



R E P O R T

Forschungsvorhaben

*Bestimmung der Exposition durch Ultra-
Wideband Technologien*

Teil 1 (Arbeitspaket 1):

Bestandsaufnahme

Gernot Schmid, Georg Neubauer

Juli 2007
Exemplar 1
ARC-IT-0212

Verteiler:

- 1-4 Bundesamt für Strahlenschutz
- 5 DI Lamedschwandner
- 6 DI Schmid
- 7 Dr. Neubauer
- 8-9 Sekretariat ARCS/IT

Bestimmung der Exposition durch Ultra Wideband Technologien

1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben Arbeitspaket 1 : Bestandsaufnahme

im Auftrag des

**Bundesamtes für Strahlenschutz
38201 Salzgitter, Deutschland**

Gernot Schmid, Georg Neubauer

Austrian Research Centers GmbH – ARC
Bereich Smart Systems
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation

Verfasser:

Dipl. Ing. Gernot Schmid
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation, Bereich Smart Systems
Austrian Research Centers GmbH-ARC
A-2444 Seibersdorf

Dipl. Ing. Dr. Georg Neubauer
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation, Bereich Smart Systems
Austrian Research Centers GmbH-ARC
A-2444 Seibersdorf

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht gibt eine kurze Einführung in die Grundlagen der „Ultra Wideband (UWB)“ Technik, die in den nächsten Jahren die Basis für eine Reihe von Drahtlos-Anwendungen sowohl im Bereich der Datenkommunikation und der Consumer-Elektronik, als auch in den Bereichen Personen- und Objektidentifikation und -ortung, sowie auch im Bereich der Medizintechnik darstellen wird. Neben dem Grundprinzip der UWB-Technik, basierend auf der Aussendung sehr kurzer Impulse mit Impulsdauern im Bereich von wenigen Nanosekunden und darunter, werden auch die Grundzüge einiger speziell für die hochbitratige Datenübertragung über kurze Distanzen entwickelte UWB-Übertragungsverfahren wie *Direct Sequence - UWB (DS-UWB)* und *Multiband-OFDM-UWB (MB-OFDM-UWB)* erläutert.

Die breite kommerzielle Einführung von UWB-Anwendungen auf dem europäischen Markt wurde bisher einerseits durch die bis vor kurzem noch ungeklärte funkregulatorische Situation und andererseits durch konkurrierende Industrieinteressen im Hinblick auf einen einheitlichen UWB-Standard für die Datenkommunikation verzögert. Nach einigen strategischen Entscheidungen großer Firmen aus der Industrie im Jahr 2006 und der Entscheidung der Europäischen Kommission vom Februar 2007 über die Frequenznutzung durch UWB-Anwendungen dürften diese Hemmnisse nun größtenteils beseitigt sein. Es kann daher erwartet werden, dass im Laufe des Herbst 2007 die ersten UWB-Produkte in Europa kommerziell erhältlich sein werden. Die ersten verfügbaren Produkte werden vermutlich drahtlose Schnittstellen für Computer und zugehöriger Peripherie, wie z.B. Drucker, externe Harddisks, Mobiltelefone, PDAs, MP3-Player, Video-Beamer, Kameras, Scanner, usw. sein („Wireless USB“). Zunehmend werden diese Schnittstellen dann auch in die genannten Endgeräte integriert werden. Weitere Anwendungsgebiete werden drahtlose Verbindungen im Home-Entertainment Bereich (z.B. drahtloses „Home Cinema“) sein. Neben diesen auf den Massen-Consumer-Elektronik-Markt abzielenden UWB-Anwendungen wird die UWB-Technologie aber auch für Geräte bzw. Systeme zur Personen- und Objektortung, Personen- und Objektidentifikation, sowie zur Objektverfolgung und Kollisionsvermeidung wichtig werden. Auch medizintechnische Anwendungen, wie z.B. drahtloses Monitoring von Patientendaten bzw. die drahtlose Kommunikation mit bzw. zwischen am Körper positionierten Sensoren (Wireless Body Area Networks) werden künftig auf UWB-Technik basieren. Die Sendeleistung der UWB-Geräte wird zur Vermeidung von Interferenzen mit anderen Funkdiensten relativ gering sein (deutlich unter 1 mW). Trotzdem kommt der Expositionserfassung, vor allem im Bereich der unmittelbar am Körper betriebenen UWB-Sender, eine bedeutsame Rolle im Hinblick auf die bisher kaum untersuchte Frage der Absorptionsverhältnisse in den naturgemäß dispersiven Körpergeweben bei Ultra-Breitband-Befeldung zu.

INHALT

1 EINLEITUNG	3
2 DIE „ULTRA-WIDEBAND“ TECHNOLOGIE	4
2.1 Definition des Begriffes „Ultra-Wideband“	4
2.2 Allgemeine physikalische Eigenschaften von UWB-Signalen	4
2.2.1 Möglichkeit hoher erzielbarer Datenraten	4
2.2.2 Robustheit gegenüber Effekten zufolge Mehrwegeausbreitung	6
2.2.3 Durchdringung von Objekten	7
2.2.4 Möglichkeit präziser Ortung	7
2.3 Spezielle UWB-Übertragungsverfahren	8
2.3.1 Das Impulsradio-Verfahren	8
2.3.2 Direct Sequence UWB (DS-UWB)	12
2.3.3 Multiband-OFDM UWB (MB-OFDM-UWB)	13
3 DIE FUNKREGULIERUNG FÜR UWB	16
3.1 Situation in den USA	16
3.1.1 Indoor UWB-Systeme	16
3.1.2 Hand held UWB-Systeme	18
3.1.3 Weitere UWB-Systeme nach FCC Regulierung	19
3.2 Situation in Europa	20
4 UWB-STANDARDISIERUNG	23
4.1 Allgemeines	23
4.1.1 Das UWB-Forum	23
4.1.2 Die WiMedia Alliance	23
4.1.3 Die Arbeitsgruppe IEEE 802.15a	24
4.1.4 ETSI-Standards für unterschiedliche Produktgruppen	24
5 UWB-ANWENDUNGEN	26
5.1 UWB-Anwendungen zu Kommunikationszwecken	26
5.1.1 Bereits kommerziell verfügbare Anwendungen	26
5.1.2 Absehbare UWB-Anwendungen in der Kommunikationstechnik	26
5.2 UWB-Anwendungen für Ortungs- und Identifikationszwecke	27
5.2.1 Bereits kommerziell verfügbare Anwendungen	27
5.2.2 Absehbare Anwendungen für Ortungs- und Identifikationszwecke	28
6 WEITERES VORGEHEN IM PROJEKT	29
7 LITERATUR	30

1 EINLEITUNG

„Ultra Wideband“ (UWB) ist in den vergangenen Jahren zu einem der prominentesten Schlagworte auf dem Gebiet der modernen Drahtloskommunikation geworden. Obwohl der Begriff relativ neu erscheint, ist die physikalische Grundidee der UWB-Technologie schon eine relativ alte, die in unterschiedlichen Ausprägungen seit mehr als 40 Jahren (vor allem im militärischen Bereich) Anwendung findet. Hinzugefügt muss natürlich werden, dass der gegenwärtig im Zusammenhang mit neuen und künftigen Anwendungen in der Kommunikationstechnik verwendete „UWB“-Begriff natürlich (zumindest größtenteils) auf gänzlich andere Anwendungen abzielt als es jene aus der Zeit der Anfänge der UWB-Technologie waren. Ursprünglich für militärische Zwecke, vor allem für die abhörsichere (weil schwer bzw. nicht detektierbare) Funkkommunikation in den USA entwickelt, kamen nach und nach auch Anwendungen im Bereich der Objekt-Ortung (UWB-Radar) und Identifikation dazu. Die künftigen Anwendungen der modernen UWB-Technologie werden jedenfalls sehr vielfältig sein. Das größte Marktpotenzial wird von der UWB-basierten Breitbandkommunikation erwartet, nach deren Einführung Kurzstrecken-Datenkabelverbindungen (im Bereich bis zu ca. 10 m) schon bald der Vergangenheit angehören könnten. Daten-, Audio-, und Videoübertragung zwischen nicht allzu weit (einige Meter) voneinander entfernten Geräten (z.B. Computer und Beamer, Komponenten von Heimkinosystemen, Computer und zugehörige Peripherie, wie z.B. externe Speichermedien) werden durch erzielbare Übertragungsraten von mehreren hundert MBit/s (teilweise bis in den GBit/s-Bereich) in nicht allzu ferner Zukunft auch drahtlos möglich sein. Aber nicht nur auf dem Gebiet der Drahtloskommunikation wird die moderne UWB-Technik neue Anwendungen ermöglichen. Vielversprechend sind auch UWB-Radaranwendungen im Verkehrstechnik-Sektor mit deren Hilfe Kollisionsvermeidung und Kommunikation von verkehrstechnisch relevanten Informationen gleichzeitig erfolgen kann. Aufgrund der besonderen Eigenschaften von UWB-Signalen ist auch die Objektdetektion und Identifikation ein viel versprechendes Anwendungsfeld. Hierzu zählen Systeme im Bereich der Personenkontrolle (z.B. Detektion von gefährlichen Gegenständen), im Bereich der Medizintechnik (z.B. Detektion von Tumoren), sowie im RFID-Bereich. Das Zukunftspotenzial der UWB-Technologie erscheint jedenfalls beeindruckend.

Im Rahmen dieses Berichts wird zunächst eine kurze, allgemeinverständliche Einführung in die UWB-Technologie und deren physikalische Grundlagen gegeben. Daran anschließend werden der aktuelle Stand der Funkregulierung für UWB, sowie der Status im Hinblick auf einen einheitlichen UWB-Standard für die Datenkommunikation dargelegt. Abschließend wird eine Übersicht über konkrete, bereits absehbare Anwendungen gegeben, wobei der Schwerpunkt auf jene Applikationen gelegt wurde, bei denen eine relevante Exposition von Personen gegenüber den elektromagnetischen Feldern der UWB-Geräte nicht ausgeschlossen werden kann. Nur am Rande erwähnt werden medizinische und militärische UWB-Anwendungen.

2 DIE „ULTRA-WIDEBAND“ TECHNOLOGIE

2.1 Definition des Begriffes „Ultra-Wideband“

Bezüglich des Begriffes "Ultra Wideband" bestehen teilweise Auffassungsunterschiede. Aus technischer Sicht haben die ersten UWB-spezifischen funkregulatorischen Festlegungen durch die US-amerikanische *Federal Communications Commission (FCC)* im Jahr 2002 [1] diese Begriffsunsicherheit zunächst geklärt. Dieses Dokument definiert die relative Mindestbandbreite b_{min} bzw. die absolute Mindestbandbreite B_{min} von "Ultra Wideband" Systemen als

$$b_{min} = 2 \frac{f_o - f_u}{f_o + f_u} \geq 0.2 \quad \text{bzw.} \quad B_{min} = f_o - f_u \geq 500 \text{MHz},$$

wobei f_o bzw. f_u die obere bzw. untere Grenzfrequenz (als 10dB-Grenzfrequenz festgelegt) des Sendespektrums sind (Abbildung 2.1). Dies bedeutet, dass gemäß den Definitionen der *FCC* nur solche Systeme zur UWB-Technologie gezählt werden, deren relative Bandbreite mindestens 20% oder deren absolute Bandbreite mindestens 500 MHz beträgt.

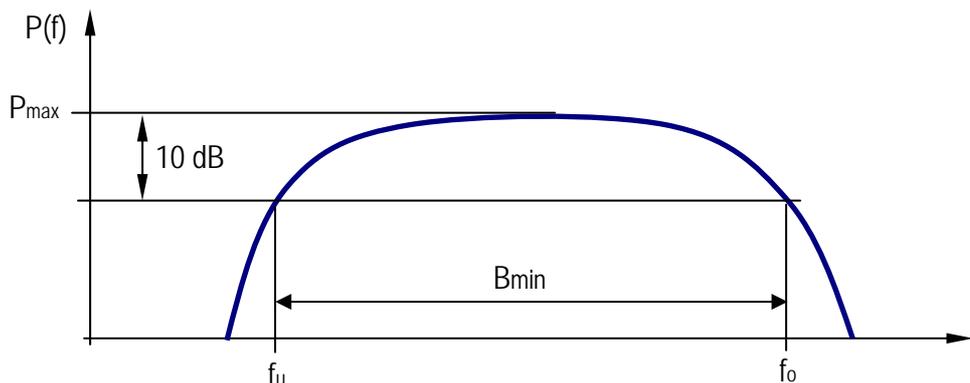


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung eines Sendespektrums zur Definition des Begriffes "Ultra Wideband" gemäß [1].

Diese Definition von „Ultra Wideband“ findet sich heute in praktisch der gesamten einschlägigen Literatur. Umso überraschender erscheint es in diesem Zusammenhang, dass die aktuelle Entscheidung der Europäischen Kommission 2007/131/EG vom 21. Februar 2007 [3] Geräte mit einer Mindestbandbreite von (nur) 50 MHz als „Ultrabreitbandgeräte“ definiert (siehe Kapitel 3.2).

2.2 Allgemeine physikalische Eigenschaften von UWB-Signalen

Der Grund warum die UWB-Technologie so große Attraktivität für eine Reihe von Anwendungen besitzt, liegt an den folgenden für die UWB-Technologie charakteristischen Eigenschaften.

