Server abgeglichen und gepflegt. Die EASY-A E-Mail Verteiler werden Anfang 2012 abgeschaltet.

Projekt-Webseite

Die Projekt-Webseite <http://www.easy-a.de> wurde Anfang 2008 erstellt und anschließend mehrfach erweitert:

- Konsequent zweisprachiges Design in Deutsch und Englisch.
- Publizierung im XHTML-Format, das eine weitgehend browserunabhängige Darstellung ermöglicht.
- Darstellung der Subprojekte.
- Einbeziehung aller Unterauftragnehmer.
- Das Angebot, ein Partnerprofil zu publizieren wurde von vielen Partnern genutzt.

Derzeit gibt es keinen Termin für die Abschaltung der EASY-A Web-Seite. Diese wird bis mindestens Ende 2012 weiter on-line sein.

Cooperation Agreement (CA)

Bis 28. Juni 2008 wurde das CA durch alle Partner bestätigt, wobei die Zustimmung per Email bzw. telefonisch erfolgt ist.

Anschließend wurde das Cooperation Agreement von allen Partnern unterschrieben und allen Partnern liegen sämtliche Originalunterschriften vor.

II.2. AP-IHP2: Systemarchitekturen

Ausgehend von der Internationalen Frequenzregulierung, den Standards ECMA387, IEEE802.15.3c, dem zukünftigen Standard IEEE802.11ad sowie den derzeit verfügbaren technischen Möglichkeiten, wurde eine geeignete Systemarchitektur entworfen und letztendlich auch implementiert.

Dabei wurde für das Analoge Frontend eine Sliding-IF Architektur gewählt. Der Receiver ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Zwischenfrequenz liegt bei 12 GHz und ist mit einem festen Verhältnis von 1:4 mit der HF von 48 GHz gekoppelt.

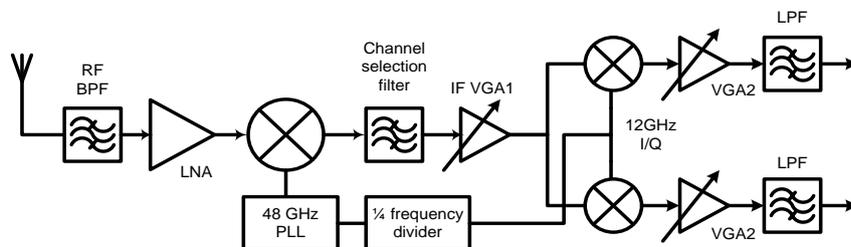


Abbildung 1: 60 GHz Sliding-IF Receiver

Vom IHP wird in EASY-A im Rahmen der VHR-E Gruppe ein OFDM Basisbandprozessor entwickelt. Mit diesem Basisbandprozessor sind etwa 4 Gbit/s bei einer Entfernung von 10 m möglich.

Dabei wurden zwei verschiedene Parametersätze festgelegt, einmal für eine Schmalband- und einmal für eine Breitbandimplementierung. Die gewählten Parameter sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

| Parameter | Schmalband | Breitband |
|---|--------------------|---------------|
| Kanalbandbreite / Abtastfrequenz | 432 MHz | 2160 MHz |
| Genutzte Signalbandbreite | ≈ 359 MHz | ≈ 1760 MHz |
| FFT-Größe | 256 Punkte | 1024 Punkte |
| Unterträgerabstand | 1,69 MHz | 2,11 MHz |
| Schutzintervall | 148 ns | 119 ns |
| OFDM-Symbollänge | 741 ns | 593 ns |
| Anzahl Datenunterträger | 192 | 768 |
| Anzahl Pilotunterträger / DC-Nullträger | 16 / 5 | 60 / 5 |
| Unterträger-Modulationsschema | BPSK, QPSK, 16-QAM | |
| Kanalkodierung | CC + RS | CC + RS, LDPC |

Aus den gewählten Parametern ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Datenraten (Schmalband / Breitband):

| Modulationsart / Punktierung | Nettodatenrate ohne RS-Kodierung / Mbit/s | Nettodatenrate mit RS-Kodierung / Mbit/s | Bruttodatenrate nach Kodierung / Mbit/s |
|------------------------------|---|--|---|
| BPSK- $\frac{1}{2}$ | 130 / 650 | 122 / 605 | 260 / 1300 |
| BPSK- $\frac{2}{3}$ | 173 / 860 | 162 / 806 | 260 / 1290 |
| QPSK- $\frac{1}{2}$ | 260 / 1300 | 244 / 1210 | 520 / 2600 |
| QPSK- $\frac{2}{3}$ | 346 / 1720 | 325 / 1610 | 519 / 2580 |
| 16-QAM- $\frac{1}{2}$ | 520 / 2600 | 487 / 2430 | 1040 / 5200 |
| 16-QAM- $\frac{2}{3}$ | 692 / 3450 | 649 / 3230 | 1038 / 5180 |
| 16-QAM- $\frac{3}{4}$ | 778 / 3890 | 729 / 3645 | 1038 / 5190 |

Für die beschriebene Basisbandspezifikation wurde ein Matlab-basiertes Simulationsmodell erzeugt, anhand dessen die Systemperformance für verschiedene Kanalmodelle überprüft wurde. Darauf aufbauend erfolgte eine VHDL-Umsetzung der Breitbandversion. Diese wurde auf einem FPGA-Board implementiert und zusammen mit dem entwickelten AFE für eine Demonstration einer drahtlosen Kommunikation mit einer Datenrate von 1.3 Gbit/s genutzt. Für eine reine Basisbandkommunikation wurde eine fehlerfreie Datenübertragung mit 3.2 Gbit/s demonstriert.

II.3. AP-IHP3: Analog-Frontend-Architektur und Implementierung

Die entscheidenden Ergebnisse des IHP in diesem AP widerspiegeln sich in den entworfenen analogen HF-Chips.

