Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: **IHP GmbH**	Förderkennzeichen: 16BU1220
Vorhabenbezeichnung: **Entwicklung eines HF-Frontends, Spektrumscanners und einer digitalen Basisbandsignalverarbeitung**	
Laufzeit des Vorhabens: 1.April 2012 - 30. Sep. 2015	
Berichtszeitraum: 01. April. 2012 - 30. Sep. 2015	
Projektleiter: Dr.-Ing. Sonom Olonbayar	

Inhalt

1.	**WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE UND ANDERE ERGEBNISSE**	**2**
2.	**STAND DES VORHABENS IM VERGLEICH ZUR PLANUNG**	**10**
3.	**AUSSICHTEN ZUR ERREICHUNG DER ZIELE**	**11**
4.	**FÜR DAS VORHABEN RELEVANTE ERGEBNISSE VON DRITTER SEITE**	**12**
5.	**ÄNDERUNGEN DER ZIELSETZUNG**	**12**
6.	**FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS**	**12**

Frankfurt (Oder), 13. April 2016

1. Wissenschaftlich-technische und andere Ergebnisse

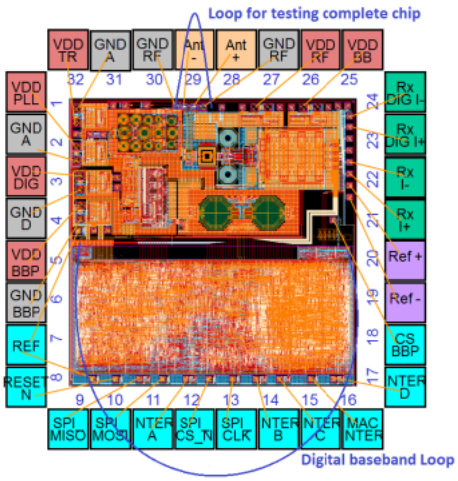
Zielsetzung

Ziel des Projektes war, ein Impuls-Radio UWB-Kommunikationssystem für die Industrieautomatisierung zu entwickeln, welches im Frequenzbereich 6 - 8 GHz arbeitet und verschiedene Datenraten von 850 kb/s bis 27.24 Mb/s unterstützt. Das gesamte System sollte weitgehend kompatibel zum Standard IEEE802.15.4a entwickelt werden und darüber hinausgehend spezifische Performanceparameter erfüllen.

Die Zielparameter sind eine Paketfehlerrate von max. 10^{-5}, eine Punkt-zu-Punkt-Verzögerung von max. 50 µs sowie eine Reichweite von mindestens 10 Metern. Ferner wurde angestrebt, das komplette IR-UWB-System als Ein-Chip-Lösung in der IHP 250 nm BiCMOS Technologie zu entwickeln.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wurde eine Ein-Chip-Lösung für das komplette IR-UWB-Funksystem erarbeitet und erfolgreich getestet. Das Funksystem, welches ein digitales Basisband und ein RF-Frontend umfasst, kann auf vier Frequenzkanälen im Frequenzbereich 6 - 8 GHz arbeiten. Das Gesamtsystem nimmt eine Siliziumfläche von 13 mm^2 ein; Abbildung 1a zeigt das Chiplayout.



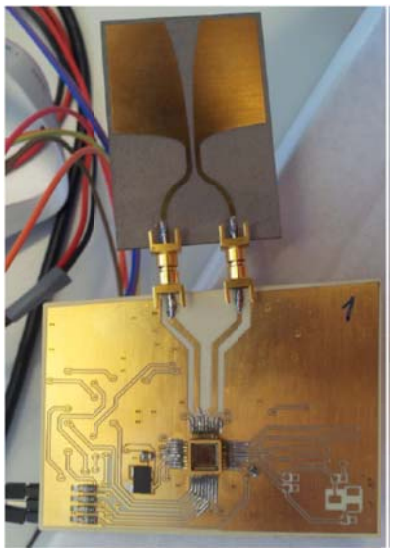


Abbildung 1a: Layout des IR-UWB-Funksystems; 1b: IR-UWB Chip auf dem Board

Für Test und Evaluierungszwecke wurde der entwickelte IR-UWB-Chip auf ein Board gebondet sowie weitere Komponenten aufgebracht bzw. angeschlossen um verschiedene Applikationsmöglichkeiten zu demonstrieren, siehe Abbildung 1b.

Wissenschaftliche Ergebnisse

Es wurde eine Ein-Chip-Lösung für ein IR-UWB-Funksystem entwickelt, welche auf vier Frequenzkanälen arbeitet und verschiedene Datenraten unterstützt. Das Funksystem stellt die weltweit erste integrierte Lösung für solch ein ultrabreitbandiges Funksystem dar, welches im Frequenzband 6 - 8 GHz arbeitet. Das Funksystem enthält ein frequenzagiles, HF-Frontend und wie geplant ein konfigurierbares digitales Basisband.