2.2.1 Möglichkeit hoher erzielbarer Datenraten

Eine der größten Herausforderungen für die moderne Drahtlos-Kommunikation ist die Befriedigung des ständig steigenden Bedarfs an Übertragungsgeschwindigkeit bei gleichzeitig naturgemäß begrenzten spektralen Ressourcen. Der fundamentale Zusammenhang zwischen theoretisch erzielbarer Übertragungsrate und den

Eigenschaften des Übertragungskanals wird durch die von Shannon gefundene, berühmte Beziehung für die Kanalkapazität C beschrieben:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

wobei B die Bandbreite und der Term S/N das Verhältnis der Signalleistung S zur Rauschleistung N angibt (im Englischen meist als *Signal to Noise Ratio SNR* bezeichnet). Geht man davon aus, dass die Rausch- bzw. Störleistung üblicherweise fremdbestimmt ist und nicht, bzw. nur schwer beeinflusst werden kann, ist aus dieser einfachen Beziehung leicht abzulesen, dass nur mehr zwei Möglichkeiten bleiben die Übertragungskapazität zu steigern. Nämlich entweder durch Erhöhung der Signalleistung oder durch Erhöhung der Bandbreite. Allerdings zeigt Gleichung (1) auch, dass die Kanalkapazität C linear mit der Bandbreite B , aber nur logarithmisch mit dem SNR ansteigt. D.h., die Erhöhung der Bandbreite ist die wesentlich effizientere Maßnahme zur Erreichung einer Kanalkapazitätserhöhung im Vergleich zur Erhöhung der Signalleistung. Auch aus praktischen Gesichtspunkten im Hinblick auf die oft batterie- bzw. akkubetriebenen Endgeräte der modernen Kommunikationstechnik wäre eine Erhöhung der Signalleistung die weniger vorteilhafte Option.

In der Vergangenheit wurde auf Basis konventioneller Funktechnologien dem steigenden Bedarf an Übertragungskapazität und spektraler Bandbreite vor allem durch das Vorrücken zu immer höheren Frequenzen Rechnung getragen¹. Das Ergebnis dieser Entwicklung ist der gegenwärtige Zustand eines dicht besetzten Spektrums, in dem den unterschiedlichen Funkdiensten separate, relative schmale Frequenzbereiche zugeordnet sind, in denen sie mit relativ großer spektraler Sendeleistungsdichte operieren.

Der Ansatz der UWB-Technologie ist dagegen gänzlich anders. Angesichts des in allen sinnvoll nutzbaren Frequenzbereichen bereits dicht mit schmalbandigen Funkdiensten belegten Spektrums wird mit UWB versucht die Ressource des elektromagnetischen Spektrums "parallel" zu nutzen, indem man mit extrem großen Bandbreiten bei gleichzeitig sehr niedriger spektraler Leistungsdichte operiert. UWB-Anwendungen nutzen daher Spektralbereiche, die eigentlich (zumeist sogar durch Lizenzen) einer ganzen Reihe anderer Funkdienste zugeordnet sind. Durch die sehr geringe spektrale Leistungsdichte von UWB-Anwendungen wirken diese für die parallel dazu betriebenen Schmalbandanwendungen praktisch nur als Rauschen und sollten daher zu keinen Interferenzen führen (Abbildung 2.2).

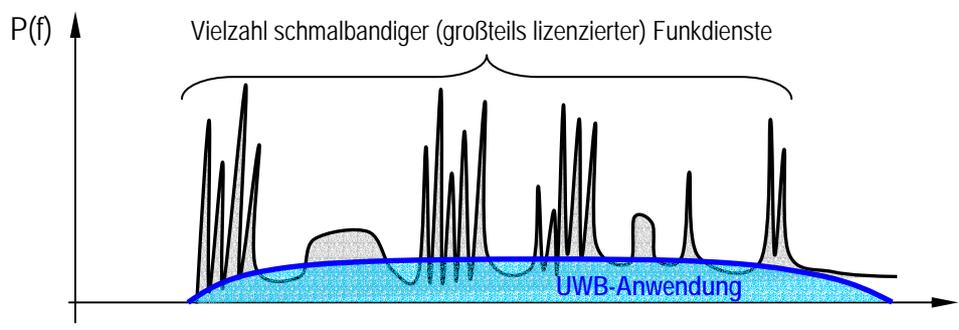


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung der "parallelen" Nutzung des Spektrums von Schmalbandfunkdiensten und UWB-Anwendungen

¹ Das Vorrücken zu immer höheren Frequenzen bringt auch praktische Probleme mit sich, da sich die Wellenausbreitung mit steigender Frequenz immer mehr optischen Gesetzmäßigkeiten annähert. Dies bringt bei Frequenzen größer ca. 2-3 GHz immer mehr Probleme hinsichtlich der Durchdringung von Wänden und in *Non-Line-of-Sight* Situationen.

Die Tatsache, dass die Betreiber der herkömmlichen Schmalbandfunkdienste teilweise enorme Summen für Lizenzen zur exklusiven Nutzung des ihnen zugeordneten Frequenzbereiches bezahlt haben, und künftig UWB-Anteile in ihren Frequenzbereichen dulden müssen, ist zwar physikalisch irrelevant, hat aber Auswirkungen auf den Regulierungsprozess (siehe Kapitel 3).

Die Tatsache der enorm großen spektralen Bandbreite ist jedenfalls die Basis für das Potenzial von UWB-Anwendungen in den Übertragungsgeschwindigkeitsbereich von mehreren hundert Mbit/s bis einige Gbit/s vorzustoßen. Die Tatsache, dass die spektralen Sendeleistungsdichten zur Vermeidung von Interferenzen mit anderen Funkdiensten auf sehr geringe Werte beschränkt bleiben müssen, legt aber gleichzeitig auch den relativ eingeschränkten Aktionsradius von UWB-Datenverbindungen auf typische Indoor- bzw. Handheld-Bereiche fest (typisch 10 m).

2.2.2 Robustheit gegenüber Effekten zufolge Mehrwegeausbreitung

Neben der oben behandelten fundamentalen Erhöhung der Übertragungskapazität bietet die große Sendebandbreite von UWB aber auch noch weitere Vorteile. Einer dieser Vorteile ist die Robustheit gegenüber nachteiligen Effekten der Mehrwegeausbreitung. Mehrwegeausbreitung von elektromagnetischen Wellen verursacht zwei wesentliche funktechnische Probleme. Einerseits führt die Mehrwegeausbreitung zu konstruktiver und destruktiver Interferenz, wobei letztere zu sogenannten "Funklöchern" führt, d.h., Raumbereiche mit sehr geringer (zu geringer) Empfangsfeldstärke. Dieser als *Fading* bekannte Effekt führt bei schmalbandigen Funkdiensten zu Problemen, die, wenn überhaupt, nur durch aufwändige spezielle Maßnahmen (z.B. Diversity-Antennen) bekämpft werden können. Da Wellenausbreitungsphänomene grundsätzlich stark frequenzabhängig sind, besteht für sehr breitbandige Übertragungssysteme wie UWB eine inhärente Robustheit gegenüber Fading-Problemen, da davon ausgegangen werden kann, dass in jedem Raumpunkt zumindest ein bestimmter Teilbereich des gesamten Sendespektrums in ausreichender Empfangsfeldstärke vorliegt. Sehr anschaulich dargestellt wurde dies beispielsweise in [4], einer Arbeit die sich allgemein mit der Kanalcharakterisierung und Modellierung von MIMO (Multiple Input Multiple Output) und UWB-Systemen befasste. Anhand einer zweidimensionalen Wellenausbreitungsberechnung wurden dabei die Vorteile von sehr breitbandigen Systemen wie UWB gegenüber schmalbandigen wie z.B. WLAN im Hinblick auf die Empfangsfeldstärkeverteilung gezeigt (Abbildung 2.3). Es wurde ein Szenario mit zwei Ausbreitungspfaden in einer Fläche von 2 x 1 Meter untersucht. Der Sender ist an der Position (0/0) außerhalb des in Abbildung 2.3 dargestellten Bereichs positioniert, 1,5 m unterhalb des untersuchten Szenarios befindet sich eine perfekt leitende Ebene. Während beim WLAN Signal infolge der destruktiven Interferenz lokale Unterschiede der Signalstärke von bis zu 22 dB beobachtet wurden, sind die Verhältnisse bei UWB wesentlich günstiger.

Das zweite durch Mehrwegeausbreitung verursachte Problem ist die sogenannte Intersymbolinterferenz (ISI). Dies ist der Effekt, dass zeitlich schnell aufeinander folgend gesendete Symbole durch Laufzeitunterschiede (zufolge Mehrwegeausbreitung) am Empfangsort zeitlich überlappen. Bei Schmalbandsystemen führt dies zwangsläufig zur Verzerrung der empfangenen Symbole, die durch aufwändige Entzerrer (Equalizer) wieder wettgemacht werden muss. Die bei UWB-Anwendungen üblichen, gleichzeitig auch die große Bandbreite bewirkenden, extrem kurzen ausgesendeten Impulse (Symbole) mit Längen teilweise

im Sub-Nanosekundenbereich, erlauben relativ lange Pausen zwischen den einzelnen aufeinander folgenden Impulsen (Symbolen), selbst bei sehr hohen Symbolraten von mehreren hundert Megasymbolen pro Sekunde. Dies bedeutet naturgemäß große Robustheit im Hinblick auf ISI.

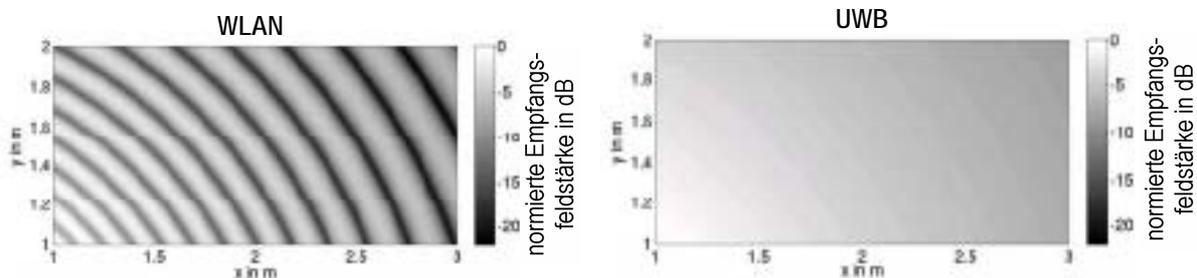


Abbildung 2.3: Vergleich der Interferenzen zufolge Mehrwegeausbreitung bei einem WLAN (links) und einem UWB Signal (rechts) aus [4]

2.2.3 Durchdringung von Objekten

Die elektromagnetische Durchdringung von Objekten ist ebenfalls stark frequenzabhängig, wobei grundsätzlich tiefe Frequenzen Objekte besser durchdringen als hohe Frequenzen. Aufgrund der großen Bandbreite und der damit verbundenen relativ niederfrequenten Spektralanteile von UWB-Systemen ergeben sich daher für ein UWB-System im Allgemeinen wesentlich bessere Durchdringungseigenschaften als für ein Schmalbandsystem mit gleicher Mittenfrequenz. Besonders vorteilhaft kann dies beispielsweise in Anwendungen zur Ortung von Objekten im Boden oder Wänden oder zur Ortung verschütteter Personen eingesetzt werden. Praktische Voraussetzung dafür ist jedoch ein UWB-Spektrum, das noch genügend niederfrequente Spektralanteile besitzt (im Hinblick auf die frequenzabhängigen Eigenschaften des zu durchdringenden Materials). Zur Ortung von Objekten im Boden bzw. verschütteter Personen werden aus praktischen Gründen Spektralanteile deutlich kleiner als 3 GHz erforderlich sein. Da auf Basis der derzeitigen Regulierungssituation (siehe Kapitel 3) für die erste Generation von UWB-Datenkommunikationssystemen nur Systeme im Frequenzbereich oberhalb von 3 GHz zu erwarten sind, werden diese UWB-Systeme keinen Vorteil hinsichtlich der Durchdringung von Wänden im Vergleich zu den derzeitigen Datenfunkdiensten (wie z.B. WLAN) besitzen [3].

2.2.4 Möglichkeit präziser Ortung

Ein weiteres Potenzial der UWB-Technologie liegt in der Möglichkeit einer sehr präzisen Objektortung. Aufgrund der von einem UWB-Sender ausgesendeten extrem kurzen Impulse ergibt sich eine sehr hohe erreichbare Laufzeit-Auflösung in entsprechend positionierten Empfängern. Mit UWB-Systemen im Frequenzbereich 3,1-10,6 GHz sind erreichbare Auflösungen im Bereich von Zentimetern und darunter denkbar [3]. Die Kombination von präziser Ortung (und in weiterer Folge natürlich auch Verfolgung) und gleichzeitiger Datenübertragung ist eine der besonderen Attraktivitäten der UWB-Technologie, die für eine Vielzahl von Anwendungen besonders wertvoll erscheint.

2.3 Spezielle UWB-Übertragungsverfahren

Der Begriff "UWB-Technologie" ist ein relativ allgemeiner und umfasst nicht nur Anwendungen auf dem Gebiet der Datenkommunikation, sondern auch viele andere, bereits weiter oben erwähnte und in Kapitel 5 näher beschriebene Applikationen. Dementsprechend sind von den künftigen UWB-Anwendungen auch unterschiedliche Übertragungsverfahren bzw. unterschiedliche Sendecharakteristiken zu erwarten. Im Folgenden sollen drei unterschiedliche Übertragungsverfahren näher erläutert werden. Zunächst werden anhand des *Impulsradio-Verfahrens* die Grundzüge der UWB-Sendetechnik erläutert, deren Prinzip für viele, nicht unmittelbar der Datenkommunikationstechnik zuzuordnende UWB-Anwendungen Gültigkeit besitzt. In weiterer Folge wird dann konkret auf die beiden speziell für die UWB-Datenkommunikation entwickelten Übertragungsverfahren *Direct Sequence UWB* und *Multiband-OFDM UWB* eingegangen.

2.3.1 Das Impulsradio-Verfahren

Beim sogenannten Impulsradio wird Information mittels sehr kurzer Impulse direkt im Basisband, d.h., ohne klassische Modulation (im Sinne einer Verschiebung zu einer speziellen Trägerfrequenz) übertragen. Vom Sender werden zumeist Gauß-förmige Impulse direkt der Sendeantenne zugeführt (Abbildung 2.4a). Die frequenzabhängigen Eigenschaften der Sende- und Empfangsantenne bewirken eine zweimalige Differenzierung des vom Sender erzeugten Gauß-förmigen Zeitsignals, so dass am Empfänger die gesendeten Impulse als sogenannte „Gauß-Doublets“ ankommen (Abbildung 2.4c).