Der single-chip Transmitter ist in Abbildung 2 dargestellt. Die wesentlichen Blöcke sind I/Q-Mischer, HF-Mischer, PLL und Leistungsverstärker. Wesentliche Parameter, wie z.B. Ausgangsleistung, können über ein SPI Interface eingestellt werden. Die Chipgröße beträgt lediglich $2,1 \times 1,5 = 3,15 \text{ mm}^2$. Die Ausgangsleistung beträgt etwa 15 dBm. Der Chip wurde in IHP 0,25µm SiGe-BiCMOS Technologie hergestellt und erfolgreich getestet.

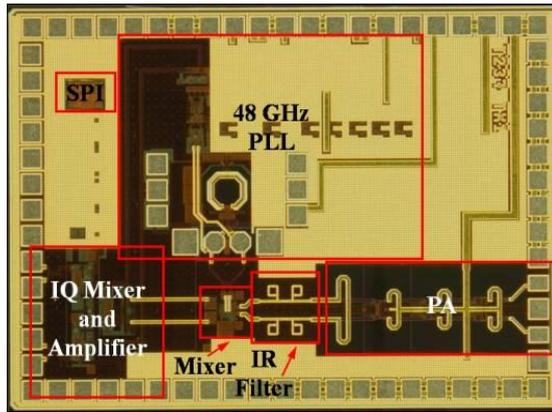


Abbildung 2: 60 GHz Single-Chip Transmitter in sliding-IF Architektur

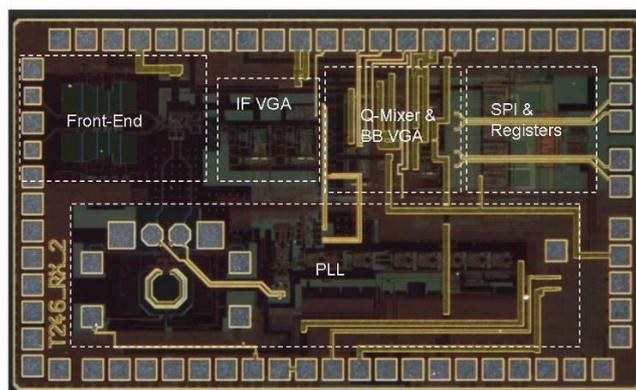


Abbildung 3: 60 GHz Single-Chip Receiver in sliding-IF Architektur

Der Receiver ist reziprok dem Transmitter aufgebaut. Die wesentlichen Blöcke sind LNA (Front-End), VGA, I/Q-Demodulator, und PLL. Wie im Transmitter werden die wesentlichen Parameter ebenfalls über ein SPI Interface gesteuert. Die Chipgröße beträgt 3,3 mm². Er wurde ebenfalls in IHP 0,25µm SiGe BiCMOS Technologie gefertigt und erfolgreich getestet.

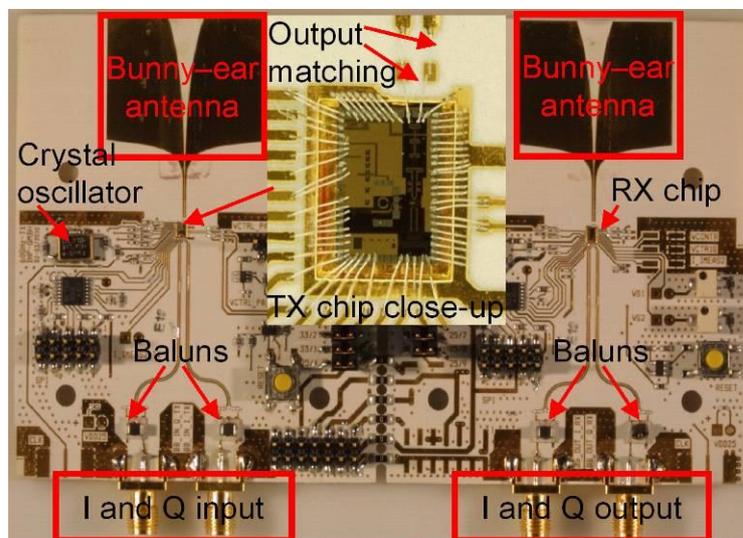


Abbildung 4: Test-Board mit Transmitter und Receiver sowie Transmit- und Receive-Antenne.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, wurden beide Chips auf einem Testboard mit jeweils einer Vivaldi Antenne integriert und mit dem OFDM-Basisbandprozessor erfolgreich getestet. In

Abbildung 5 ist das Konstellationsdiagramm einer 16-QAM OFDM Übertragung zu sehen. Mit diesem Frontend wurde über die Entfernung von 15m Daten mit einer Rate von 3,6 Gbit/s (kodiert) übertragen. Dies ist im internationalen Vergleich ein Rekordwert.

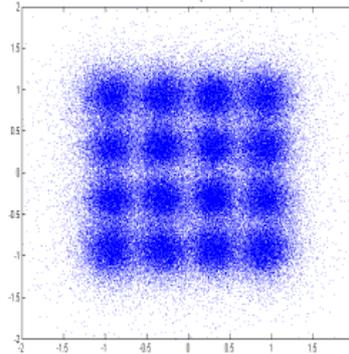


Abbildung 5: Konstellationsdiagramm einer 16-QAM OFDM Übertragung

II.4. AP-IHP4: Demonstrator Spezifikation, Design und Implementierung

Im Rahmen des Projektes wurden Lösungen für verschiedene Anwendungsszenarios für 60 GHz- Kommunikation entwickelt und als Demonstratoren vorgeführt.

Zusammen mit der Firma Meytec wurde ein telemedizinisches Konferenzsystem über eine 60 GHz- Verbindung erfolgreich getestet. Abbildung 6 zeigt den Test des Systems auf dem Gelände der Firma Meytec. Hier wurde das Netzkabel durch eine transparente 60-GHz-Verbindung ersetzt.