Die erzielten Ergebnisse wurden in zahlreichen Konferenzbeiträgen veröffentlicht. Die wesentlichen Veröffentlichungen im Zusammenhang des Projektes sind im Folgenden gelistet:

1. S. Olonbayar, D. Kreiser, D. Martynenko, G. Fischer, O. Klymenko, R. Kraemer "**Board implementation and its performance for IR-UWB IEEE.802.15.4a from multiple ASIC chips"** Invited paper, EW2012, April 2012, Poznan Poland

2. Dan Kreiser; Olonbayar Sonom "**Improvements of IEEE 802.15.4a for non-coherent energy detection receiver"** ISSSE 2012, Potsdam Germany, Oct 2012

3. Denys Martynenko, Gunter Fischer, Oleksiy Klymenko "**Implementation of the Ultra-Low Power Load-Independent LC VCO"** ICCAS 2012, Kuala Lumpur, Malaysia, Oct. 2012

4. Denys Martynenko, Gunter Fischer, Oleksiy Klymenko "**A Low Power Programmable Frequency Divider Intended for Frequency Synthesizer Designed in Accordance with IEEE 802.15.4a Standard"** ICCAS 2012, Kuala Lumpur, Oct. 2012

5. S. Olonbayar, D. Kreiser, R. Kraemer "**Performance and Implementation of a multi-rat baseband transceiver for IR-UWB**" ICUWB 2013, Sydney, Sep 2013

6. D. Kreiser, S. Olonbayar "**Improvements of IEEE 802.15.4a for Usage in Automation Systems"** ICEAC 2013, Istanbul, Dec 2013

7. G. Fischer, D. Martynenko, O. Klymenko, S. Olonbayar, D. Kreiser "**IR-UWB Single chip transceiver for high band operation compliant to IEEE 802.15.4a"** ICUWB2013, Sydney, Sep 2013

8. D. Martynenko, G. Fischer, O. Klymenko, D. Kreiser, S. Olonbayar "**High-band IR UWB Transmitter for IEEE802.15.4a standard"** ICUWB 2013, Sydney, Sep 2013

9. S. Olonbayar, D. Kreiser, R. Kraemer "**FPGA and ASIC Implementation and Testing of IR-UWB Baseband transceiver for IEEE802.15.4a"** ICUWB2014, Paris, Sep 2014

10. G. Fischer, D. Martynenko, O. Klymenko, S. Olonbayar and D. Kreiser "**Multi-Channel and Multi-Data Rate IR-UWB Single-Chip Transceiver compliant to IEEE 802.15"** ICUWB2014, Paris, Sep 201

11. D. Kreiser, S. Olonbayar "**Multiple Sensor Node Synchronization for Parallel UWB Communication and Ranging"** ICUWB2014, Paris, Sep 2014

12. S. Olonbayar, D. Kreiser, R. Kraemer, G. Fischer, D. Martynenko, O. Klymenko "**Polarity reception for IR-UWB in wireless fading channel"** European Wireless 2015, Budapest, Hungary, 20-22 May, 2015

13. D. Kreiser, S. Olonbayar "**Collision-free Full-duplex UWB Communication Based on the Standard IEEE.802.15.4a"** IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2015) New Orleans USA, March 2015

14. D. Kreiser "**Simple and Efficient two-way Ranging Method for IEEE802.15.4a"** 1st URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-RASC), Gran Canaria, Spain, May 2015

Mit den Ergebnissen des KUSZ-Projektes wurde eine weitere Veröffentlichung für das Magazin *Frequenz* verfasst und unter folgendem Titel veröffentlicht:

> Sonom Olonbayar, Gunter Fischer, Dan Kreiser, Denys Martynenko, Oleksiy Klymenko, Rolf Kraemer, Eckhard Grass *"***Highly reliable IR-UWB transceiver for industrial automation***"*, Frequenz 2016

Technische Ergebnisse

Da die angestrebte Bandbreite pro Kanal mit ca. 500 MHz relativ groß ist, war dies für eine Umsetzung in die IHP 250 nm BiCMOS Technologie eine große Herausforderung, da die höchste durch die ASIC-Technologie unterstützte Taktfrequenz um 600 MHz beträgt. Um diese Frequenz zu erreichen, mussten Entwurf, Simulation und Tests extrem sorgfältig ausgeführt werden. Im Folgenden werden die Herausforderungen sowohl im Basisband als auch im analogen Frontend erläutert, Lösungsstrategien vorgestellt und die erzielten Ergebnisse dargestellt.