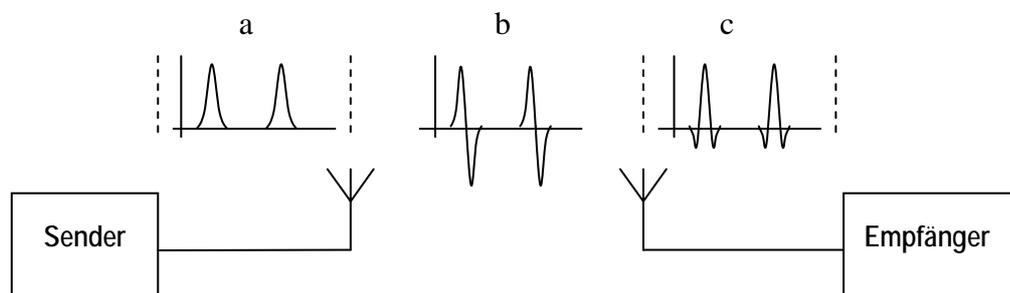


Abbildung 2.4: Vereinfachte schematische Darstellung des Impulsradio-Prinzips

Aufgrund der extrem kurzen Dauer der gesendeten Impulse im Bereich von Nanosekunden bzw. teilweise auch darunter, ergibt sich ein sehr breites „Ultra Wideband“-Spektrum. Abbildung 2.5 zeigt typische Spektren eines einzelnen Gauß-Doublets (links) und einer Reihe in konstantem Zeitabstand wiederkehrender Gauß-Doublets (rechts).

Eine Informationsübertragung kann basierend auf diesem einfachen Prinzip beispielsweise durch die sogenannte Pulse Position Modulation (PPM) erfolgen, bei der je nach zu übertragendem binären Wert „0“ oder „1“ der gesendete Impuls zeitlich etwas versetzt zu einem festgelegten Nominalzeitpunkt erfolgt (exakte Synchronisation von Sender und Empfänger vorausgesetzt). Eine andere Möglichkeit stellt die sogenannte Bi-Phasen Modulation (BPM) dar, bei der nicht der Zeitpunkt, sondern die Phasenlage des gesendeten Impulses zwischen zwei Werten, je nach zu übertragendem Binär-Wert, hin- und hergeschaltet wird. Abbildung 2.6 illustriert das Prinzip von PPM und BPM anhand einer einfachen beliebigen Binärfolge.

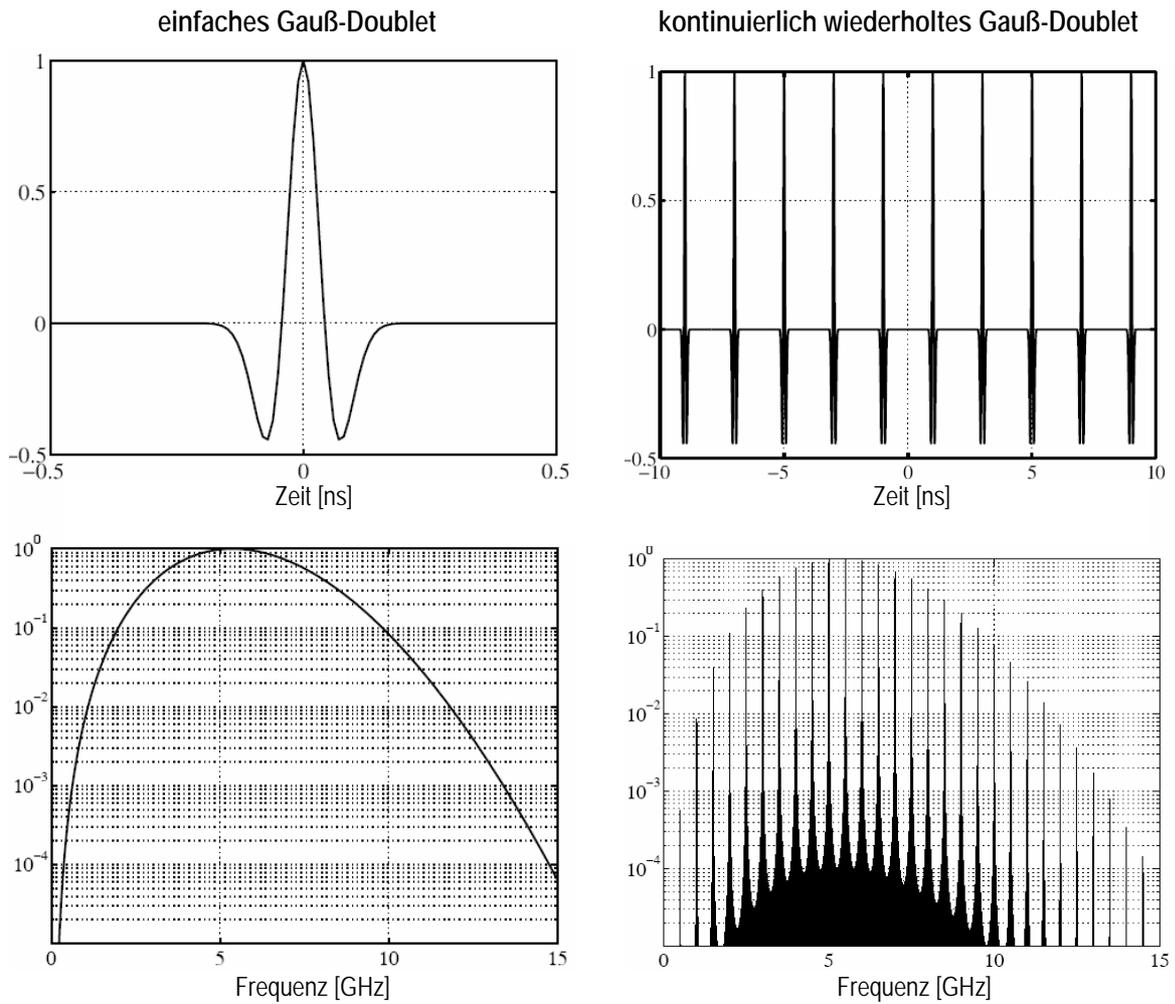


Abbildung 2.5: Zeitverläufe (oben) und Frequenzspektrum (unten) eines einzelnen Gauß-Doublets (links) und einer periodisch wiederholten Abfolge von Gauß-Doublets

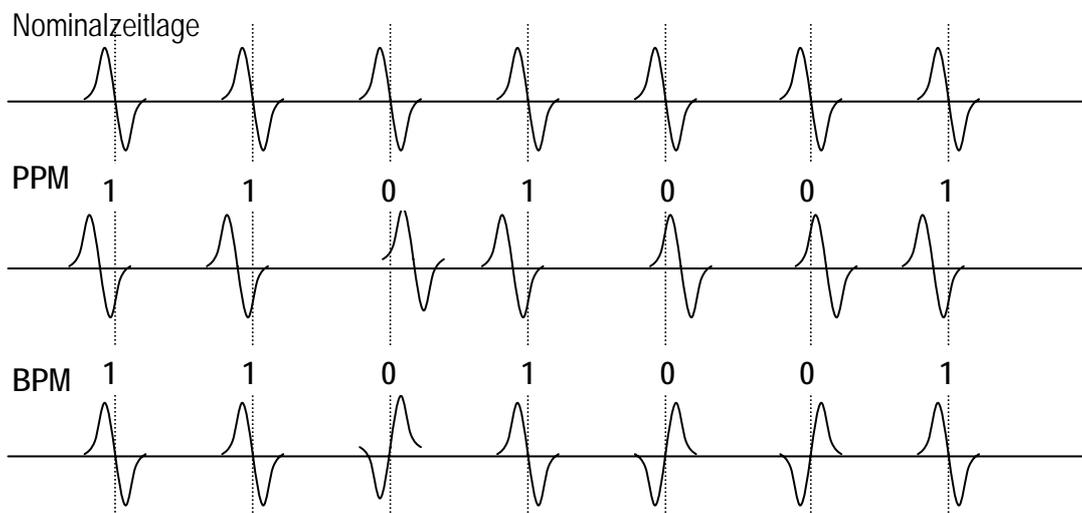


Abbildung 2.6: Zur Illustration von PPM und BPM

Diese Art der Modulation wirkt sich gleichzeitig auch positiv auf das Spektrum im Sinne eines deutlich reduzierten *Peak to Average* Verhältnisses aus, was einerseits die spektrale Effizienz erhöht und das Potenzial für Interferenzen mit anderen Funkdiensten reduziert. Im Falle der PPM ist dies eine direkte Auswirkung der nicht mehr exakt konstanten Impulswiederholzeit, was zu einer deutlichen Reduzierung der spektralen Spitzen im Verhältnis zur mittleren Signalenergie führt (Abbildung 2.7). Eine weitere Verbesserung der Situation kann auch mit einer bewussten, zwischen Sender und Empfänger vereinbarten pseudozufälligen Variation der Nominalzeitpunkte erreicht werden.

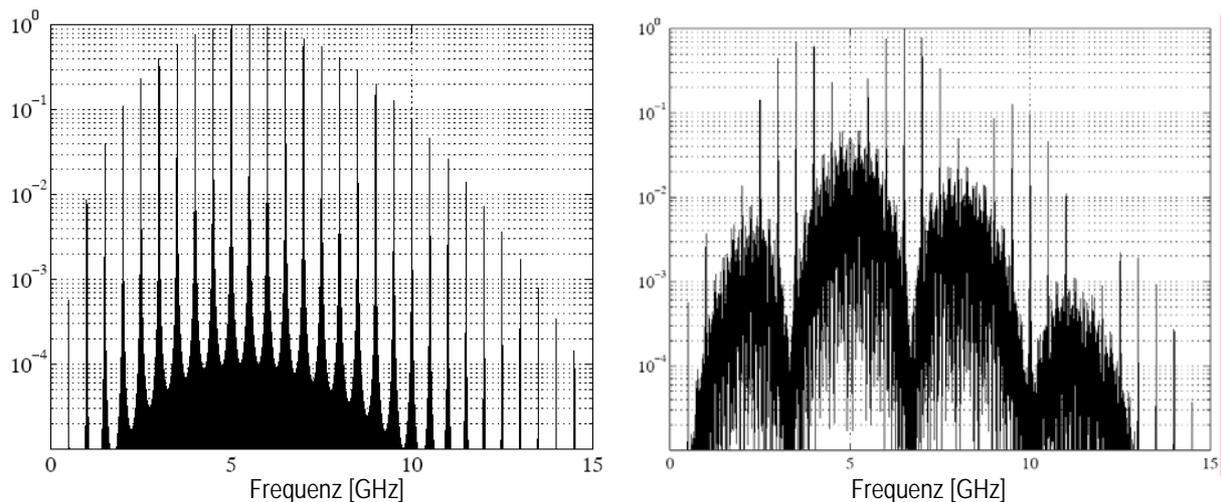


Abbildung 2.7: Veranschaulichung der Veränderung des Spektrums zufolge nicht-konstanter Impulswiederholzeit; links: konstante Impulswiederholzeit, rechts: zufällige Variation der Impulswiederholzeit um etwa eine halbe Impulsdauer

Hinsichtlich spektraler Effizienz ist die BPM (bereits in ihrer einfachsten Form) wesentlich vorteilhafter als die PPM [3]. Für weitere, in der Literatur beschriebene UWB-Modulationsformen im Zusammenhang mit dem Impulsradio wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (z.B. [3]).

Grundsätzlich kann das oben beschriebene Impulsradio-Verfahren auch durch die Verwendung spezieller Impulsformen erweitert werden, um die Form des Sendespektrums bewusst zu beeinflussen, bzw. einzelne Frequenzbereiche „auszulassen“. Dies kann in der Praxis sinnvoll bzw. erforderlich sein, um beispielsweise Interferenzen mit anderen Funkdiensten zu vermeiden, bzw. kann diese Technik theoretisch auch dazu verwendet werden um ein Frequenz-Vielfach-Zugriffsverfahren zu realisieren (Aufteilung eines UWB-Frequenzbereiches in mehrere Sub-Bänder). Dies führt zur einfachsten Form des sogenannten *Multiband-UWB* (siehe auch [3], [6]). Abbildung 2.8 zeigt zunächst den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Gauß'schen Impulsen und deren Spektrum und Abbildung 2.9 zeigt als Beispiel eine spezielle Impulsform, die einen schmalen Frequenzbereich im UWB-Spektrum ausspart.