Abbildung 6: Telemedizinisches Konferenzsystem mit 60-GHz- Kommunikation

Eine alternative Ausführung der 60-GHz-Analog-Frontend (AFE)-Module wurde durch das IMST entwickelt. Die Miniaturisierung der AFE-Module ermöglicht so den Einbau in Bereichen mit besonderen Platzanforderungen, wie z.B. Flugzeugsitze. Abbildung 7 zeigt die LTCC-Module (ohne Kabeladapterplatinen) im Vergleich zur Version mit Vivaldi-Antenne.

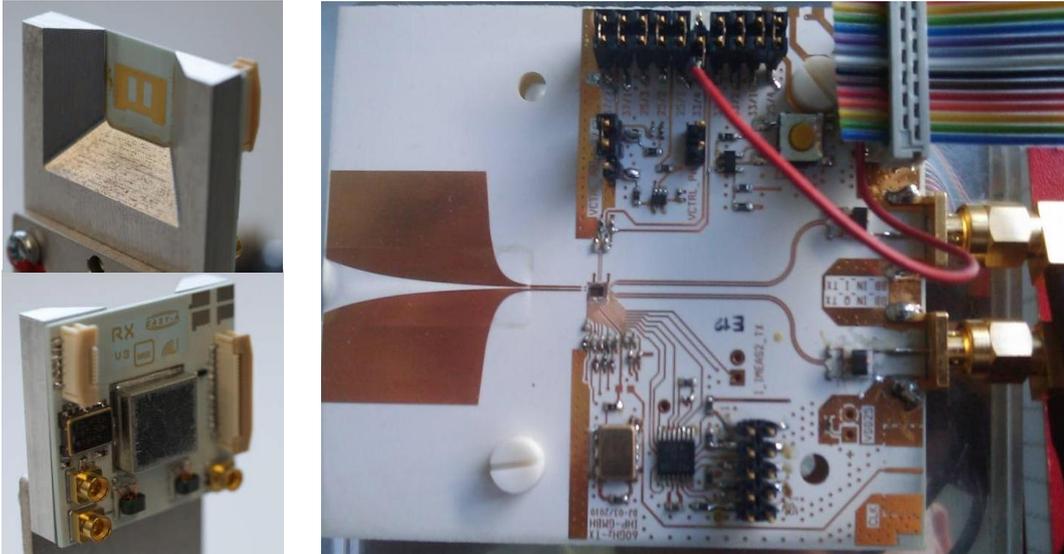


Abbildung 7: LTCC-Module (ohne Kabeladapterplatinen) im Vergleich zu Frontend-Modulen mit Vivaldi-Antenne.

Ein Inflight-Entertainment-System (IFE) für die Versorgung der Passagiersitze mit Multimediadatenströmen wurde zusammen mit der Firma EADS entwickelt. Abbildung 8 zeigt den schematischen Aufbau des Systems.

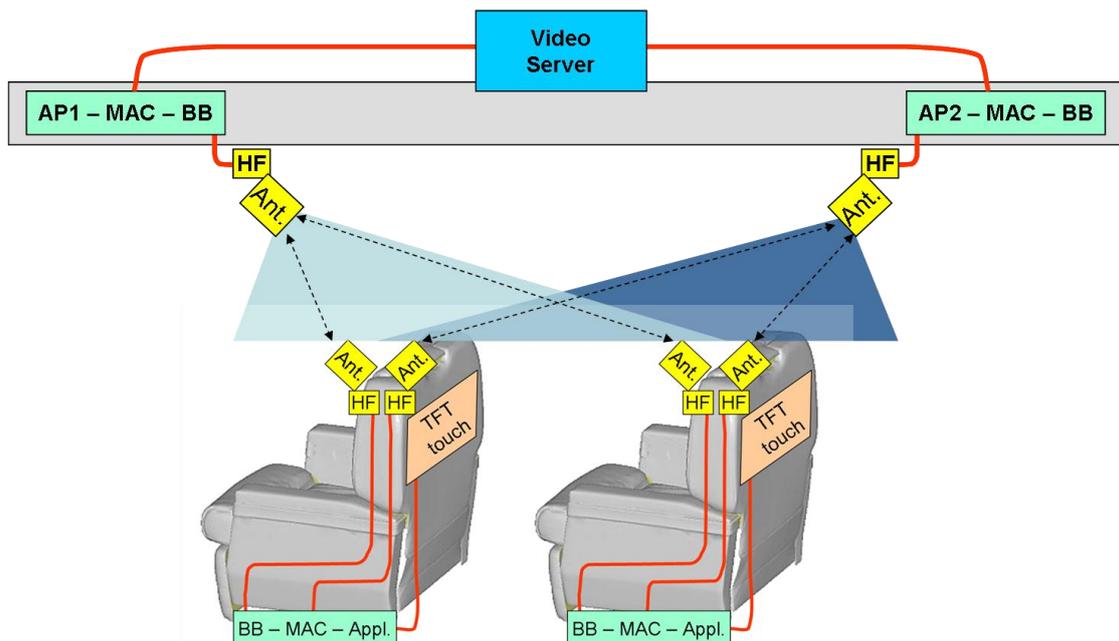


Abbildung 8: Architektur des Inflight-Entertainment (IFE) Demonstrators

Aufgrund des hohen Preises, sowie der aufgetretenen Verzögerungen bei der Beschaffung und der komplizierten Inbetriebnahme der FPGA-Plattform für den VHR-E-Demonstrator wurde für das IFE-Szenario auf das WIGWAM-Gigabit-Basisband zurückgegriffen. Hier standen drei funktionsfähige Gigabit-Tranceiver zur Verfügung, so dass zusätzlich zur geforderten niedrigen Latenz auch die redundante Versorgung der Datenströme gezeigt

werden kann. Hierzu wird jeder Sitz von mindestens zwei Access-Points (AP) ausgeleuchtet. Dabei wird gewährleistet, dass immer nur ein AP gleichzeitig auf das Übertragungsmedium zugreift. Im Gegensatz zum 2,4-GHz -Band, wo eine omni-direktionale Übertragung möglich ist, erfolgt die Übertragung im 60 GHz-Band gerichtet. Das hat zu Folge, dass z.B. die Übertragungsstrecke von AP1 zum Sitz einfach durch eine Person blockiert werden kann. In diesem Fall wird die alternative Übertragungsstrecke vom AP2 zum Sitz durch den Medienserver gewählt (Handover).