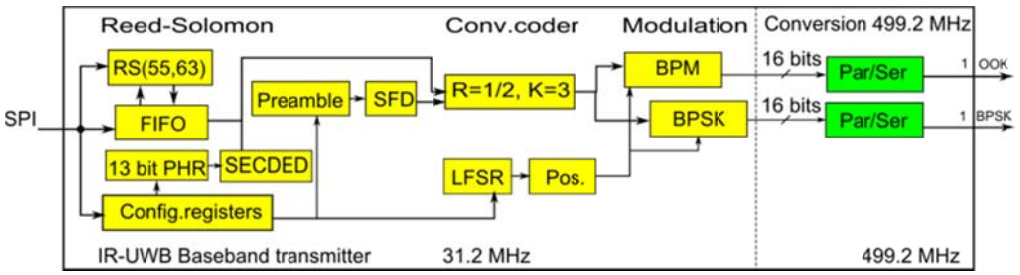


Abbildung 2. Digitaler Basisbandsender

Das Blockschaltbild des entwickelten IR-UWB-Basisband-Prozessors ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Grundfunktionen des digitalen Basisbandes laufen mit einer Taktfrequenz von 31.2 MHz; und nur ein kleiner Teil der Funktionalität, wie die Parallel-Seriell-Umwandlung (Block „Par/Ser“; im Folgenden abgekürzt Par/Ser) arbeitet mit 499.2 MHz. Da diese Frequenz nahe am Limit der ausgewählten Herstellungstechnologie liegt, musste die Funktionalität nicht nur durch Simulationen sondern auch durch Testmessungen verifiziert werden. Dafür wurde ein Testmode in das Basisband eingeführt, wobei man eine Testsequenz sendet, auf die auf der Empfängerseite nach der Ser/Par-Konvertierung zugegriffen werden kann. Unterschiedliche Sequenzen, die aus 1, 0 und -1 bestehen, wurden erprobt. Solche Tests geben einen Hinweis darauf, welche Bandbreite das realisierte IR-UWB-Funksystem unterstützt sowie ob empfängerseitig alle Testsequenzen demoduliert werden können.

Mit einer Labview-GUI kann eine Testsequenz wiederholt übertragen und am Ausgang des Ser/Par erfasst werden (siehe Abbildung 3). Durch diesen Test konnte der korrekte Empfang der Sequenzen nachgewiesen werden.

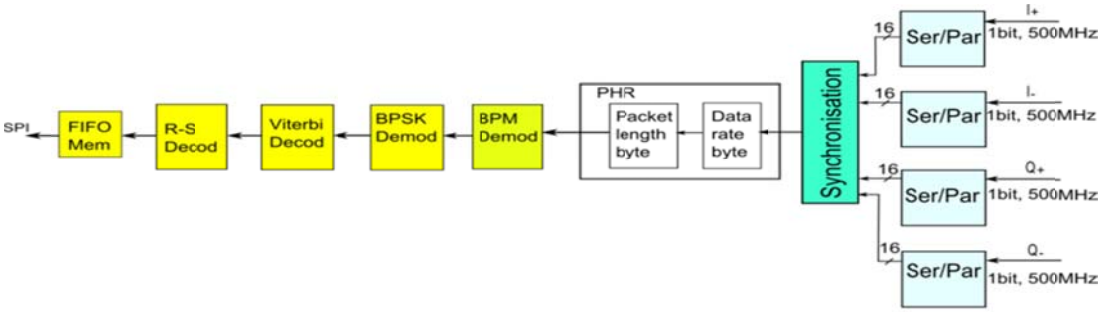


Abbildung 3. Digitaler Basisbandempfänger

Abbildung 4 zeigt das Blockschaltbild des gesamten IR-UWB-Funksystems. Der gesamte Radiofrequenz-Transceiver mit digitalem Basisband wurde in einem Chip mit einer Gesamtfläche von 13 mm^2 integriert.

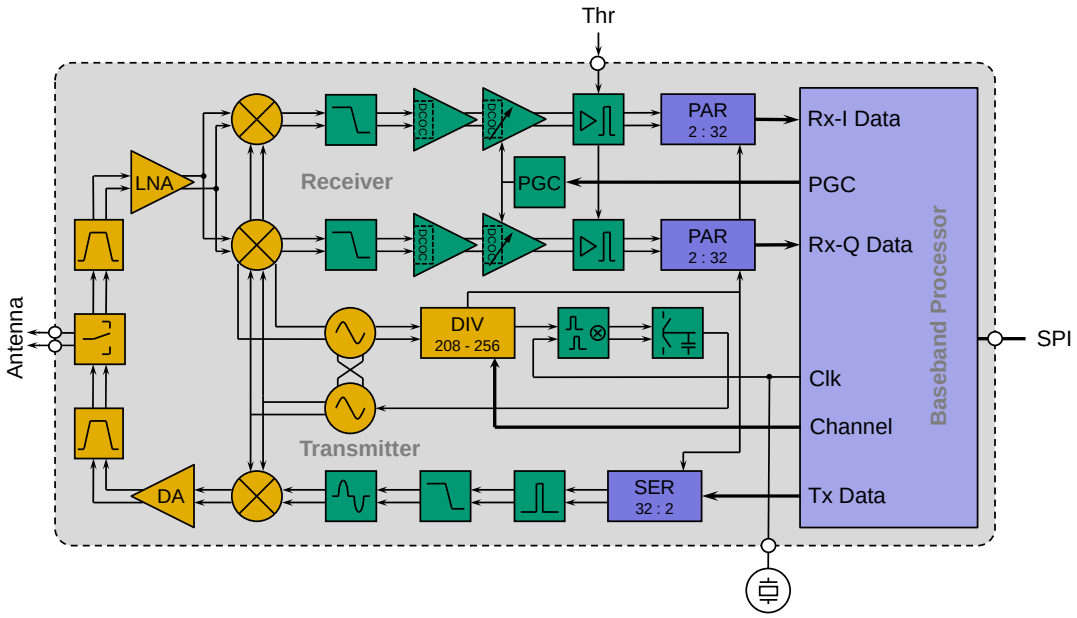


Abbildung 4. Blockschaltbild des IR-UWB-Funksystems.

Auf dem analogen Frontend ist ein programmierbarer Frequenzteiler (Block „DIV 208 - 256“) dargestellt, welcher die LO-Signale im Bereich von 6-9 GHz durch verschiedene Teilerverhältnisse erzeugt (siehe Abbildung 5). Dieses Verfahren wurde im IR-UWB-Chip eingesetzt, um die benötigten Frequenzsignale zu erzeugen.