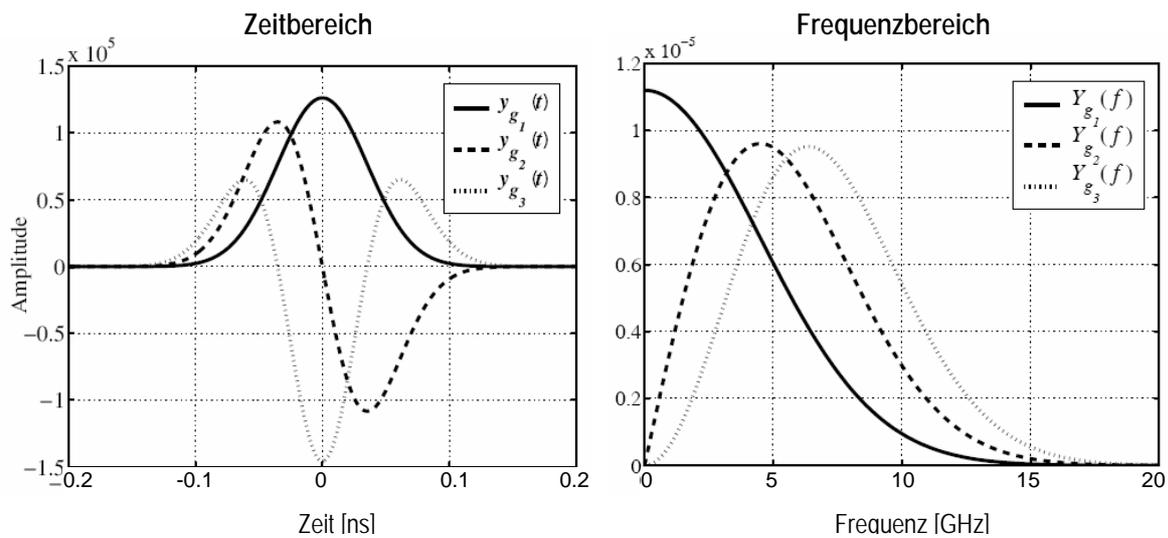


Abbildung 2.8: Prinzip des Zusammenhangs zwischen Impulsform (im Zeitbereich) und zugehörigem Spektrum für unterschiedliche Gauß-Ableitungen

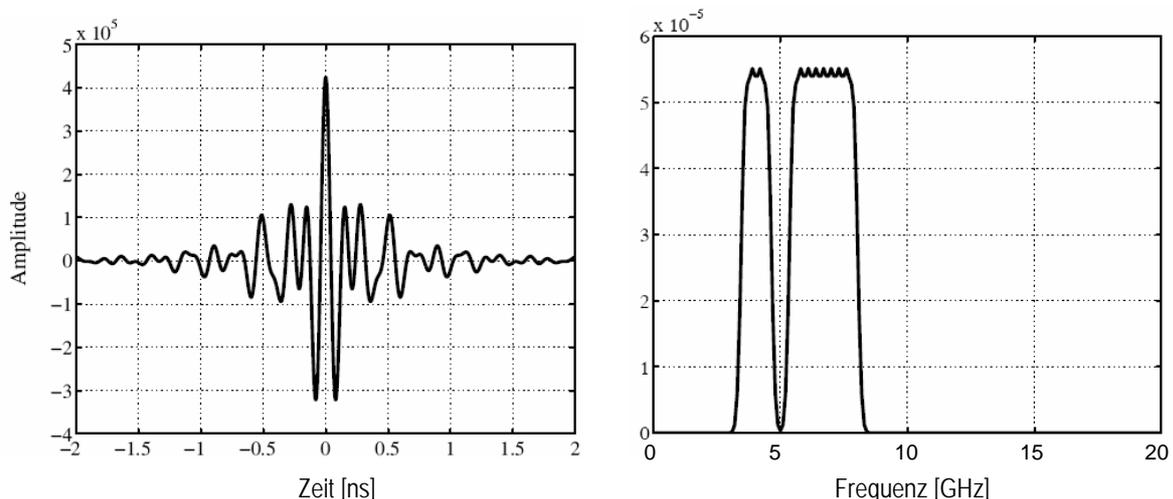


Abbildung 2.9: Spezielle Impulsform zur Aussparung eines schmalen Frequenzbereiches aus dem UWB-Spektrum. Dies kann vorteilhaft genutzt werden, um Interferenzen mit speziellen Funkdiensten zu vermeiden.

Mehrfach-Zugriffsverfahren beim Impulsradio

Um die (koordinierte) Kommunikation mehrere UWB-Geräte im gleichen Frequenzband zu ermöglichen benutzen einfache Geräte nach dem Impulsradio-Prinzip zumeist ein Zeitvielfachverfahren (*Time Division Multiple Access TDMA*), d.h. jedem Gerät ist ein definierter Zeitschlitz zugeordnet, in dem es senden kann. Zur Erhöhung der Robustheit kann die Zuordnung der Zeitschlitze zu den einzelnen Geräten auch pseudozufällig variiert werden. In jedem Fall ist eine Synchronisation aller Geräte die Voraussetzung für ein funktionierendes TDMA-Verfahren.

Das beschriebene Impulsradio-Verfahren veranschaulicht das Grundprinzip der UWB-Kommunikation, bzw. der UWB-Sendetechnik. Im Vergleich zur konventionellen (schmalbandigen) Funktechnik entfallen beim Impulsradio-Verfahren sämtliche mit Frequenzumsetzung in Verbindung stehenden, teilweise aufwändigen bzw. kostspieligen HF schaltungstechnische Maßnahmen. Vor allem diese technische Einfachheit des Impulsradio-Prinzips und die unmittelbar damit zusammenhängende billige Realisierungsmöglichkeit von Endgeräten wird häufig als

eine der Attraktivitäten der UWB-Technologie im Hinblick auf den Einsatz im Massenmarkt gesehen. Allerdings sind für zukünftige UWB-Datenkommunikationsgeräte aus praktischer Sicht einige Zusatzfunktionen erforderlich (z.B. im Hinblick auf Interferenzvermeidung, Synchronisation und Organisation des Datenverkehrs in Netzwerken, usw.), die diesen Preisvorteil (abhängig von der jeweiligen Anwendung) teilweise wieder wettmachen. Laut [3] ist daher derzeit noch nicht abzusehen, ob die zukünftigen UWB-Geräte tatsächlich auch kostengünstige Alternativen zu den gegenwärtigen Technologien wie z.B. WLAN werden.

Zwei konkrete UWB-Übertragungsverfahren, wie sie für zukünftige Geräte der Breitband-Kommunikationstechnik geplant sind, werden in den folgenden beiden Kapiteln behandelt.

2.3.2 Direct Sequence UWB (DS-UWB)

Das sogenannte Direct Sequence UWB kann in einfacher Weise als Erweiterung des Impulsradios gesehen werden. Es basiert, wie das Impulsradio, auf der Aussendung kurzer Impulse. Allerdings wird nicht nur ein Impuls pro Informationsbit übertragen, sondern eine Impulsfolge, deren Zusammensetzung durch die Multiplikation der Originaldaten mit einem Spreizcode bestimmt ist. Unter „Originaldaten“ wird hier der bereits einer Reihe von Codierverfahren (Scrambling, Fehlerkorrektur, Interleaving, usw.) unterworfenen Rohdatenstrom verstanden.

Abbildung 2.10 illustriert in vereinfachter Weise das Prinzip der Spreizung bei DS-UWB (zwecks Einfachheit der Abbildung mit willkürlich gewähltem Spreizcode der Länge 4 Bit). Durch unterschiedliche Code-Längen, Chip-Raten und Mittenfrequenzen kann ein Vielfach-Zugriff bei DS-UWB realisiert werden.

DS-UWB ist jenes UWB-Übertragungsverfahren, das vom *UWB-Forum*, einem Zusammenschluss von mehr als 50 Industriefirmen vorgeschlagen wird (siehe Kapitel 4). In der derzeitigen Ausprägung des Vorschlages des *UWB-Forums* wird das Frequenzband von 3,1 GHz bis 9,7 GHz in zwei Sub-Bänder von 3,1 GHz bis 4,9 GHz und von 6,2 GHz bis 9,7 GHz unterteilt. Der dazwischen liegende Bereich wird mit Rücksicht auf die zwischen 5 und 6 GHz angesiedelten WLAN Applikationen (IEEE 802.11a) frei gehalten. Gemäß diesem Vorschlag ist im Frequenzbereich von 3,1 GHz bis 4,9 GHz der gleichzeitige Betrieb von 6 unterschiedlichen Piconetzen mit einer Brutto-Datenrate von jeweils 110 Mbit/s möglich. Das obere Subband von 6,2 GHz bis 9,7 GHz ist für zukünftige Entwicklungen vorgesehen und wird gemäß den derzeitigen Festlegungen noch nicht benutzt.

Als Vorteil des DS-UWB wird von dessen Proponenten vor allem die Tatsache angeführt, dass „echte“ UWB-Prinzipien (d.h. Aussendung von kurzen Impulsen ohne Frequenzumsetzung) zur Anwendung kommen und damit die Vorteile der klassischen UWB-Technologie in vollem Umfang wirksam werden (Robustheit gegenüber Mehrwegeausbreitung aufgrund großer Bandbreite). Diese Argumentation zielt vor allem auf das von der *WiMedia Alliance* vorgeschlagene konkurrierende Übertragungsverfahren *Multiband-OFDM* ab, das im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

Auf das *UWB-Forum* und dessen Beeinflussung der in den letzten Jahren stattgefundenen Entwicklung auf dem UWB-Sektor wird im Detail in Kapitel 4

eingegangen. Insbesondere wird dabei auch auf die Arbeit des *UWB-Forums* im globalen Kontext der Standardisierung und die Konkurrenzsituation zur *WiMedia Alliance* eingegangen.

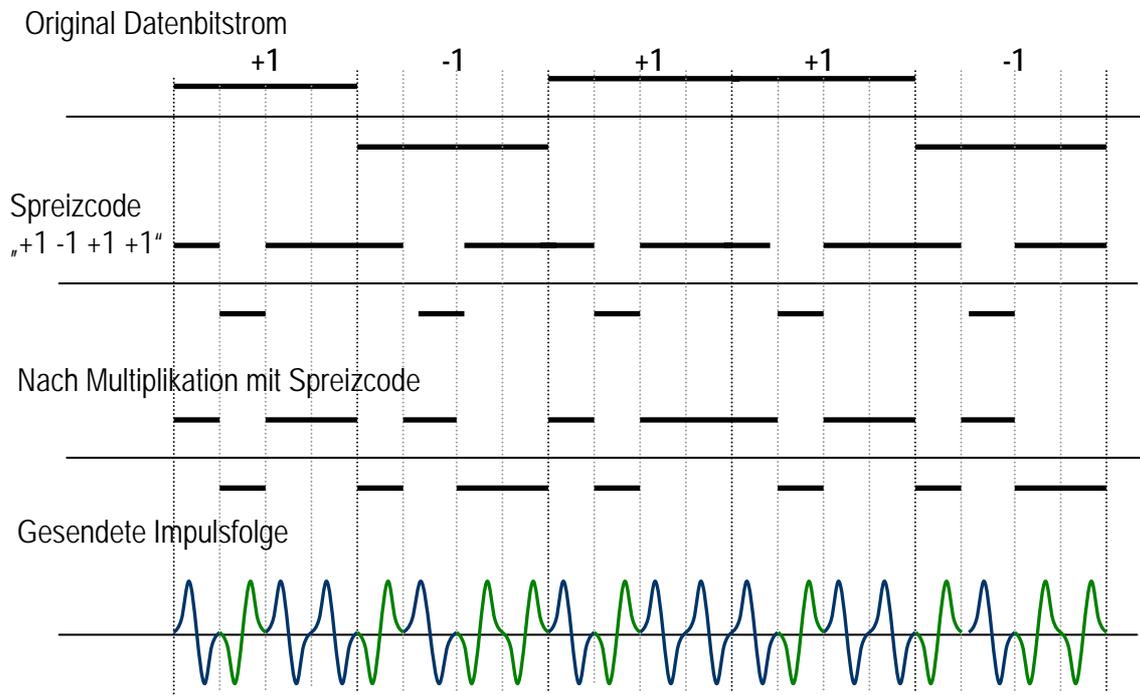


Abbildung 2.10: Illustration des DS-UWB Prinzips

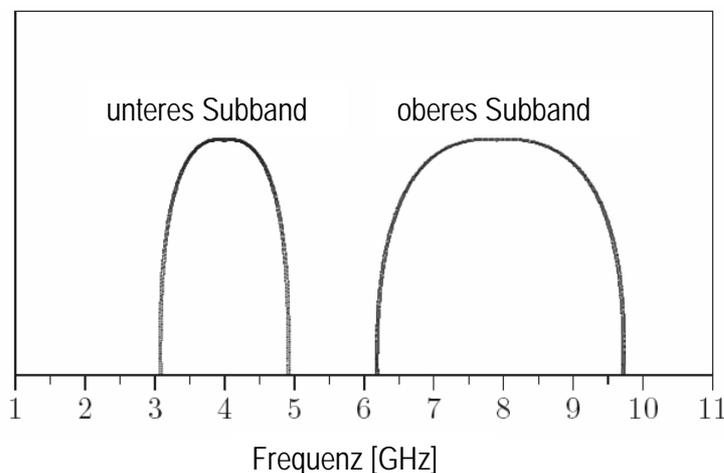


Abbildung 2.11: Schematische Darstellung der Frequenznutzung des vom UWB-Forum vorgeschlagenen DS-UWB

2.3.3 Multiband-OFDM UWB (MB-OFDM-UWB)

Multiband OFDM (MB-OFDM) ist ein Übertragungsverfahren, das in seiner Konzeption die Grundidee des Impulsradios zwar verlässt, durch die speziellen Vorzüge der über einen breiten Frequenzbereich eingesetzten Methode des *Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)* in seinen Eigenschaften den klassischen UWB-Vorzügen aber größtenteils gerecht wird. Dieses Verfahren wurde von

der *WiMedia Alliance*, einem offenen Industriekonsortium bestehend aus mehr als 150 namhaften Firmen vorgeschlagen und ist das erste UWB-Übertragungsverfahren, das in Form eines ISO-Standards [7] festgeschrieben ist (näheres dazu in Kapitel 4). Ausgehend von der UWB-Regulierung der FCC ([1]) wird beim MB-OFDM UWB der gesamte UWB-Frequenzbereich von 3,1 GHz – 10,6 GHz in insgesamt 14 jeweils 528 MHz breite Subbänder unterteilt, wobei die unteren 12 Subbänder in Bandgruppen zu jeweils 3 aufeinander folgende Bänder zusammengefasst werden (Bandgruppen 1-4). Die oberen beiden Subbänder (Band 13 und 14) werden zur 5. Bandgruppe zusammengefasst (Abbildung 2.12).