Die Koordinierung des drahtlosen Medienzugriffs erfolgt durch den sogenannten Medium-Access-Controller (MAC). Dieser wurde für das Szenario neu entwickelt und stellt die Koordinierung zwischen den APs und den Sitzen und eine fehlerfreie Verbindung zur Verfügung.

Abbildung 9 zeigt links den Laboraufbau mit IFE-Terminal und rechts die Integration der AFE-Module und des IFE-Terminals in den Sitz des IFE-Mockup-Demonstrator von EADS. Das 60-GHz-Basis-System wurde erfolgreich auf dem ICC 2009 in Dresden präsentiert.

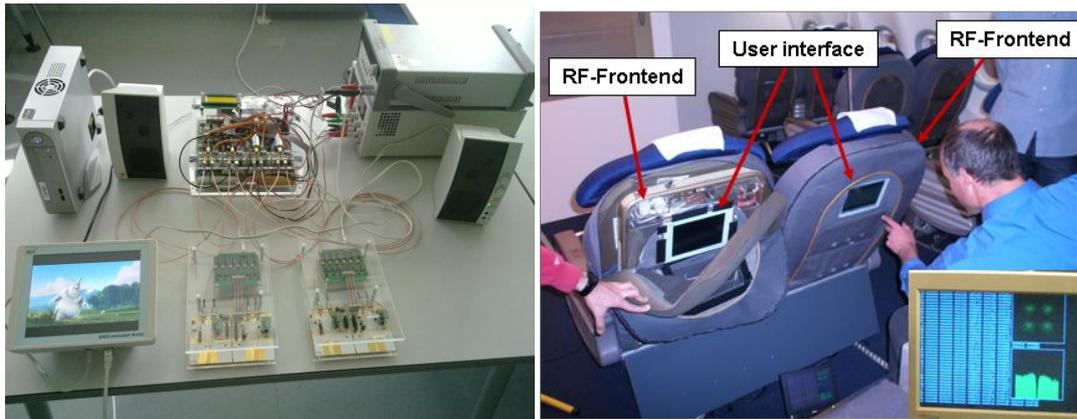


Abbildung 9: Inflight-Entertainment Demonstrator, Laboraufbau (links) und Integration in A320 Mockup bei EADS (rechts)

Die für dieses Projekt neu beschaffte FPGA-Hardware wurde erfolgreich in Betrieb genommen. Dazu entstanden zwei Demonstratoren für das 60 GHz-Band. Zum einen ein multi-gigabit Breitband OFDM-Basisbandprozessor und zum anderen ein Demonstrator für Lokalisierung/Ranging im 60 GHz-Band. Der OFDM-Basisbandprozessor ermöglicht eine Datenübertragung von bis zu 3,9 Gbit/s. Die Lokalisierung auf Basis der „Round-Trip-Time“-Methode ermöglicht bei einer Abtastfrequenz von 2,16 GHz ca. 1,7 cm Auflösung und mit Interpolation bis zu a. 0,5 cm. Für beide Demonstratoren wird jeweils dieselbe FPGA-Hardware benutzt. Abbildung 10 zeigt die FPGA-Hardware einer Station mit dem Analog-Frontend und Stromversorgung.

Es ist geplant, beide Demonstratoren in einem Design zusammenzuführen. Dazu sind aber u.a. auch noch Anpassungen und Erweiterungen am MAC-Protokoll notwendig.



Abbildung 10: Hardware für multi-gigabit Breitband OFDM-Basisbandprozessor

II.5. Arbeiten im Bereich MAC-Entwurf

Die Arbeiten für EASY-A am IHP waren auf Kommunikationssysteme im 60 GHz Frequenzband mit Datenraten von einigen Gigabit/s ausgerichtet. Das ist das Szenario des VHR-E Demonstrators. Ein solches Kommunikationssystem besteht typischerweise aus mehreren miteinander kommunizierenden Stationen, wobei das Kommunikationsprotokoll (MAC-Protokoll) üblicherweise standardisiert ist. Nur dadurch lässt sich die Interoperabilität von Komponenten mehrerer Hersteller gewährleisten.

Zu Beginn des EASY-A Projektes im Jahre 2008 waren zwei relevante 60 GHz Standards in einem fortgeschrittenen Stadium der Entwicklung: ECMA-387 und IEEE 802.15.3c. Wir haben uns damals auf IEEE 802.15.3 konzentriert, weil dieser Standard am Besten für den geplanten VHR-E Demonstrator passend erschien. Abbildung 11 zeigt das Blockschaltbild einer typischen Station in einem solchen Netzwerk mit den grundlegenden Hardware-Komponenten *Analog Front End*, *Basisband-Prozessor* und *MAC Prozessor*. Für letzteren wird das MAC Protokoll des jeweiligen Standards zweckmäßigerweise als Hardware-Software-Codesign implementiert. Man benötigt daher einen Prozessor (Mikrocontroller) mit entsprechender Software (Firmware) sowie Arbeitsspeicher sowie einen dediziert entworfenen Hardware-Accelerator für die performance- bzw. zeitkritischen, in Hardware auszuführenden Funktionen des MAC Protokolls. Als Hardware-Plattform bietet sich während der Entwicklungsarbeiten ein FPGA-basiertes System an, da es leistungsfähig und flexibel ist.