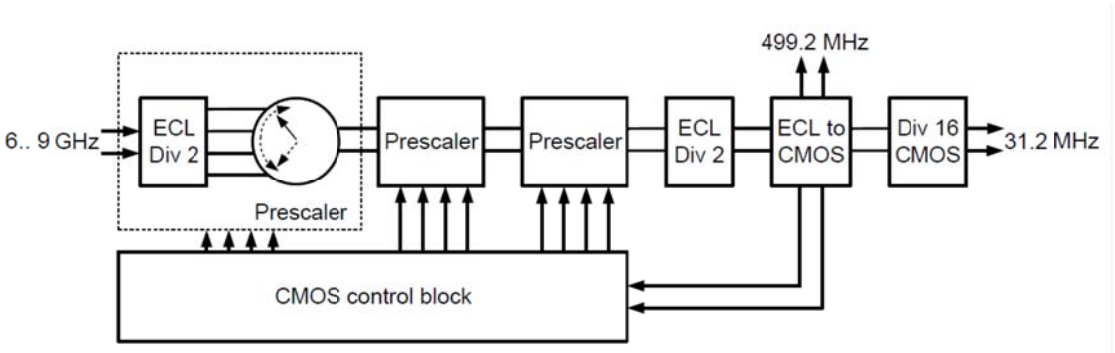


Abbildung 5: Programmierbarer Frequenzteiler

Das Frequenzspektrum des IR-UWB-Sendersignals ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Sender erzeugt Peaks auf den Mittenfrequenzen 6.4886 GHz, 6.988 GHz, 7.488 GHz und 7.9872 GHz und folgt dem Spektrum des Generators, welcher ein Referenzsignal erzeugt.

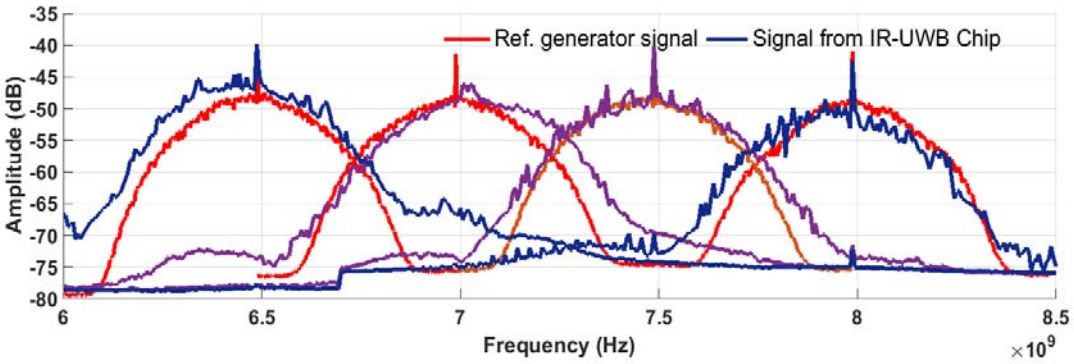
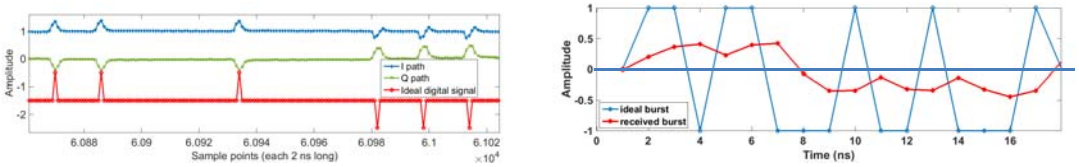


Abbildung 6. Spektrum des KUSZ IR-UWB-Senders im Vergleich zu einem Signal eines Referenzsignalgenerators

Auf der RF-Empfängerseite werden durch Down-Konvertierung I- und Q-Signale generiert, die anschließend durch einen Komparator digitalisiert werden. Da das IR-UWB-Signal extrem breitbandig ist, jedoch nur eine Dauer von 2 ns hat, muss sichergestellt werden, dass die Pulse einzeln mit ihrer Polarität empfangen werden. Dafür wurden am Empfänger zahlreiche Tests durchgeführt. Dazu wurde ein von einem standardkonformen Transmitter erzeugtes externes Signal in den Empfänger eingespeist. Die auf 499,2 MHz heruntergemischten I-/Q-Signale wurden am Eingang des Komparators aufgenommen.

Abbildung 7 a/b zeigen sowohl Präambel als auch Datenteil des erfassten Signals.



a) Präambel b) Datenteil 850 kb/s

Abbildung 7: Mit dem Probe Tektronix P7313 durch den IR-UWB-Empfänger erfasstes 850 kb/s-Signal.

Man sieht, dass der Präambelteil identisch zum idealen Signal ist. Der Datenteil folgt im Generellen dem idealen Burst. Die Phase (Polarität) der einzelnen Impulse ist nicht eindeutig zu erkennen (siehe Abbildung 7b).

Die Schnittstellen zwischen Basisband/Analog-Frontend und Basisband/MAC- Steuerung sind in Abbildung 8 illustriert, sowie alle Signale und deren Bedeutung dargestellt.