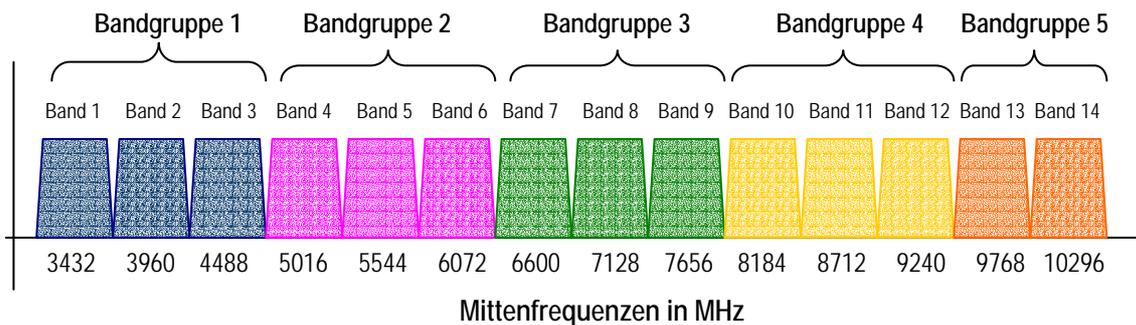


Abbildung 2.12: Bandaufteilung bei MB-OFDM UWB nach dem Vorschlag der *WiMedia Alliance*

Die Breite eines Subbandes mit 528 MHz wurde dabei mit Bedachtnahme auf die seit 2002 geltende FCC-Regulierung [1] (fordert von UWB-Systemen 500 MHz Mindestbandbreite) nicht zufällig gewählt. In jedem einzelnen der 528 MHz breiten Subbänder erfolgt die Datenübertragung wie bei OFDM üblich. D.h., die Information wird mit 100 (jeweils ca. 4 MHz breiten) OFDM Subträgern (+ 12 Pilotträger + 10 Schutz-Frequenzen) mittels 128 Punkt IFFT übertragen. Die Information ist den Subträgern dabei mittels konventioneller Verfahren aufmoduliert. Konkret wird für die unteren Datenraten bis zu 200 MBit/s QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*) und für die höheren Datenraten bis 480 MBit/s DCM (*Dual Carrier Modulation*) verwendet. Zur weiteren Aufweitung des Übertragungsfrequenzbandes wird die Datenübertragung innerhalb der Bandgruppen durch sogenannte *Time Frequency Codes (TFC)* gestreut. D.h., für eine beliebige Datenverbindung werden 3 x 528 MHz = ca. 1,58 GHz Frequenzbandbreite beansprucht. Neben der Frequenzbanderweiterung und der damit verbundenen Vorteile hinsichtlich Robustheit stellt die TFC Codierung auch gleichzeitig eine Möglichkeit für die Realisierung eines Vielfachzugriffs dar. Tabelle 2.1 fasst die Zuordnung der TFC-Nummern zu den Bandsequenzen für die Bandgruppen 1-4 und Bandgruppe 5 zusammen und Abbildung 2.13 illustriert schematisch die Datenübertragung auf Basis von TFCs. Nach jedem übertragenen OFDM Symbol wird das Frequenzband gemäß dem zugehörigen TFC gewechselt. Das an jedes Symbol angehängte „Zero-padded Suffix“ dient dabei als Schutzintervall, das einerseits ISI-Probleme verringert und andererseits den Einsatz einfacherer (und billigerer) Hardware erlaubt (mehr Zeit für das Einschwingen des Frequenzsynthesizers bei den Frequenzsprüngen). Im Hinblick auf den Vielfachzugriff ist zu erkennen, dass bei synchronisierten Piconetzen mit einer Kollision pro drei übertragener Symbole zu rechnen ist. Mit speziellen adaptiven Verfahren wird versucht diesbezüglich Verbesserungen zu erzielen.

TFC Nr.	Bandnummern-Sequenz (für Bandgruppen n =1...4)					
1	3n-2	3n-1	3n	3n-2	3n-1	3n
2	3n-2	3n	3n-1	3n-2	3n	3n-1
3	3n-2	3n-2	3n-1	3n-1	3n	3n
4	3n-2	3n-2	3n	3n	3n-1	3n-1
5	3n-2	3n-2	3n-2	3n-2	3n-2	3n-2
6	3n-1	3n-1	3n-1	3n-1	3n-1	3n-1
7	3n	3n	3n	3n	3n	3n

TFC Nr.	Bandnummern-Sequenz (für Bandgruppe 5)					
5	13	13	13	13	13	13
6	14	14	14	14	14	14

Tabelle 2.1: Definition der Time Frequency Codes bei MB-OFDM UWB nach [7]

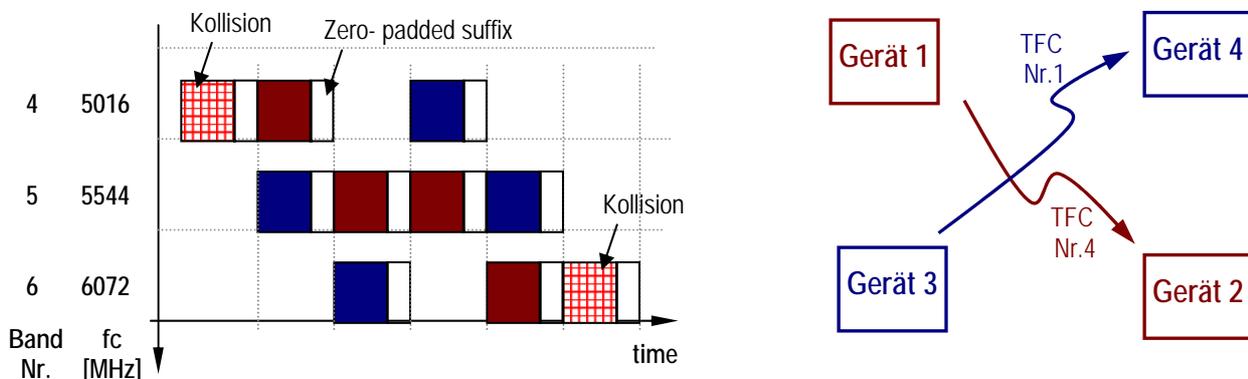


Abbildung 2.13: Schema zur Illustration des Time Frequency Coding (TFC) bei MB-OFDM UWB nach [7]. Hier als Beispiel für Bandgruppe 2 und verwendete TFC Nr. 1 (Bandsequenz 4-5-6-4-5-6...) und TFC Nr. 3. (Bandsequenz 4-4-5-5-6-6...)

Die Vorzüge des MB-OFDM-Verfahrens für UWB liegen vor allem in seiner Flexibilität hinsichtlich der Nutzung des Spektrums. Einzelne Frequenzbereiche können bei Bedarf (z.B. zur Vermeidung von Interferenzen) relativ leicht (von der digitalen Ebene aus gesteuert) ausgeblendet werden. Weiters ist die OFDM-Technik relativ leicht in CMOS Technik (Strom sparend und kostengünstig) integrierbar. Wie in Kapitel 4 noch näher erläutert erscheint MB-OFDM derzeit als das viel versprechendste Übertragungsverfahren für die ersten breit den Markt durchdringenden UWB-Produkte auf dem Gebiet der Datenkommunikation.

3 DIE FUNKREGULIERUNG FÜR UWB

Die funktechnische Regulierung für UWB-Geräte ist, verglichen mit herkömmlichen Funktechnologien, als Spezialfall zu sehen. Dies liegt daran, dass mit UWB eine Technologie auf den Markt kommt, die Frequenzbereiche (mit)benutzt, welche eigentlich für andere (schmalbandige) Funkdienste vorgesehen sind. Bedenkt man, dass von vielen Betreibern dieser anderen Funkdienste teilweise enorme Summen für die Lizenzen zur exklusiven (und damit störungsfreien) Nutzung der entsprechenden Frequenzbereiche bezahlt wurden (man denke nur an die Milliardenbeträge die für die UMTS-Lizenzen bezahlt wurden), wird klar, dass der Regulierungsprozess für UWB viele Diskussionen mit sich bringt und sich damit nicht einfach gestaltet.

3.1 Situation in den USA

Trotz der oben genannten Aspekte hat die US-amerikanische *Federal Communications Commission FCC* im Jahr 2002 die weltweit ersten funktechnischen Regulierungsfestlegungen für UWB-Geräte veröffentlicht (Subpart F in [1]), um Sicherheit für die UWB-Hersteller zu schaffen und die Chance auf die von der UWB-Technologie erwarteten wirtschaftlichen Erfolge nicht zu gefährden. Auf Grund der Befürchtungen von Interferenzen mit anderen, bestehenden Funkdiensten sind die Festlegungen für die zulässigen Emissionen von UWB-Geräten allerdings sehr restriktiv und bewegen sich in Größenordnungen, wie man sie aus der klassischen EMV für Störaussendungen von diversen Geräten kennt.

Neben allgemeiner Bestimmungen wird in [1] konkret zwischen den folgenden unterschiedlichen Kategorien von UWB-Geräten unterschieden und für jede Kategorie spezielle Festlegungen getroffen

- Indoor UWB systems
- Hand held UWB systems
- Ground penetrating radars and wall imaging systems
- Through-wall imaging systems
- Surveillance systems
- Medical imaging systems
- Vehicular radar systems

Für den Massenmarkt und damit wirtschaftlich interessant sind vor allem die Kategorien „Indoor UWB-Systems“ und „Hand held UWB-Systems“. Diesen Kategorien sind die unmittelbar vor der Markteinführung stehenden UWB-Geräte aus den Bereichen des Home-Entertainment, der Datenkommunikation und der Wireless Personal Area Networks (WPAN) zuzurechnen. Auf die Festlegungen für diese Gerätekategorien wird daher im Folgenden näher eingegangen.

3.1.1 Indoor UWB-Systeme

Unter „Indoor UWB Systems“ werden gemäß [1] Geräte bzw. Systeme verstanden, die nur in Innenräumen verwendet werden können. Als konkretes Merkmal wird die Notwendigkeit einer netzgebundenen Stromversorgung gesehen. Batterie- oder akkubetriebene Geräte (wie z.B. ein Laptop) werden demgemäß nicht zu „Indoor-Systemen“ gezählt. Weiters ist es gemäß den Bestimmungen untersagt die von

solchen Indoor UWB-Geräten ausgehenden elektromagnetischen Emissionen absichtlich nach außen zu richten, sowie externe „Outdoor“-montierte Antennen zu verwenden. Typische Indoor-Geräte sind demnach Arbeitsplatzcomputer und Computerperipherie (Drucker, externe Festplatten, Scanner, Beamer, usw.) bzw. Komponenten von Home-Entertainment Systemen (Stichwort „Home-Cinema“). Das eigentliche Sendefrequenzspektrum für Indoor-UWB Geräte ist zwischen 3.100 MHz bis 10.600 MHz festgelegt, wobei die in Tabelle 3.1 angeführten Limits hinsichtlich der elektromagnetischen Emissionen einzuhalten sind (definiert in Form von spektralen Leistungsdichten der EIRP-Sendeleistung). Abbildung 3.1 zeigt die sich daraus ergebende Spektralmaske für Indoor-UWB-Geräte. Im Frequenzbereich unterhalb von 960 MHz gelten die allgemeinen Limits für Störemissionen von Geräten (max. 200 $\mu\text{V/m}$ in 3 m Abstand im Frequenzbereich 216 MHz -960 MHz).

<i>Indoor UWB-Geräte</i>	
Frequenzbereich [MHz]	Max. EIRP in dBm/MHz
960-1.610	- 75,3
1.610-1.990	- 53,3
1.990-3.100	- 51,3
3.100-10.600	- 41,3
> 10.600	- 51,3

Tabelle 3.1: Maximal zulässige EIRP-Sendeleistungsdichten (pro 1 MHz) für Indoor-UWB-Systeme nach [1]

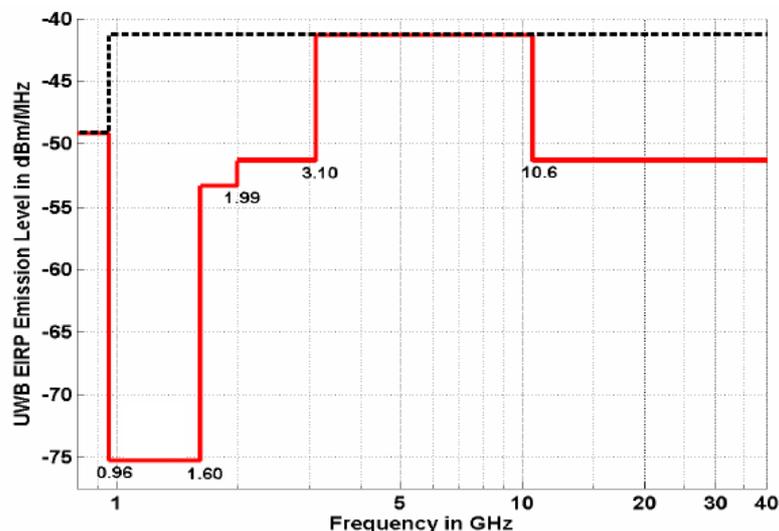


Abbildung 3.1: Graphische Darstellung der Sendeleistungsdichte-Limits (Spektralmaske) für Indoor UWB-Geräte nach [1]

Zusätzlich sind in den Frequenzbereichen 1.164-1.240 MHz und 1.559-1.610 MHz maximale EIRP-Sendeleistungsdichten von -85,3 dBm/kHz einzuhalten, um zusätzlich Störungssicherheit für GPS basierte Anwendungen zu garantieren. Weiters darf die gesamte maximale, innerhalb eines 50 MHz breiten Frequenzbandes abgestrahlte Leistung nicht mehr als 0 dBm betragen.

3.1.2 Hand held UWB-Systeme

Hand held UWB Systeme werden in [1] als relativ klein (tragbar) und unabhängig von ortsfester Infrastruktur definiert (akku- oder batteriebetrieben). Solche Systeme können sowohl indoor als auch outdoor betrieben werden. Antennen sind nur direkt am Gerät selbst oder am Benutzer erlaubt, nicht jedoch an fixer Outdoor-Infrastruktur (wie z.B. an der Außenwand von Gebäuden). Weiters wird von Hand held UWB-Geräten verlangt, dass sie die Aussendung von HF stoppen, wenn nicht innerhalb von 10 s eine Empfangsbestätigung von der Gegenstelle für die gesendeten Daten einlangt.

Wie auch für die im vorigen Abschnitt beschriebenen Indoor Systeme ist das eigentliche Sendefrequenzspektrum für Hand held-UWB Geräte zwischen 3.100 MHz bis 10.600 MHz festgelegt, wobei die in Tabelle 3.2 angeführten Limits hinsichtlich der elektromagnetischen Emissionen einzuhalten sind (definiert in Form von spektralen Leistungsdichten der EIRP-Sendeleistung). Abbildung 3.2 zeigt die sich daraus ergebende Spektralmaske für Hand held-UWB-Geräte. Im Frequenzbereich unterhalb von 960 MHz gelten die allgemeinen Limits für Störemissionen von Geräten (max. 200 $\mu\text{V/m}$ in 3 m Abstand im Frequenzbereich 216 MHz -960 MHz).