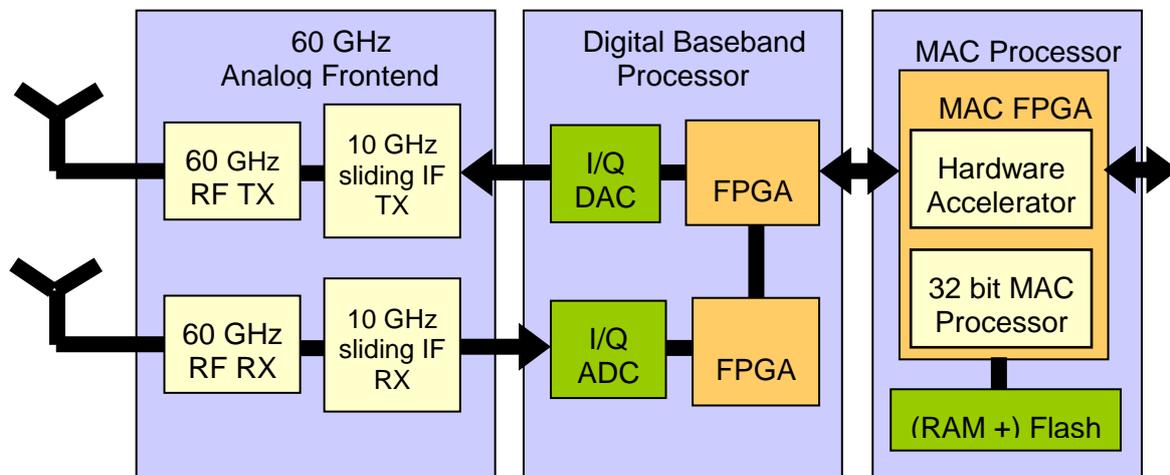


Abbildung 11: Blockschaltbild eines typischen 60 GHz –Moduls

Im EASY-A Projekt wurde dann zunächst in der Sprache SDL eine Implementierung des IEEE 802.15.3 MAC Protokolls erstellt. Mittels SDL-Simulation wurde deren funktional korrekte Operation verifiziert. Der erstellte SDL-Code dient außerdem als Grundlage einer automatischen Code-Konvertierung in die Programmiersprache C. Diese Software wird mit dem Cross-Compiler des Target-Systems (Mikrocontroller) übersetzt und ergibt die Firmware-Komponente des MAC Protokolls. Der Hardware-Accelerator muss in VHDL entworfen werden und gemeinsam mit der Prozessor-Core auf dem FPGA implementiert werden. Dann kann das System erprobt werden.

Während der Projektlaufzeit nahm nun der WLAN Standard IEEE 802.11ad Gestalt an. Da diesem für künftige 60 GHz Anwendungen eine weitaus größere Bedeutung beigemessen wird, haben uns im Sommer 2009 von IEEE 802.15.3 auf IEEE 802.11 um-orientiert. Leider war dies im MAC-Bereich mit einer völligen Neuentwicklung aller wesentlichen Komponenten verbunden, wenn auch auf Vorarbeiten eines 802.11a Systems bei 5 GHz

zurückgegriffen werden konnte. Im Folgenden wurden dann wieder ein SDL Modell und ein Hardware-Accelerator für diesen Standard erstellt.

Als enorm wichtiges Problem kristallisierte sich während des EASY-A Projekts immer stärker die Verfügbarkeit bzw. der Preis genügend leistungsfähiger Hardware-Plattformen für Gbit/s Kommunikationssystem heraus. Wir haben daher die Arbeiten an einer standardkonformen, netzwerkfähigen MAC Implementierung stark eingeschränkt und uns auf den für den VHR-E Demonstrator erforderlichen MAC-Prozessor konzentriert. Dieser ist vollständig in Hardware realisiert. Er arbeitet mit einem vereinfachten MAC-Protokoll (transparentes Ethernet) und erlaubt zusätzlich Handover der Station bzgl. zweier Access-Points. Dies System ist im Demonstrator-Kapitel II.4 näher beschrieben.

Tabelle 2 Computer-Interfaces im Gigabit/s Bereich [11]

| Standard | Datenrate | Steckverbinder | Typische Anwendung |
|-----------------|------------------------------------|--|---|
| PCIexpress 3.0 | 1 Gbit/s pro Lane max. 16 Lanes | 36 Pins (für 1 Lane) innerhalb des PC | Grafik-Karten, Ethernet Controller, etc, in PC's |
| ExpressCard 2.0 | bis 5 Gbit/s | 26 pin Slot in Laptop Computern | externe WLAN Module, etc. in Laptop Computern |
| SATA 3 | bis 6 Gbit/s | 7 poliges Kabel | Festplatten |
| Firewire 1394 | bis 3 Gbit/s | 4 / 6 poliges Kabel | Video Übertragung |
| USB 3.0 | bis 5 Gbit/s | 9 poliges Kabel | Externe Geräte |
| HDMI | bis 10 Gbit/s | 19 poliges Kabel | Video + Audio Übertragung |

III. Verwendung der Mittel und Verwertung der Ergebnisse

III.1. Verwendung der Zuwendung

Die wichtigste und größte Position der Zuwendung sind die **Personalmittel**. Insgesamt wurden knapp 5 FTE für Wissenschaftliche Mitarbeiter über einen Zeitraum von 3,5 Jahren bewilligt. Darüber hinaus waren Mittel für zwei studentische Hilfskräfte geplant.

III.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

IHP-interne Informationen wurden hier entfernt.

III.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeitspakete des IHP einschließlich der Entwicklung eines 60 GHz Demonstrators stellen sehr anspruchsvolle und umfangreiche Aufgaben dar. Um die ehrgeizigen Ziele zu erreichen, wurde im gesamten Zeitraum durch das IHP mehr geleistet als durch die Zuwendung finanziert wurde. Da das Thema für das IHP äußerst interessant ist, wurden interne Ressourcen in einer Größenordnung von 20-25% der Förderung zusätzlich für das Projekt 01BU0800 bereitgestellt.

III.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung der Ergebnisse

Die Verwertung der Ergebnisse durch das IHP hat bereits begonnen. Für den Projektpartner EADS wurde ein Demonstrator für einen A320 Mock-up bereitgestellt. Dieser erlaubt die drahtlose Videoversorgung von Passagier-Displays. Damit wird das Ziel verfolgt, den Einsatz von Kabeln im Flugzeug und damit deren Gewicht zu verringern.