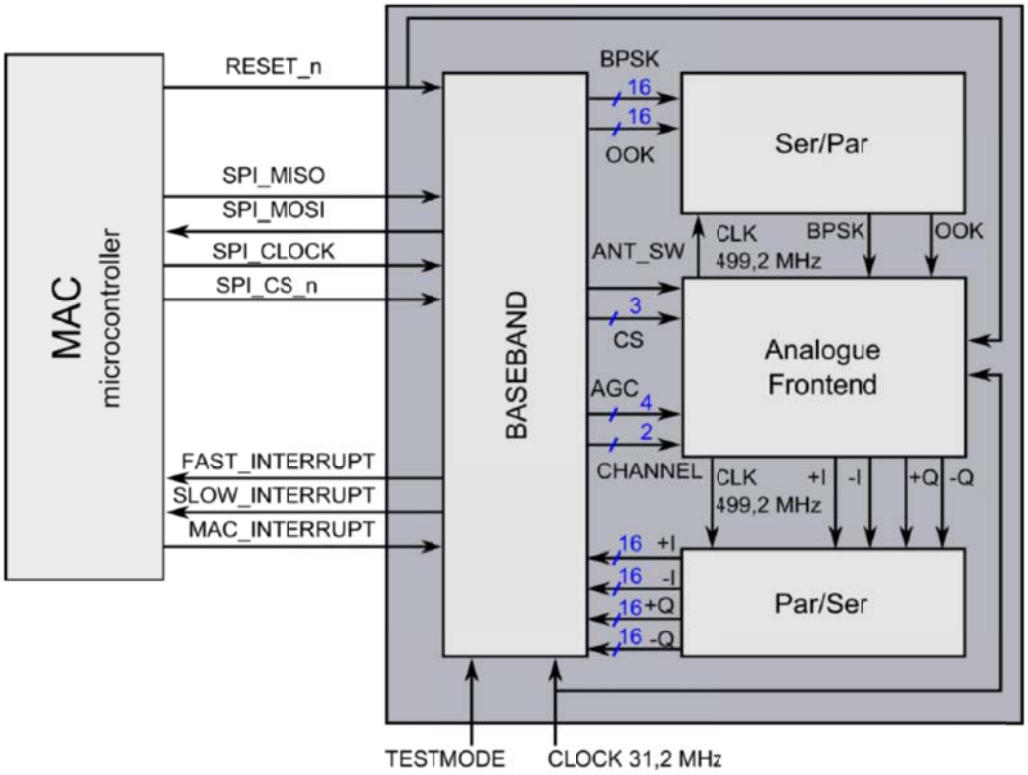


Abbildung 8. Schnittstellen zwischen dem Basisband, AFE und MAC-Steuerung

Einzelne Schaltungsteile wurden in Zwischenversionen realisiert, implementiert und getestet ehe eine vollständig integrierte Lösung realisiert wurde. Die finale Chipvariante erwies sich als prinzipiell funktionstüchtig. Daher wurden weitere Schritte vorgenommen, in denen ein Board entwickelt wurde, durch welches das IR-UWB-Funksystem mit dem Mikrokontroller-Discovery-Board STM32F4 verbunden werden kann.

Abbildung 9 zeigt das IR-UWB-Board. Es wurde so entworfen, dass man es auf das Discovery-Board STM32F4 im Huckepack befestigen kann (siehe Abbildung 10).

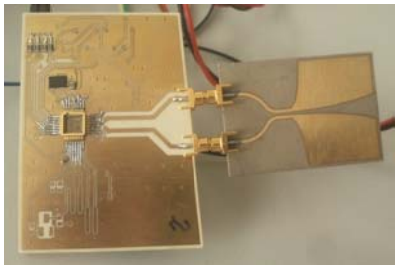


Abbildung 9 IR-UWB-Board

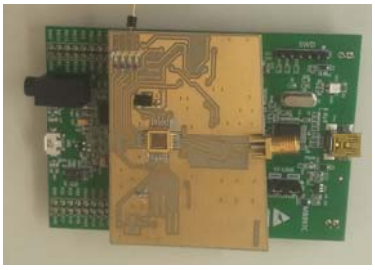


Abbildung 10. STM32F4 Discovery-Board

Auf dem Discovery-Board läuft der MAC-Algorithmus. Die Kommunikationsschnittstelle zwischen den zwei Boards wurde durch SPI realisiert. Die Pinkonfiguration der Schnittstelle ist in Tabelle 1 beschrieben. Außer den vier SPI-Leitungen gibt es weitere Signale, die vom Funksystem in das Steuerungsboard (Discovery-Board) geleitet werden. Dort werden verschiedene Interrupts ausgelöst, wie z.B. „Synchronisation“, „CRC Ok“ und „Präambel-symbol erkannt“, welche zeigen, ob Synchronisation, Datenempfang und Präambelerkennung erfolgreich waren.