<i>Hand held UWB-Geräte</i>	
Frequenzbereich [MHz]	Max. EIRP in dBm/MHz
960-1.610	- 75,3
1.610-1.990	- 63,3
1.990-3.100	- 61,3
3.100-10.600	- 41,3
> 10.600	- 61,3

Tabelle 3.2: Maximal zulässige EIRP-Sendeleistungsdichten (pro 1 MHz) für Hand held-UWB-Systeme nach [1]

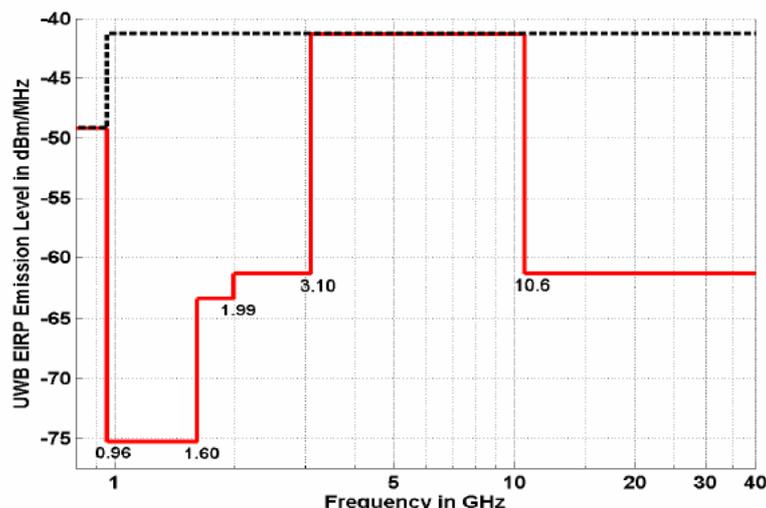


Abbildung 3.2: Graphische Darstellung der Sendeleistungsdichte-Limits (Spektralmaske) für Hand held UWB-Geräte [1]

Der Tatsache, dass Hand held UWB-Geräte definitionsgemäß auch Outdoor betrieben werden dürfen, hat man hier (im Vergleich zu Indoor-Geräten) durch

zusätzliche 10 dB Sicherheitsabstand im Frequenzbereich zwischen 1.610 MHz und 3.100 MHz, sowie oberhalb von 10.600 MHz Rechnung getragen.

In gleicher Weise wie auch für Indoor-Geräte ist auch von Hand held-Geräten zusätzlich in den Frequenzbereichen 1.164-1.240 MHz und 1.559-1.610 MHz maximale EIRP-Sendeleistungsdichten von -85,3 dBm/kHz einzuhalten und die gesamte maximale, innerhalb eines 50 MHz breiten Frequenzbandes abgestrahlte Leistung darf nicht mehr als 0 dBm betragen.

3.1.3 Weitere UWB-Systeme nach FCC Regulierung

Wie bereits eingangs erwähnt spezifiziert die FCC in [1] auch noch Zulassungsbedingungen für weitere UWB-Gerätekategorien. Einige davon werden vereinfacht in den folgenden Abbildungen anhand der für sie definierten Spektralmasken kurz zusammengefasst.

“Ground penetrating radar and wall imaging systems”

“Ground penetrating” Radar Systeme sind für den Einsatz vergrabener bzw. verschütteter Objekte bzw. Personen konzipiert. Unter „Wall imaging systems“ werden Geräte zur Detektion bzw. Untersuchung von Objekten in massiven Wänden verstanden (z.B. Stahlbewehrung in Betonbaukörpern).

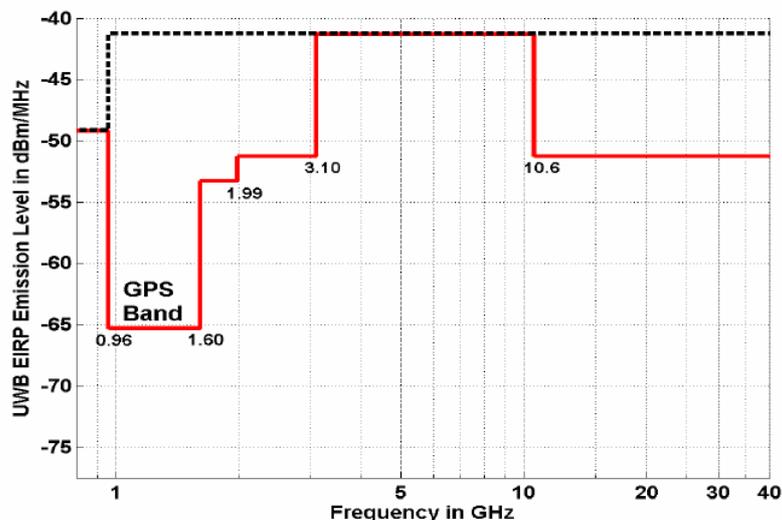


Abbildung 3.3: Graphische Darstellung der Sendeleistungsdichte-Limits (Spektralmaske) für Ground penetrating radar and wall imaging systems nach [1]

„Vehicular radar systems“

Derartige Systeme dürften nach gegenwärtiger Einschätzung ebenfalls ein hohes Marktpotenzial besitzen. Große Firmen aus der Automotive Branche zeigen starkes Interesse an dieser Technologie, welche Kommunikations- und Ortungsmöglichkeiten der UWB-Technik vereinen und damit zur Verkehrsoptimierung und Kollisionsvermeidung in den nächsten Generationen von Automobilen eine große Rolle spielen könnte. Diese Systeme sind für den Frequenzbereich zwischen 22 GHz und 29 GHz konzipiert.

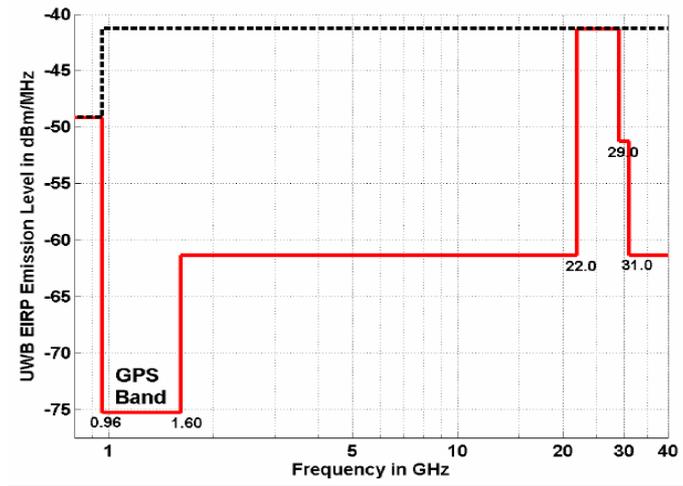


Abbildung 3.4: Graphische Darstellung der Sendeleistungsdichte-Limits (Spektralmaske) für Vehicular radar systems nach [1]

3.2 Situation in Europa

Im Gegensatz zu den USA verzögerte sich die Regulierung für UWB in Europa. Für *Short Range Radar Systeme* um 24 GHz für Anwendungen in der Verkehrstechnik zur Kollisionsvermeidung und für zukünftige Fahrer-Assistenzsysteme besteht seit 2005 eine europäische Regulierungsvorschrift [2], die einen etwas weniger breiten Frequenzbereich (von 22 GHz bis 26,65 GHz) als die entsprechende FCC-Vorschrift (vgl. mit Abbildung 3.4) zulässt. Diese gilt bis 2013. Danach sind derartige Anwendungen in Europa für den Frequenzbereich um 79 GHz geplant.

Für den vor allem für Datenkommunikationsanwendungen interessanten Frequenzbereich von 3,1 GHz bis 10,6 GHz war die Situation bis vor kurzem noch nicht endgültig entschieden. Nachdem die Europäische Kommission der *Europäischen Konferenz für Verwaltungen im Post und Fernmeldewesen (CEPT)* in den vergangenen Jahren mehrere Mandate im Zusammenhang mit der Harmonisierung der Frequenznutzung von UWB in der Europäischen Union erteilt hat, liegt jedoch nun (seit 21. Februar 2007) eine auf den Arbeiten der *CEPT* und des europäischen *Electronics Communications Committee (ECC)* beruhende Entscheidung der Europäischen Kommission mit der Bezeichnung „2007/131/EG“ vor [3]. Diese definiert maximale EIRP-Sendeleistungsdichten (pro MHz) und maximale EIRP-Spitzensendeleistungsdichten (über 50 MHz) im Frequenzbereich zwischen 1.600 MHz und 10.600 MHz, wobei zwischen Geräten mit Störungsminderungstechniken und solchen ohne diese Maßnahmen unterschieden wird. Tabelle 3.3 fasst die Sendeleistungslimits nach [3] für UWB-Geräte ohne Störungsminderungstechniken zusammen.

Für Geräte mit entsprechenden Störungsminderungstechniken ist auch im Frequenzbereich zwischen 3,4 GHz und 3,8 GHz eine maximale EIRP-Sendeleistungsdichte von -41,3 dBm/MHz zulässig. Konkret als wirksame Störungsminderungstechnik angeführt ist in [3] die sogenannte *Low Duty Cycle (LDC)* Technik bei der der gesamte effektive Duty Cycle pro Sekunde weniger als 5% und pro Stunde weniger als 0,5% beträgt, sowie die maximale Burst- bzw. Symboldauer nicht größer als 5 ms ist. Eine andere, z.B. in [6] beschriebene Störungsminderungstechnik ist *Detect and Avoid (DAA)*. Bei diesem Verfahren überwacht

das UWB-Gerät den Funkkanal im Hinblick auf mögliche andere vorhandene Funkdienste und adaptiert das ausgesendete Spektrum entsprechend um Störungen zu vermeiden. Weiters ist aus Tabelle 3.3 zu ersehen, dass Geräte ohne Störungsminderungsmaßnahmen nach dem 31.12. 2010 im Frequenzband unterhalb von 6 GHz praktisch nicht mehr eingesetzt werden können. Abbildung 3.5 fasst die Emissionslimits graphisch zusammen.

Frequenzbereich [GHz]	Max. mittlere EIRP-Sendeleistungsichte [dBm / MHz]	Max. EIRP-Spitzensendeleistungsdichte [dBm / 50 MHz]
< 1,6	- 90,0	- 50,0
1,6 - 3,4	- 85,0	- 45,0
3,4 - 3,8	- 85,0	- 45,0
3,8 - 4,2	- 70,0	- 30,0
4,2 - 4,8	bis 2010: - 41,3 / ab 1.1.2011: -70	bis 2010: 0,0 / ab 1.1.2011: -30
4,8 - 6,0	- 70,0	- 30,0
6,0 - 8,5	- 41,3	0,0
8,5 - 10,6	- 65,0	- 25,0
> 10,6	- 85,0	- 45,0

Tabelle 3.3: Sendeleistungsdichtelimits für UWB-Geräte ohne Störminderungstechniken gemäß [3]

Aus einem Vergleich von Abbildung 3.5 mit den zulässigen Spektralmasken in den USA (Kapitel 3.1) kann ersehen werden, dass geringfügige Unterschiede zwischen der derzeitigen Regulierungssituation in den USA und Europa bestehen.

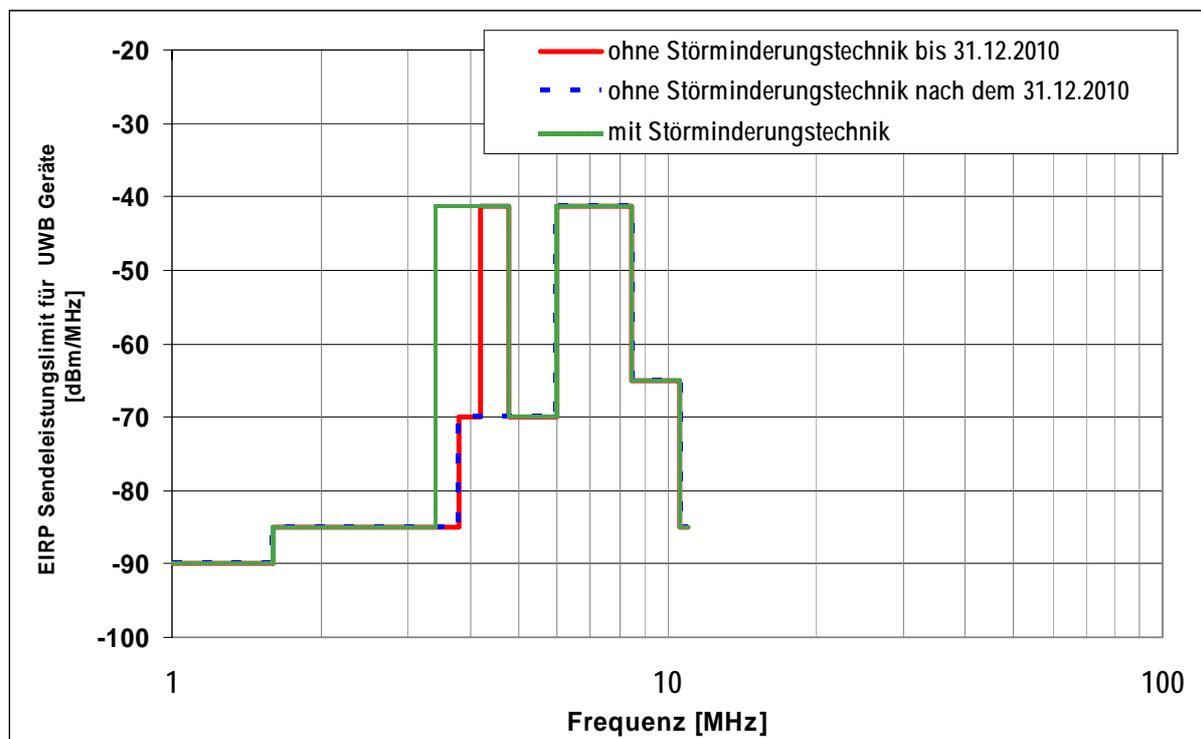


Abbildung 3.5: Graphische Darstellung der maximalen mittleren EIRP Sendeleistungsdichten für UWB-Geräte gemäß der aktuellen Entscheidung der Europäischen Kommission vom 21.Februar 2007 [3]

Ein weiterer interessanter Aspekt ist der Unterschied in der formalen Definition des Begriffs „Ultrabreitband“ zwischen der US-amerikanischen und der europäischen Regulierung. Während die FCC als Merkmal für „Ultra Wideband“-Geräte für den amerikanischen Markt eine Mindestbandbreite von 500 MHz, bzw. eine relative Bandbreite von mindestens 20% definiert (siehe Kapitel 2.1), werden gemäß der Entscheidung der Europäische Kommission 2007/131/EG vom 21. Februar 2007 Geräte mit einer Mindestbandbreite von (nur) 50 MHz als „Ultrabreitbandgeräte“ definiert (Artikel 2, Abs.1 in [3]).