Inzwischen wurde auch das EASY-A-Nachfolgeprojekt PreLocate bewilligt. In diesem KMU-Innovativ-Projekt unter Konsortialführerschaft der Firma InnoSenT GmbH wird vor allem die Lokalisierungsfunktion weiterentwickelt. Hier profitieren eine Reihe großer

Unternehmen in Deutschland und Europa von den Erfahrungen und den entwickelten Technologien und Chips des IHP.

III.5. Fortschritte von anderer Seite

Eine Reihe von Firmen arbeitet intensiv an Chips für die 60 GHz Kommunikation. Insbesondere IBM hat eine sehr weit entwickelte Lösung. Die IBM Chips sind, wie die IHP Chips auch, in SiGe BiCMOS Technologie gefertigt. Der IBM Chipsatz ist zwar noch nicht für Produkte geeignet, jedoch sind die wesentlichen Parameter bereits für prototypische Lösungen spezifiziert. Insbesondere die Implementierung verschiedener Modulationsarten wie OFDM und Single Carrier Modulation auf einem Chip ist als zukunftsweisend zu bewerten. IBM hat inzwischen auch 60 GHz Chips in CMOS Technologie entwickelt. Diese sind jedoch noch nicht vermarktungsfähig.

Von der Firma SiBEAM wurde ein CMOS Chipsatz entwickelt und eine HDTV Übertragung im 60 GHz Band wurde in Produkte (Fernseher + Set-Top-Box) der Firma Panasonic integriert. Die Entwicklung von SiBEAM benutzt Beamforming Technologie, ist jedoch recht teuer und daher sind die Verkaufszahlen recht gering. Die Firma SiBEAM wurde im April 2011 von der Firma Silicon Image für 25 Mio \$ gekauft.

Im Rahmen des WiGig Konsortiums (<http://www.wigig.org>) arbeiten inzwischen eine Reihe von Firmen an einer gemeinsamen Spezifikation für 60 GHz Kommunikationssysteme. Wichtige Vertreter sind u.a. Intel, Broadcom, Microsoft, Cisco, Nokia und Samsung. Viele WiGig Mitglieder arbeiten an eigenen Chip-Sätzen für 60 GHz Kommunikation. Andere Einrichtungen, die an solchen Lösungen arbeiten sind das IMEC (Belgien) sowie das NICT (Japan).

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass das IHP bei Si-basierten 60 GHz Technologien neben den Firmen IBM und SiBEAM nach wie vor eine internationale Spitzenstellung hält. Diese gilt es zu halten und zukünftig in konkrete Produkte umzusetzen.

III.6. Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Da das Thema 60 GHz Kommunikation nach wie vor sehr stark im Focus des wissenschaftlichen Interesses steht, ist es dem IHP gelungen, zahlreiche nationale und internationale Veröffentlichungen zu platzieren. Besonders hervorzuheben sind dabei die Beiträge zu einer Sonderausgabe des International Journal of Microwave and Wireless Technologies (IJMWT) vom April 2011 [3] sowie ein Kapitel im Buch „60 GHz Technology for Gbps WLAN and WPAN“ aus dem Jahr 2011 [15].

Im Folgenden eine Liste unserer **Veröffentlichungen der Jahre 2010 bis 2012:**

Veröffentlichungen

- [1] 60 GHz Polarimetric MIMO Sensing: Architectures and Technology, A.P. Garcia Ariza, R. Müller, R. Stephan, F. Wollenschläger, A. Schulz, M. Elkhoully, J.C. Scheytt, U. Trautwein, J. Müller, R. Thomä, M. Hein, submitted to Proc. European Conference on Antennas and Propagation, (EuCAP 2012),
- [2] 60 GHz Polarimetric MIMO Sensing: Architectures and Technology, A.P. Garcia Ariza, R. Müller, R. Stephan, F. Wollenschläger, A. Schulz, M. Elkhoully, J.C. Scheytt, U. Trautwein, J. Müller, R. Thomä, M. Hein, submitted to European Conference on Antennas and Propagation, (EuCAP 2012), Prague, March 26 - 30, 2012, Czech Republic
- [3] Special Issue on 60 GHz Wireless Communication Circuits and Systems, E. Grass, H. Schumacher, V. Ziegler, (Editors), EuMA International Journal of Microwave and Wireless Technologies 4 (2011)
- [4] 60 GHz Communication Systems: Applications, Standards and Future Research Topics, E. Grass, IWPC-Workshop on 60m GHz Short Range Wireless – What is the Future?, Berlin, May 24, 2011, Germany
- [5] Dual-Polarized Architecture for Channel Sounding at 60 GHz with Digital Phase Control based on 0.25 μm SiGe BiCMOS and LTCC Technology, A.P. Garzia Ariza, R. Muller, F. Wollenschläger, L.Xia, M. Elkhoully, Y. Sun, U. Trautwein, R.S. Thomä, Proc. European Conference on Antennas and Propagation 2011,
- [6] 60 GHz Four Channel Beamforming Transmitter in 0.25 μm , M. Elkhoully, S. Glisic, J.C. Scheytt, F. Ellinger, 2011 European Microwave Integrated Circuit Conference (EuMIC), Manchester, October 09 - 14, 2011, UK
- [7] EASY-A: Gigabit Wireless Communications in the 60 GHz ISM Band, R. Kraemer, E. Grass, 16th International OFDM-Workshop 2011 (InWo'11), Hamburg, August 31 - September 01, 2011, Germany
- [8] Fully Integrated 60 GHz Transceiver in SiGe BiCMOS, RF Modules, and 3.6. GBit/s OFDM Data Transmission, S. Glisic, J.C. Scheytt, Y. Sun, F. Herzel, R. Wang, K. Schmalz, M. Elkhoully, C.-S. Choi, International Journal of Microwave and Wireless Technologies 3(2), 139 (2011)
- [9] An On-Board Differential Patch Array Antenna and Interconnects Design for 60 GHz Applications, R. Wang, Y. Sun, Ch. Wipf, J.C. Scheytt, IEEE Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS 2011), Tel Aviv, November 07 - 09, 2011, Israel
- [10] A Fully Integrated 60 GHz Transmitter Front-End in SiGe BiCMOS Technology, S. Glisic, K. Schmalz, F. Herzel, R. Wang, M. Elkhoully, J.C. Scheytt, 11th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF 2011), Phoenix, January 17 - 19, 2011, USA
- [11] Communication Systems Operating in the 60 GHz ISM Band: Overview, E. Grass, K. Tittelbach-Helmrich, Ch.-S. Choi, F. Winkler, T. Ohlemüller, R. Kraemer, EuMA International Journal of Microwave and Wireless Technologies 4, 89 (2011)
- [12] An Integrated Differential 60 GHz Sliding-IF Receiver in SiGe BiCMOS, Y. Sun, K. Schmalz, S. Glisic, R. Wang, J.C. Scheytt, International Conference on Solid-State and Integrated Circuit (ICSIC 2011), Shanghai, March 11 - 13, 2011, China
- [13] Dual-Polarized Architecture for Channel Sounding at 60 GHz with Digital Phase Control based on 0.25 μm SiGe BiCMOS and LTCC Technology, A.P. Garzia Ariza, R. Muller, F. Wollenschläger, L.Xia, M. Elkhoully, Y. Sun, U. Trautwein, R.S. Thomä, European Conference on Antennas and Propagation 2011, Rome, April 11 - 15, 2011, Italy
- [14] 60 GHz OFDM Systems for Multi-Gigabit Wireless LAN Applications, Ch.-S. Choi, E. Grass, M. Piz, M. Ehrig, R. Kraemer, J.C. Scheytt, IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2010, Las Vegas, January 09 - 12, 2010, USA
- [15] Gbps OFDM Baseband Design and Implementation for 60 GHz Wireless LAN Applications, C.-S. Choi, M. Piz, M. Ehrig, E. Grass, 60 GHz Technology for Gbps WLAN and WPAN, Editors: Su Khiong Yong, Pengfei Xia, Alberto Valdes-Garcia, Wiley 2011.