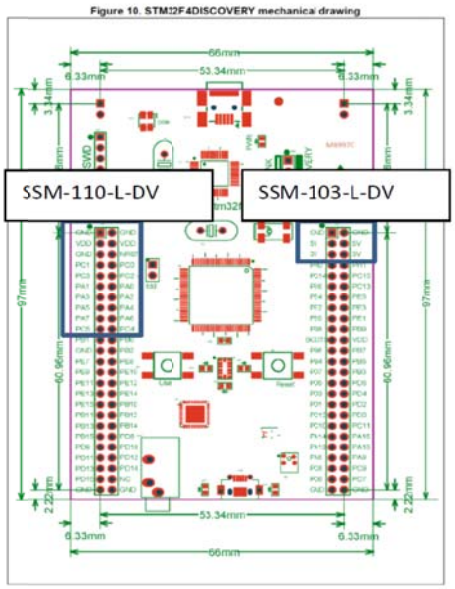


Abbildung 11: Schnittstelle zwischen MAC (STM32F4) und IR-UWB-Funksystem

Tabelle 1: Beschreibung der Signale an der Schnittstelle zwischen MAC (STM32F4) und IR-UWB-Funksystem

Description	**Pin**
RESET_n	PA1
SPI_MISO	PA6
SPI_MOSI	PA7
SOI_CSn	PA4
SPI_CLOCK	PA5
Interrupt a (Energy level received)	PB1
Interrupt b (Preamble signal recognised)	PA2
MAC Interrupt	PA3
Synch IRQ (RX_Start) or Interrupt c (Synchronisation successful)	PA0
CRC OK IRQ (RX_End) or interrupt d (Reception successful)	PB0
Data 1	PC0
Data 2	PC1
Strobe	PC2
CS_BBP (En_N Baseband Processor)	PC3
Power Supply 3.3 V	P1.3, P1.4
Power Supply 5 V	P2.3, P2.4
GND	P1: 1, 2,5, 23, 49, 50 P2: 1,2,3, 49, 50

Der MAC-Algorithmus, welcher durch das Discovery-Board realisiert wurde, versetzt das IR-UWB-Funksystem in verschiedene Modi und stellt bestimmte Parameter ein. Die wichtigsten Modi bzw. Parameter sind Sende-/Empfangsmodus, Frequenzkanal, Datenrate, Präambel-

sequenz und Präambellänge. Zuerst wurden Funktests durchgeführt, siehe Fotoaufnahmen in Abbildung 12, um zu überprüfen, ob eine Funkverbindung zwischen zwei Boards hergestellt werden kann. Bei diesen Tests wurde nur eine geringe Distanz von ca. 50 Zentimetern zwischen Sender und Empfänger gewählt.

a) Labview GUI tests

b) Test mit STM32F4 Discovery-Board

Abbildung 12. Funkverbindung zwischen zwei IR-UWB-Boards

Das IR-UWB-System unterstützt Funkverbindungen zwischen 6 – 8 GHz auf allen spezifizierten Frequenzkanälen und Datenraten über eine maximale Distanz von 5 Metern. Die Paketfehlerrate (PER) bei allen Modi liegt bei maximal 0.02. Die Tests mit der Labview-GUI und dem STM32F4-Discovery-Board lieferten ähnliche Ergebnisse. Erzielte und spezifizierte Parameter sind in Tabelle 2 vergleichend dargestellt.

Tabelle 2: Spezifizierte und erzielte Parameter des IR-UWB Funksystems

	Parameter	**Spezifiziert / Ziel**	**Gemessen / Erreicht**	**Kommentare**
1	Frequenzkanäle	6.4986 GHz 6.988 GHz 7.488 GHz 7.9872 GHz	6.4986 GHz 6.988 GHz 7.488 GHz 7.9872 GHz	Alle vorgesehene Kanäle werden unterstützt
2	Datenraten auf allen Kanälen	850 kb/s 6.81 Mb/s Cust 6.81 Mb/s 27.24 Mb/s Cust 27.24 Mb/s	850 kb/s 6.81 Mb/s Cust 6.81 Mb/s 6.81 Mb/s Cust 27.24 Mb/s	Zusätzliche Cust 6.81 Mb/s Cust 27.8 Mb/s in denen PHR schneller ist
3	Stromaufnahme Sender Empfänger	 Möglichst klein	 140 mA (at 3.3 V) 120 mA (at 3.3 V)	
4	Reichweite	10 m	3 m	
5	Paketfehlerrate (PER) Ohne Wiederholung	10^{-5}	10^{-2}	
6	Latenz (Punkt-zu-Punkt) 48 Byte-Paket	 50 µs	 68 µs	
7	Synchronisationsgenauigkeit	1 ns	2 ns	
8	Empfangssensitivität	-90 dBm	-65 dBm	

2. Stand des Vorhabens im Vergleich zur Planung

Projektziel war ein frequenzagiles IR-UWB-Funksystem, welches voll kompatibel zum Standard IEEE802.15.4a ist, jedoch striktere Parameter erfüllt. Das Funksystem soll dank seiner Robustheit in der Lage sein, in der Industrieautomatisierung angewandt zu werden.

Es wurde ein frequenzagiles IR-UWB-Funksystem erfolgreich entwickelt. Zahlreiche Teile des Systems wurden neu entworfen und realisiert. Dazu gehören: schnelle 499,2 MHz-AD-Wandler, Parallel-zu-Seriell-Konverter (Par/Ser), Seriell-zu-Parallel-Konverter (Ser/Par) sowie im Basisband die Realisierung der zusätzlichen Datenraten 6.81 Mb/s und 27.24 Mb/s. Ferner wurde der Detektionsalgorithmus entsprechend modifiziert, im Vergleich zum vorhandenen 850 kb/s-Algorithmus wurden die beiden I- und Q-Signale in die Detektion einbezogen.