Entsprechend der Entscheidung der Europäische Kommission vom 21. Februar 2007 sind UWB-Geräte, die den oben angeführten Spezifikationen entsprechen 6 Monate nach Inkrafttreten der genannten Entscheidung von den Mitgliedsstaaten zuzulassen. D.h., spätestens bis zum Herbstbeginn 2007 müssen die nationalen Regulierungsbehörden entsprechende Zulassungsrichtlinien veröffentlichen und es steht einer Einführung der UWB-Technik in Europa formal nichts mehr im Wege.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die derzeitigen Festlegungen auf Basis generischer Untersuchungen getroffen wurden, da ja noch keinerlei Erfahrungswerte hinsichtlich des tatsächlich vorliegenden Störpotenzials von UWB-Geräten existieren. Es wird daher in [3] explizit darauf hingewiesen, dass die gesamte Situation im Zuge der UWB-Verbreitung genau beobachtet werden sollte, um gegebenenfalls Anpassungen der getroffenen Festlegungen machen zu können.

4 UWB-STANDARDISIERUNG

4.1 Allgemeines

Die Standardisierung stellt vor allem im Bereich der Datenkommunikation und im Bereich der Consumer-Elektronik einen wesentlichen Faktor für den Markterfolg einer Technologie dar, da gerade in diesen Bereichen die Kompatibilität und Interoperabilität von Produkten unterschiedlicher Hersteller für den Endkunden Voraussetzung für die Akzeptanz von Produkten ist. Dies wurde grundsätzlich auch im Falle der UWB-Technologie von der Industrie erkannt, so dass sich bald nach der Veröffentlichung der UWB-Regulierung durch die FCC im Jahr 2002 unterschiedliche Konsortien bildeten, mit dem Ziel einen einheitlichen Standard für die UWB-Datenkommunikation zu erarbeiten. Ohne auf Details deren Entwicklungsgeschichte einzugehen, kann zusammengefasst werden, dass daraus zwei große Organisationen hervorgegangen sind, nämlich das *UWB-Forum* und die *WiMedia Alliance*.

4.1.1 Das UWB-Forum

Das *UWB-Forum*, 2004 gegründet, ist ein profitorientierter Zusammenschluss von Firmen, vor allem aus den Bereichen der Funktechnik, Halbleiterelektronik und Computertechnik. Einer der namhaftesten Mitglieder aus den Anfängen des *UWB-Forums* ist die Motorola-Tochterfirma *Freescale Semiconductors, Inc.* Das UWB-Forum strebt einen UWB-Standard nach dem DS-UWB Verfahren (siehe Kapitel 2.3.2) an, der im Wesentlichen auf einem Vorschlag der *Fa. XtremeSpectrum* (inzwischen von *Freescale Semiconductors, Inc.* aufgekauft) beruht. Im in den letzten Jahren stattgefundenen Konkurrenzkampf zwischen dem *UWB-Forum* und der *WiMedia Alliance* hat das UWB-Forum immer mehr an Zuspruch verloren. Mitte 2006 ist auch *Freescale Semiconductors, Inc.* aus dem UWB-Forum ausgetreten. Inzwischen ist auch die zumindest bis Ende April 2007 noch öffentlich verfügbare Homepage des *UWB-Forums* (www.uwbforum.org) nicht mehr zugänglich (zumindest gegenwärtig).

4.1.2 Die WiMedia Alliance

Die *WiMedia Alliance* (www.wimedia.org) ist ebenfalls ein Konsortium aus namhaften Industriefirmen, darunter Intel, Microsoft, Texas Instruments, Nokia, Sony, Samsung. Im Gegensatz zum *UWB-Forum* agiert die *WiMedia Alliance* als offene Plattform und stellt ihre Arbeiten öffentlich zur Verfügung. Die *WiMedia Alliance* propagiert einen UWB-Standard basierend auf MB-OFDM (siehe Kapitel 2.3.3) und hat ihren Vorschlag bereits erstmals im Dezember als ECMA²-Standards ECMA-368 und ECMA-369 veröffentlicht. Im März 2007 wurden diese Dokumente auch als ISO/IEC Standards mit den Bezeichnungen ISO/IEC-26907 [7] und ISO/IEC 26908 [8] verabschiedet. Weitere Erfolge konnte die *WiMedia Alliance* im Jahr 2006 feiern, als sich die *Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG)* und das *USB-Implementers Forum* dazu entschieden, das von der *WiMedia Alliance* propagierte MB-OFDM UWB für die nächste Bluetooth Generation (Bluetooth 3.0) bzw. für ein *Certified Wireless USB* zu nutzen. Aus gegenwärtiger Sicht ist daher davon

² European Computer Manufacturers Association

auszugehen, dass die Produkte für den Massenmarkt in den Bereichen WPAN bzw. Datenkommunikation sich am WiMedia Standard orientieren werden.

4.1.3 Die Arbeitsgruppe IEEE 802.15a

Das Standard-Arbeitsgruppe IEEE 802.15 befasst sich ganz allgemein mit der Standardisierung von WPAN Technologien (Abbildung 4.1). Beispielsweise wurde in der Task-Group IEEE 802.15.1 ein WPAN Standard basierend auf den Bluetooth-Spezifikationen definiert. 2001 wurde die Gruppe IEEE 802.15.3a gegründet, mit dem Ziel einen WPAN Standard für sehr hohe Datenraten im Bereich von mehreren hundert Megabit pro Sekunde zu schaffen. Durch die ab 2002 konkret gewordenen Technologie-Vorschläge für unterschiedliche UWB-Verfahren, sah sich die Arbeitsgruppe IEEE 802.15.3a ab 2003 vor allem damit konfrontiert die beiden konkurrierenden Vorschläge des *UWB-Forums* und der *WiMedia Alliance* (siehe oben) in einem einheitlichen Standard zu vereinen. Nach fast 3 Jahren andauernder ergebnisloser Diskussion wurde dieses Vorhaben als gescheitert betrachtet und die Arbeitsgruppe IEEE 802.15.3a löste sich im Jänner 2006 auf. Die Entscheidung welches der beiden Übertragungsverfahren sich durchsetzen wird bleibt damit dem freien Markt überlassen. Wie bereits oben erwähnt ist das MB-OFDM UWB der *WiMedia Alliance* aus gegenwärtiger Sicht das Verfahren mit den größeren Chancen.

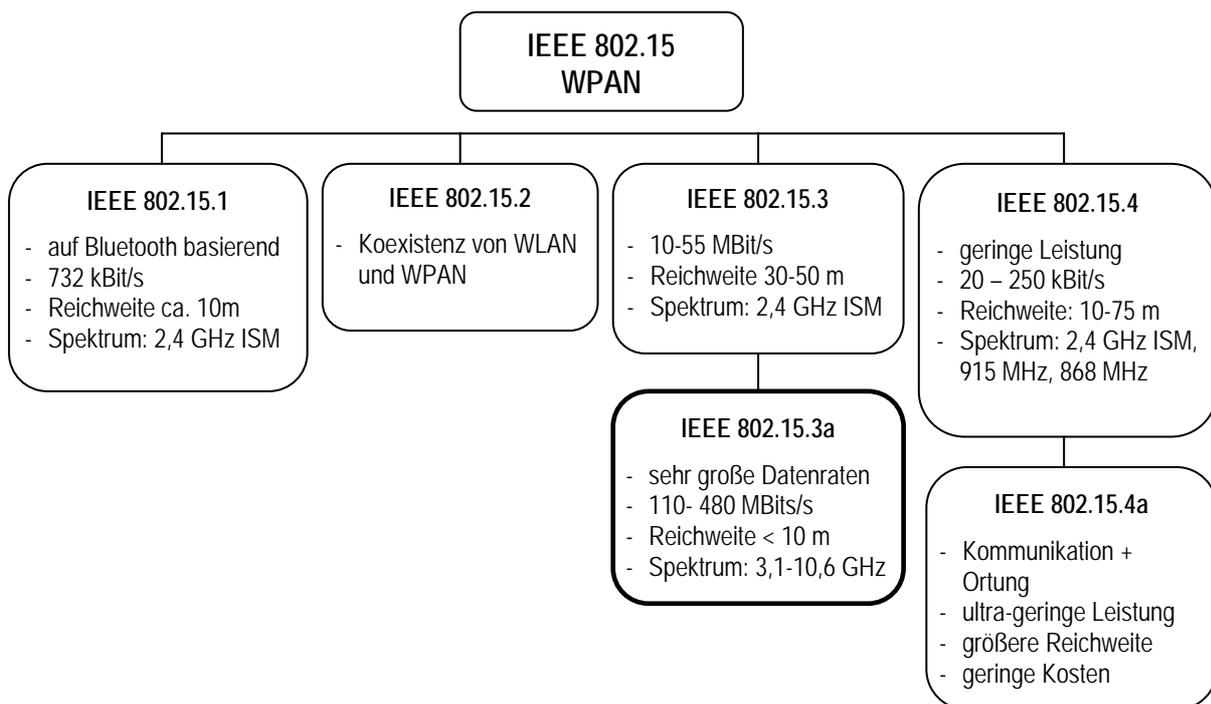


Abbildung 4.1: Übersicht über die Aktivitäten des Standard-Arbeitsgruppe IEEE 802.15 (nach [3])

4.1.4 ETSI-Standards für unterschiedliche Produktgruppen

Aus den oben dargestellten Verhältnissen ist daher ersichtlich, dass es in nächster Zeit wahrscheinlich zumindest formal keinen weltweit einheitlichen Standard für UWB basierte Datenkommunikationsendgeräte geben wird (wie dies z.B., im Fall von WLAN gelungen ist). Es ist jedoch anzunehmen, dass sich auf dem freien Markt im

Verlauf der nächsten Jahre eine der vorgeschlagenen Technologien durchsetzt und damit zum „Quasi-Standard“ der UWB-Kommunikation wird.

Die Nichtverfügbarkeit eines einheitlichen vollständigen (d.h., sowohl die physikalische als auch die logische Ebene umfassenden) Standards, macht es im Sinne eine raschen Markteinführung umso notwendiger entsprechende Richtlinien und Verfahren für Produktzulassungsprüfungen zu definieren.

Das *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* war bzw. ist auf diesem Sektor bereits sehr aktiv und es existieren bereits eine Reihe solcher Standards (zumeist noch als Draft), die sowohl die grundlegenden physikalischen Erfordernisse von UWB-Sendern, sowie entsprechende Prüfverfahren für eine Reihe von Produktgruppen definieren. Grundlage dafür ist naturgemäß die Entscheidung der Europäischen Kommission vom 21. Februar 2007 [3]. Derzeit sind solche Standards für folgende Produktgruppen in Arbeit bzw. verfügbar:

- Ultra Wideband (UWB) Technologie für Kommunikationszwecke [9]
- „Ground- and Wall - Probing Radar applications“ [10], [11]
- “Building Material and Classification equipment applications” [12], [13]
- “Short Range Radar equipment operating in the 24 GHz range” [14], [15]

Diese Dokumente basieren, sofern nicht bereits durch entsprechende Entscheidungen der Kommission festgelegt, auf entsprechenden Entscheidungen des *Electronics Communications Committee (ECC)* [16], [17]

5 UWB-ANWENDUNGEN

Aufgrund der seit langem anhaltenden Unsicherheit hinsichtlich eines einheitlichen UWB-Standards (siehe Kapitel 4) und der in Europa auf nationaler Ebene derzeit noch ungeklärten Regulierungssituation sind auf dem europäischen Markt noch keine UWB-Produkte (im Sinne von Endgeräten) auf dem freien Markt erhältlich.

Auf dem US-amerikanischen Markt sind hingegen bereits einige wenige Produkte erhältlich, eine breite Marktdurchdringung von UWB-Geräten ist jedoch auch in den USA noch nicht vorhanden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Produkte ähnliche, entsprechend angepasst an die europäische Regulierungssituation in absehbarer Zeit auch in Europa auf den Markt kommen werden.

Im Folgenden werden aktuelle verfügbare bzw. bereits absehbare UWB-Anwendungen zusammengestellt, wobei dem Bereich der Kommunikationsgeräte für den Massenmarkt besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

5.1 UWB-Anwendungen zu Kommunikationszwecken

5.1.1 Bereits kommerziell verfügbare Anwendungen

Wireless USB Geräte

Sowohl am US-amerikanischen als auch für den japanischen Markt sind seit kurzem bereits sogenannte USB-Hubs kommerziell erhältlich. Sie stellen eine drahtlose Alternative zur herkömmlichen USB-Verkabelung dar und ermöglichen laut Herstellerangaben Datenraten bis zu 480 MBit/s. Beide Geräte arbeiten mit MB-OFDM UWB, wobei das japanische Produkt YD-300 [18] (Firma *Y-E Data*) nur in einem 528 MHz breiten Band (Band 3, vgl. Abbildung 2.12) arbeitet. Das Produkt für den US-amerikanischen Markt mit der Bezeichnung F5U301 [19] (Firma *Belkin*) unterstützt die gesamte erste Bandgruppe (3 x 528 MHz) im Frequenzbereich von 3,1 GHz bis 4,8 GHz (vgl. Abbildung 2.12) und arbeitet laut Hersteller mit einer mittleren HF-Sendeleistung von 80 μ W.

UWB-Funkmikrofone

Ein weitere interessante Anwendung hat die Firma *Audio-Technica* kürzlich unter dem Markenlabel *SpectraPulseTM* auf den (US-amerikanischen) Markt gebracht [20]. Auf klassischer UWB-Technik basierend (Aussendung von kurzen Impulsen) können gleichzeitig 14 unterschiedliche Audio-Kanäle zu einer zentralen Empfangsstation gesendet werden. Das System arbeitet im Frequenzbereich zwischen 6.100 und 6.600 MHz. Als mittlere Sendeleistung werden 40 nW angegeben.