- [16] A 360 Degree Phase Shifter for 60 GHz Applications in SiGe BiCMOS Technology, Y. Sun, J.C. Scheytt. Proc. IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS 2009),
- [17] An on-board Differential Bunny – Ear Antenna Design for 60 GHz Applications, R. Wang, Y. Sun, J.C. Scheytt, 5th German Microwave Conference 2010 (GeMiC 2010), Berlin, March 15 - 17, 2010, Germany
- [18] 60 GHz OFDM Transceiver RF Frontend Design in SiGe BiCMOS, J.C. Scheytt, S. Glisic, Y. Sun, C.S. Choi, M. Elkhoully, F. Herzel, E. Grass, Proc. IEEE Radio & Wireless Symposium 2010, (2010)
- [19] 60 GHz Self-Heterodyne Through-Repeater System with Suppressed Third-Order Intermodulation Distortion, Ch.-S. Choi, Y. Shoji, H. Ohta, IEICE Transactions on Electronics
- [20] Beamforming Circuits for 60 GHz Transceivers, M. Elkhoully, 7th Workshop on Analogue Integrated Circuit Design, Dresden, January 29, 2010, Germany
- [21] 60 GHz OFDM Systems for Multi-Gigabit Wireless LAN Applications, Ch.-S. Choi, E. Grass, M. Piz, M. Ehrig, R. Kraemer, J.C. Scheytt, Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2010 (2010)
- [22] Transceiver in Siliziumtechnologie für drahtlose Kommunikation und Sensorik bei 60 GHz und 122 GHz, J.C. Scheytt, Fakultätskolloquium der Ruhr-Universität, Bochum, March 03, 2010, Germany
- [23] Wideband OFDM System for Indoor Communication at 60 GHz, M. Piz, Promotion, BTU Cottbus (2010)
- [24] A Low-Power 60 GHz Front-End with Variable Gain LNA in SiGe BiCMOS, Y. Sun, J.C. Scheytt, Proc. IEEE Bipolar / BiCMOS Circuits and Technology Meeting (BCTM 2010), 192 (2010)
- [25] An on-board Differential Bunny – Ear Antenna Design for 60 GHz Applications, R. Wang, Y. Sun, J.C. Scheytt, Proc. 5th German Microwave Conference 2010 (GeMiC 2010), 9 (2010)
- [26] Design of Fully Integrated 60 GHz OFDM Transmitter in SiGe BiCMOS Technology, S. Glisic, Dissertation, BTU Cottbus, (2010)
- [27] 60 GHz Kommunikationssysteme - Stand der Technik und Ausblick, E. Grass, RadioTec 2010, Berlin, November 24, 2010, Germany
- [28] A Fully Integrated 60 GHz Transmitter Front-End in SiGe BiCMOS Technology, S. Glisic, K. Schmalz, F. Herzel, R. Wang, M. Elkhoully, Y. Sun, J.C. Scheytt, RadioTech, Berlin, November 24, 2010, Germany
- [29] Collaboration between 2.4/5 and 60 GHz, L. Cariou, P. Christin, S. Roblot, T. Derham, I. Toyoda, Y. Asai, K. Ishihara, T. Ichikawa, Y. Morioka, T. Booth, C. Choi, E. Grass, P. Chamberlin, IEEE 802.11 Meeting, Beijing, May 15 - 20, 2010, China
- [30] Non-Ideal Radio Frequency Front-End Models in 60 GHz Systems, C.-S. Choi, M. Piz, E. Grass, 60 GHz Technology for Gbps WLAN and WPAN, Wiley

Patente:

- [1] Verfahren u. Schaltungsanordnung zur Demodulation von DBPSK-modulierten Signalen sowie Anwendung derselben, M. Petri, E. Grass, M. Piz, IHP.349.09 EP-Erstanmeldung, am 30.11.09, AZ: 09 177 529.6

Eckhard Grass, Frankfurt (Oder), 20. Feb. 2012

Berichtsblatt

| | |
|---|--|
| 1. ISBN oder ISSN | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <i>Schlussbericht</i> |
| 3. Titel <i>60-GHz-Multimode-Chip-Satz und Demonstrator (EASY-A / IHP) - Schlussbericht</i> | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <i>Grass, Eckhard; Tittelbach-Helmrich, Klaus; Petri, Markus; Ehrig, Marcus; Glisic, Srdjan; Elkhouly, Mohamed;</i> | 5. Abschlussdatum des Vorhabens <i>Juni 2011</i> |
| | 6. Veröffentlichungsdatum <i>Feb 2012</i> |
| | 7. Form der Publikation <i>Broschüre</i> |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <i>IHP GmbH Im Technologiepark 25 15236 Frankfurt (Oder)</i> | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen <i>01BU0800</i> |
| | 11. Seitenzahl <i>17</i> |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. Literaturangaben <i>31</i> |
| | 14. Tabellen <i>3</i> |
| | 15. Abbildungen <i>10</i> |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) | |
| 18. Kurzfassung <i>Das Projekt EASY-A (01BU0800) hatte zum Ziel, neue Algorithmen, Architekturen und Schaltungen für die drahtlose Kommunikation mit höchsten Datenraten im 60 GHz-Band zu entwickeln. Im EASY-A Projektkonsortium arbeiteten 14 Partner aus Industrie und Forschung. Das EASY-A Gesamtprojekt wurde vom IHP koordiniert und war in 4 Arbeitsgruppen gegliedert. Das IHP war an allen beteiligt. Es hat die Sliding-IF Frontend Chips für 60 GHz Kommunikation entworfen (single-Chip Transmitter und single-Chip Receiver) und mit den LTCC Module und Patch Array Antennen vom IMST zu kompakten Modulen integriert. Ein 4 Gbit/s OFDM Basisbandprozessor wurde auf einer FPGA Plattform mit insgesamt vier Virtex-5 FPGAs implementiert. Mit diesem Demonstrator wird einen drahtlose Datenübertragung bei 60 GHz von 3.9 Gbit/s erreicht. Für dieselbe Plattform wurde auch ein Ranging Verfahren entwickelt, das Abstandsmessungen mit einer Genauigkeit der Einzelmessung bis ca 1.7 cm ermöglicht.. Alle wesentlichen Ergebnisse wurden auf dem EASY-A Statusseminar am 15. Oktober 2010 in München (bei BMW) und dem EASY-A Abschlusstreffen am 23.-24.03.2011 in Frankfurt (Oder) am IHP präsentiert und demonstriert. Typische Anwendungen der entwickelten Technologien bestehen in der drahtlosen Übertragung von HDTV Signalen, dem Einsatz in zukünftigen WLAN mit höchsten Datenraten und dem Einsatz in Richtfunkstrecken für die Vernetzung zukünftiger LTE- und LTE-Advanced Basisstationen.</i> | |
| 19. Schlagwörter <i>60 GHz, OFDM, sliding IF, Gbps, WLAN, IEEE802.11ad, Backhaul</i> | |
| 20. Verlag | 21. Preis |

Document Control Sheet

| | |
|--|---|
| 1. ISBN or ISSN | 2. type of document (e.g. report, publication) <i>Final Report</i> |
| 3. title <i>60-GHz-Multimode-Chip-set and Demonstrator (EASY-A / IHP) – Final Report</i> | |
| 4. author(s) (family name, first name(s)) <i>Grass, Eckhard;</i> <i>Tittelbach-Helmrich, Klaus;</i> <i>Petri, Markus;</i> <i>Ehrig, Marcus;</i> <i>Glisic, Srdjan;</i> <i>Elkhouly, Mohamed;</i> | 5. end of project <i>June 2011</i> |
| | 6. publication date <i>Feb 2012</i> |
| | 7. form of publication <i>brochure</i> |
| 8. performing organization(s) (name, address) <i>IHP GmbH</i> <i>Im Technologiepark 25</i> <i>15236 Frankfurt (Oder)</i> | 9. originator's report no. |
| | 10. reference no. <i>01BU0800</i> |
| | 11. no. of pages <i>17</i> |
| 12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. no. of references <i>31</i> |
| | 14. no. of tables <i>3</i> |
| | 15. no. of figures <i>10</i> |
| 16. supplementary notes | |
| 17. presented at (title, place, date) | |
| 18. abstract <i>The goal of project EASY-A was to develop new algorithms, architectures and circuits for wireless communication at ultra high data rates in the 60 GHz band.</i> <i>In EASY-A cooperated fourteen Institutions form industries and academia. The overall project was coordinated by IHP. It was structured into four work packages. IHP was involved in all of them.</i> <i>IHP has developed a sliding-IF front-end chip set for communications in the 60 GHz band. It consists of a single-chip transmitter and a single-chip receiver. They were integrated on a compact LTCC module with integrated antenna that was developed by IMST.</i> <i>A 4 Gbit/s OFDM Baseband Processor was developed and implemented on a FPGA Platform fitted with high-speed data converters. With this FPGA platform consisting of 4 Virtex-5 FPGAs, a 60 GHz wireless data transmission at 3.9 Gbit/s was demonstrated. A ranging technique using the same hardware resources was also implemented on this Platform. It achieves an accuracy of 1.7 cm for a single distance measurement.</i> <i>Typical applications are wireless HDTV transmission, future WLAN with ultra-high data rates and backhaul networks for future LTE- and LTE-Advanced base stations.</i> | |
| 19. keywords <i>60 GHz, OFDM, sliding IF, Gbps, WLAN, IEEE802.11ad, Backhaul</i> | |
| 20. publisher | 21. price |