Das IR-UWB-System wurde als Ein-Chip-Lösung wie geplant entwickelt und erfolgreich getestet. Das Funksystem wurde in den KUSZ-Demonstrator eingebaut, in welchem die Schnittstelle zwischen IR-UWB-Funksystem und MAC-Steuerung getestet wurde.

Das Funksystem kann wegen der hohen Paketfehlerrate (PER 0.02) in der derzeitigen Form noch nicht für die Industrieautomatisierung eingesetzt werden. Die Paketfehlerrate kann durch Paketwiederholung reduziert werden, wodurch jedoch eine erhebliche Verzögerung der Pakete resultiert, die in strengen Echtzeitanwendungen inakzeptabel ist. Es war angestrebt, eine maximale Paketfehlerrate von 10^{-5} und für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen eine maximale Verzögerung von 50 µs zu erreichen. Der Grund für die derzeit hohe Paketfehlerrate des integrierten Transceiver-Chips konnte trotz intensiver Bemühungen bislang nicht geklärt werden. Möglich Gründe werden weiterhin untersucht, um gegebenenfalls eine verbesserte Version mit IHP-internen Ressourcen zu realisieren. Dabei müssen folgende Punkte analysiert und getestet werden.

- Geeignete Kombination von Komparator-Schwellwert und -Verstärkung
- Abweichung der Trägerfrequenz vom nominalen Wert bis 160 kHz
- Komparatorgeschwindigkeit
- Symmetrie der I- und Q-Signale
- Trennung der Sende- und Empfangsantenne
- Arbeitsweise des Viterbi-Dekoders
- Ungünstige Detektion im Falle einer unerwarteten Konstellation

Es wurde die weltweit erste funktionsfähige Ein-Chip-Lösung im Frequenzband 6-8 GHz entwickelt. Da die Bandbreite des IR-UWB-Funksystems mit 499,2 MHz vergleichsweise groß ist, war es eine Herausforderung, das System in der IHP 250 nm BICMOS-Technologie zu implementieren. Hintergrund ist die höchstmögliche Taktrate der ausgewählten Technologie bei ca. 600 MHz, was für die empfängerseitig benötigte Abtastrate von 998.4 MS/s gemäß Abtasttheorie nicht ausreicht. Im Projekt konnte nur eine Taktrate von 499,2 MHz erreicht werden, was einer Abtastrate von ca. 250 MS/s entspricht. Das Missverhältnis von benötigter zu realisierter Abtastrate stellt eine deutliche Verletzung der Abtastregel dar und führt vermutlich zu einer erhöhten Paketfehlerrate. Da der Komparator das Eingangssignal abhängig vom Schwellwert, über mehr als der Hälfte der Impulsdauer aufintegriert, muss die Samplerate jedoch ausreichend hoch sein.

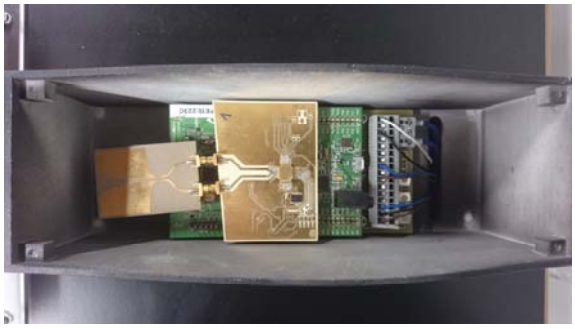


Abbildung 13. IR-UWB-Funkmodul als Slave-Node, welches auf dem Discovery-Board gesteckt ist

Der entwickelte KUSZ-Demonstrator ist in Abbildung 14 in der Draufsicht dargestellt. Als Funkmodem wurde ersatzweise ein ZigBee-Transceiver verwendet, um Datenpakete zwischen Sender und Empfänger über eine Entfernung von 50 cm zu übertragen. Die Hardware und MAC-Steuerung wurden so realisiert, dass die ZigBee-Transceiver durch ein UWB-System leicht ersetzt werden können.

Abbildung 14. KUSZ-Demonstrator

3. Aussichten zur Erreichung der Ziele

Das entwickelte IR-UWB-System kann auf allen spezifizierten Frequenzkanälen mit den vorgesehenen Datenraten 850 kb/s, 6.81 Mb/s und 27.24 Mb/s senden. Aufgrund bislang nicht identifizierter Probleme ist jedoch die gemessene Paketfehlerrate (PER) höher als geplant.

Die geplanten Ziele wie Paketfehlerrate $< 10^{-5}$ und Verzögerung < 50 µs für eine P2P-Verbindung konnten nicht vollständig erreicht werden. Momentan steht die Paketfehlerrate bei 10^{-2}, so dass weitere Arbeiten notwendig sind, um die Ursachen zu klären. Die oben genannte maximale Verzögerung wurde mit 68 µs fast erreicht, wobei weitere Optimierungen möglich sind. Insgesamt müssen noch eine Reihe von Verbesserungen im vorhandenen System vorgenommen werden.

Es hat sich gezeigt, dass das entwickelte IR-UWB-Radio grundsätzlich funktioniert und wegen der zahlreichen Eigenschaften, wie Interferenzunterdrückung und Koexistenz mit anderen Funksystemen, in verschiedenen Bereichen angewandt werden kann.

Daher wird das IHP die Entwicklung mit dem Ziel fortsetzen, das IR-UWB-System robuster, zuverlässiger und anwendungsfreundlicher zu gestalten.

Die Finanzdaten des Projekts KUSZ sind in Tabelle 3 dargestellt. Das Projekt wurde finanzmäßig wie geplant durchgeführt. Es gab in allen Kategorien kaum Abweichungen vom geplanten Budget.

Tabelle 3: Finanzdaten der geplanten und entstandenen Mittel

Position	**Gesamtfinanzierungsplan Euro (€)**	**Entstandene Kosten Euro (€)**	**Kommentare**
Beschäftigte E12-E15	810.462,00	809.121,67	
Beschäftigte E1-E11	21.480	20.439,89	
Verbrauchsmaterial	130.398,80	129.374,79	
Gemeinkosten	83.194,20	82.956,16	
Dienstreisen	21.970	25.823,31	
Summe	1.067.715,82	1.067.505,00	

4. Für das Vorhaben relevante Ergebnisse von dritter Seite

Relevante Ergebnisse von dritter Seite wurden nicht bekannt.

5. Änderungen der Zielsetzung

Es waren keine Änderungen in der Zielsetzung notwendig.

6. Fortschreibung des Verwertungsplans

Durch das KUSZ-Projekt wurde ein funktionsfähiges IR-UWB-Funksystem entwickelt. Weitere Entwicklungsschritte und Einsatzmöglichkeiten sind durch Demonstratoren darzustellen. Ferner werden Optimierungen in Hinblick auf Stromaufnahme, Erweiterbarkeit mit zusätzlichen Eigenschaften und Performancesteigerung vorgenommen. Durch Kooperation mit Industrieunternehmen werden verschiedene industrielle Applikationsfelder getestet.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) **Schlussbericht**

3. Titel

Entwicklung eines HF-Frontends und einer digitalen Basisbandsignalverarbeitung für IR-UWB Funksystem für Industrieautomatisierung

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens **30.09.2015**
Olonbayar, Sonom	6. Veröffentlichungsdatum **13.04.2016**
	7. Form der Publikation **Schlussbericht**
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) **IHP-GmbH** **Im Technologiepark 25** **15236 Frankfurt (Oder)**	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16BU1220
	11. Seitenzahl **12**
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) **BMBF**	13. Literaturangaben **0**
	14. Tabellen **3**
	15. Abbildungen **14**

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)
Technische Informationsbibliothek

18. Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes KUSZ wurde eine Ein-Chiplösung für ein IR-UWB Funksystem entwickelt. Das Funksystem arbeitet in vier Frequenzkanälen im 6-8 GHz-Band und unterstützt auf allen Kanälen die Datenraten 850 kb/s, 6.81 Mb/s und 27.24 Mb/s. Das komplette System mit einer Siliziumfläche von 13 mm^2, welche in 250 nm BiCMOS Technologie realisiert ist, umfasst ein analoges Frontend und ein digitales Basisband. Es stellt die weltweit erste Ein-Chiplösung dar, die im oben genannten Frequenzband arbeitet. Für Kommunikations- und Steuerungszwecke integriert das System eine SPI-Schnittstelle. Das Funksystem bietet momentan eine Reichweite von ungefähr 3 m und erreicht dabei eine Paketfehlerrate von 10^{-2}. Mit dem IR-UWB kann eine schnelle drahtlose Verbindung mit einer Latenz kleiner 50 µs für eine Punkt zu Punkt-Verbindung hergestellt werden.

19. Schlagwörter
IR-UWB, Analoge Frontend, Basisband, Synchronisation, Paketfehlerrate, Latenz

20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report

3. title

Developing a single chip solution for IR-UWB wireless system to be applied for industrial automation

4. author(s) (family name, first name(s))	5. end of project
Olonbayar, Sonom	**30.09.2015**
	6. publication date **30.04.2016**
	7. form of publication **Report**
8. performing organization(s) (name, address) **IHP-GmbH** **Im Technologiepark 25** **15236 Frankfurt (Oder)**	9. originator's report no.
	10. reference no. 16BU1220
	11. no. of pages **12**
12. sponsoring agency (name, address) **Federal Ministry of Education and Research (BMBF)** **Germany**	13. no. of references **0**
	14. no. of tables **3**
	15. no. of figures **14**

16. supplementary notes

17. presented at (title, place, date)
Technische Informationsbibliothek

18. abstract

Complete physical layer for impulse radio ultra wideband (IR-UWB) was implemented in 250 nm BiCMOS technology. This wireless system realized as a single chip contains analogue frontend operating at four frequency channels in the band 6-8 GHz and a digital baseband. It is fully compatible to IEEE802.15.4a standard and supports data rates 850 kb/s, 6.81 Mb/s and 27.24 Mb/s at all frequency channels. It presents a worldwide first single chip ASIC solution in the frequency band mentioned. The entire layout of the physical layer requires a silicon area of 13 mm^2. It possesses a SPI interface for configuring it in various modes. The current implementation offers a communication range of around 3 m achieving the packet error rate of 10^{-2}. Furthermore it can establish wireless connection fast for point to point communication the latency being approximately 50 µs at the physical layer.

19. keywords
Impulse Radio, digital baseband, analogue frontend, packet error rate, synchronization

20. publisher	21. price