5.1.2 Absehbare UWB-Anwendungen in der Kommunikationstechnik

Der UWB-Technik wird im Bereich der Datenübertragungstechnik enormes Potenzial zugeschrieben. Dementsprechend groß ist die Vielfalt der denkbaren, bzw. konkret geplanten Anwendungen, wie sie derzeit in den Werbeauftritten vieler Hersteller im Internet gezeigt werden (z.B. [21], [22], [23]). Im Folgenden sollen die wichtigsten

absehbaren Nutzungsszenarien der UWB-Technik kurz beschrieben werden, aus denen sich konkrete Anwendungen und Produkte leicht ableiten lassen.

WPAN-Anwendungen

Neben der bereits oben erwähnten drahtlosen Alternative zur USB Schnittstelle, eignet sich die UWB-Technologie für den gesamten WPAN Bereich. Künftige Nutzungsszenaren sehen die gesamte Kommunikation zwischen elektronischen Endgeräten im persönlichen Gebrauch UWB-basiert. D.h., Geräte wie Computer, Laptop, Drucker, externe Harddisks, Mobiltelefone, PDAs, MP3-Player, Video-Beamer, Kameras, Scanner, Faxgeräte, usw. könnten schon bald mit UWB-Sendemodulen ausgestattet und damit für den drahtlosen, hochbitratigen Datenaustausch gerüstet sein.

WBAN-Anwendungen

WBANs (Wireless Body Area Networks) werden ebenfalls bereits konkret als ein potenzielles Anwendungsfeld für die UWB-Technologie gesehen. Daten, von unterschiedlichen Sensoren am Körper (z.B. EKG, Blutdruck, usw.) könnten damit drahtlos zu einem zentralen Knoten („Body-Hub“) und von dort z.B. per Mobiltelefon an die Klinik übertragen werden. Aber nicht nur Sensoren können in ein WBAN eingebunden sein, ebenso Implantate oder andere Körperhilfen, wie z.B. Hörgeräte oder elektronische Prothesen. Im Hinblick auf die HF-Exposition erscheinen diese Anwendungen als besonders interessant, da hier die UWB-Sender unmittelbar am Körper getragen werden. Die Forschungsaktivitäten zum Einsatz von UWB auf dem WBAN-Sektor sind zur Zeit sehr intensiv im Gang, wobei vor allem die Übertragungseigenschaften zwischen an unterschiedlichen Orten am Körper positionierten UWB-Antennen, bzw. die optimale Ausführung dieser Antennen im Blickpunkt stehen (z.B. [24], [25], [26]). Auch die Entwicklung spezieller, flexibler, in Textilien integrierbarer Antennen wird derzeit intensiv untersucht [25].

Home-Entertainment und Multimedia Anwendungen

Aufgrund der hohen erzielbaren Bitraten eignen sich UWB-Anwendungen auch für Echtzeit-Videoübertragung, was den Einsatz im Multimedia- und Home-Entertainment-Bereich möglich macht. D.h., die derzeit noch notwendigen Kabelverbindungen zwischen TV-Geräten und DVD-Playern, Spielkonsolen, usw. könnten ebenfalls bald von drahtlosen, UWB-basierten Übertragungssystemen abgelöst werden. Das gleiche gilt natürlich auch für den professionellen Multimedia-Bereich (Präsentationen, Filmvorführungen, usw.)

5.2 UWB-Anwendungen für Ortungs- und Identifikationszwecke

5.2.1 Bereits kommerziell verfügbare Anwendungen

Am amerikanischen Markt werden bereits einige auf UWB basierte Produkte zur Objekt- bzw. Personenortung und zu Identifikationszwecken angeboten. Viele dieser Anwendungen davon zielen auf Aufgaben zur Personenortung und –verfolgung für militärische, bzw. polizeiliche Zwecke ab, wie Systeme zur Ortung und Überwachung von Personen durch Wände hindurch oder Sensorsysteme zur Grenz- bzw. Sicherheitszonenüberwachung. Weiters werden auch UWB-basierte RFID-Produkte angeboten. Eine der aktivsten Firmen auf diesen Sektoren ist die *TimeDomain Corporation*, die Produkte für alle diese Anwendungsfelder kommerziell anbietet.

Speziell UWB-basierte Produkte für die Ortung- und Verfolgung von Gegenständen (z.B. bei der Lagerhaltung und in Fertigungsstraßen), sowie RFID-UWB-Produkte werden von der *Firma Multispectral Solutions, Inc.* angeboten [29]. Eine weitere kommerzielle, der UWB-Technik zuzurechnende Anwendung sind Komponenten für Millimeterwellen-Personenscanner zur Detektion Gefährlicher Objekte an Personen, wie sie beispielsweise von der Fa. *Farran Technology Ltd.* entwickelt werden [30].

5.2.2 Absehbare Anwendungen für Ortungs- und Identifikationszwecke

Wenngleich auch nicht so attraktiv für den Massenmarkt wie UWB-Produkte aus dem Datenkommunikations- und Consumer-Elektronik Bereich, so ist das technische Potenzial UWB-basierter Anwendungen für Ortungs-, und Identifikationszwecke wahrscheinlich sogar größer. Neben der Ausweitung der bereits oben angeführten, in den USA bereits verfügbaren Anwendungen auf viele spezielle Anwendungsfälle, bestehen auch große Erwartungen auf vielen neuen Anwendungsfeldern, von denen einige im Folgenden kurz aufgezeigt werden sollen.

UWB-Radar zur Kollisionsvermeidung und Verkehrsinformationsübertragung

Einige große Firmen der Automotive Industrie engagieren sich intensiv in diesem Bereich und entsprechende Standardisierungen für Zulassungsprüfverfahren solcher Systeme im Frequenzbereich um ca. 24 GHz arbeitender Systeme sind bereits in Arbeit ([14], [15]). Der Vorteil der UWB-basierten Radarsysteme gegenüber herkömmlichen Radar-Verfahren liegt vor allem im geringeren Einfluss von Witterungsverhältnissen und in der Möglichkeit einer genaueren Objektverfolgung aufgrund des wesentlich besseren räumlichen Auflösungsvermögens von UWB-Radar-Systemen.

Ground Penetrating / Wall Penetrating Radar und Baukörperinspektionsgeräte

In diesem breiten Feld sind Anwendungen zur Detektion bzw. Ortung verschütteter (z.B. in Lawinen, nach Erdbebenkatastrophen) oder eingeschlossener Personen geplant. Weiters könnten einfache Handgeräte zur Ortung von Objekten in Baukörpern einen Markt in der Baubranche finden. Beispielsweise zur Feststellung des Verlaufs von Wasserrohren oder Stahlbewehrung vor Bohrungen.

Medizinische Anwendungen

Das hohe räumliche Auflösungsvermögen von UWB-Ortungsverfahren bietet auch die Möglichkeit für eine Reihe von medizinischen Anwendungen. Beispielsweise existieren einige wissenschaftliche Arbeiten zum Thema der Brustkrebsdetektion mittels UWB-Signalen als alternative zur auf ionisierender Strahlung basierenden Mammografie. Neben dem Einsatz radioaktiver Strahlung sind eine relativ hohe Fehldetektionsrate und auch die notwendige Kompression der Brust Nachteile der Mammografie ([31], [32], [33]). Durch die Entwicklung eines Systems mit einem der Brustform angepassten Antennenarray (4.3 GHz -9.7 GHz) [31] kann die Brust ohne größere Verformung, bei zufriedenstellender Auflösung untersucht werden. Tumormodelle in der Größenordnung von 4 mm sind derzeit bereits detektierbar [33]. Weiters werden in [5] konkret Atmungsmonitore, basierend auf der mittels UWB detektierten Brustwandbewegung angekündigt. Anwendungen wie die Fernüberwachung von Patientendaten wurden bereits in Kapitel 5.1.2 (WBAN) erwähnt.

6 WEITERES VORGEHEN IM PROJEKT

Aufgrund der in Kapitel 3 angesprochenen Verzögerung bei der UWB-Regulierung in Europa kann mit kommerziell erhältlichen UWB-Anwendungen auf dem europäischen Markt erst ab Ende 2007 gerechnet werden. In Arbeitspaket 2 werden daher zunächst grundlegende Untersuchungen hinsichtlich tauglicher Messmethoden für UWB-Immissionen durchgeführt. Als HF-Quellen für diese Untersuchungen werden, solange keine konkreten Produkte auf dem europäischen Markt verfügbar sind, generische UWB-Signale verwendet (beispielsweise erzeugt mit Developer Kits von UWB-Chipherstellern). Parallel dazu wird die Absorptionscharakteristik von UWB-Strahlung in biologischen (dispersiven) Medien auf Basis numerischer Berechnungsmethoden untersucht und darauf aufbauend die Aussagekraft der üblichen Expositionsmaße (E, SA, SAR) bei UWB-Befeldung diskutiert.

Immissionsmessungen in konkreten Expositionsszenarien mit konkreten Produkten, sowie entsprechende numerische Berechnungen realistischer Szenarien werden Gegenstand des 3. Arbeitspaketes sein.

7 LITERATUR

- [1] FCC 02 48A1 Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems, February 2002, Version vom 4. Mai 2007
<http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/part15-5-4-07.pdf>
- [2] Entscheidung der Europäischen Kommission zur Harmonisierung der befristeten Nutzung des Frequenzbandes um 24 GHz durch Kfz-Kurzstreckenradargeräte in der Gemeinschaft 2005/50/EG, Amtsblatt der Europäischen Union, 17. Januar 2005.
- [3] Entscheidung der Europäischen Kommission über die Gestattung der harmonisierten Funkfrequenznutzung für Ultrabreitbandgeräte in der Gemeinschaft 2007/131/EG, Amtsblatt der Europäischen Union, 21. Februar 2007.
- [4] Wiesbeck W, Fügen, T, Porebska M, Sörgel W. Channel characterization and modeling for MIMO and other recent wireless technologies, Proceedings of EuCAP, Nice, France, 6-10 November 2006
- [5] Ghavami M, Michael LB, Kohno R: Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering, 2nd edition, John Wiley & Sons Ltd. , ISBN 978-0470-02763-9, January 2007
- [6] Aiello R, Batra A (editors): Ultra Wideband Systems, Technologies and Applications; Communications Engineering Series; Elsevier, Inc., ISBN: 0-7506-7893-3, 2006
- [7] ISO/IEC 26907:2007: Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard, March 2007
- [8] ISO/IEC 26908:2007: Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- MAC-PHY Interface for ISO/IEC 26907, January 2007
- [9] ETSI EN 302 065-1 v1.1.1 (2007-04) Draft Harmonized European Standard, Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Ultra WideBand (UWB) technologies for communication purposes; Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive, 2007-04
- [10] ETSI EN 302 066-1 v1.2.1 (2007-04) Draft European Standard, Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Ground- and Wall- Probing Radar applications; Part 1: Technical characteristics and test methods
- [11] ETSI EN 302 066-2 v1.2.1 (2007-05) Draft Harmonized European Standard, Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Ground- and Wall- Probing Radar applications; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive

- [12] ETSI EN 302 435-1 v1.2.1 (2007-05) Draft European Standard, Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Technical characteristics fro SRD equipment using Ultra WideBand technology (UWB); Building Material Analysis and Classification equipment applications operating in the frequency band from 2,2 GHz to 8 GHz; Part 1: Technical characteristics and test methods
- [13] ETSI EN 302 435-2 v1.2.1 (2006-05) Candidate Harmonized European Standard, Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Technical characteristics fro SRD equipment using Ultra WideBand technology (UWB); Building Material Analysis and Classification equipment applications operating in the frequency band from 2,2 GHz to 8 GHz; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive
- [14] ETSI EN 302 288-1 v1.3.1 (2007-04) Final Draft European Standard, Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Short Range Radar equipment operating in the 24 GHz range; Part 1: Technical requirements and methods of measurement
- [15] ETSI EN 302 288-2 v1.2.1 (2006-05) Candidate Harmonized European Standard, Road Transport and Traffic Telematics (RTTT); Short Range Radar equipment operating in the 24 GHz range; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive
- [16] Electronic Communications Committee, ECC Decision ECC/DEC/(07)01 on Building Material Analysis (BMA) devices using UWB technology, <http://www.ero.dk/documentation/docs/doc98/official/Word/ECCDEC0701.DOC>
- [17] Electronic Communications Committee, ECC Decision on the conditions for use of the radio spectrum by Ground- and Wall- Probing Radar (GPR/WPR) imaging systems ECC/DEC/(06)08, <http://www.ero.dk/documentation/docs/doc98/official/Word/ECCDEC0608.DOC>
- [18] Fa. Y-E Data: Wireless USB Hub, Produktbeschreibung: http://www.yedata.com/multi/yd_300.html
- [19] Fa. Belkin: Cable-Free USB Hub, User manual: http://www.belkin.com/support/dl/P75325_F5U301_manual.pdf
- [20] Fa. Audio-Technica: White Paper SpectraPulse wireless microphone system http://www.audio-technica.com/cms/resource_library/files/adf45cbf16ed2b64/spectrapulse_uwb_white_paper.pdf
- [21] Texas Instruments, Inc.: http://focus.ti.com/pdfs/wtbu/TI_UWB_Brochure.pdf
- [22] Nokia: <http://research.nokia.com/research/programs/uwb/index.html>
- [23] Intel, Inc.: http://www.intel.com/standards/case/case_uwb.htm
- [24] Ghannoum H, D'Errico, Roblin C, Begaud X. Characterization of the UWB on-body propagation channel, Proceedings of EuCAP, Nice, France, 6-10 November 2006

- [25] Klemm M, Tröster G. Textile UWB antenna for on-body communications, Proceedings of EuCAP, Nice, France, 6-10 November 2006
- [26] Mittra R, Bringuir J, Wiart J, Yoo K. Modeling of interaction between body-mounted antennas, Proceedings of EuCAP, Nice, France, 6-10 November 2006
- [27] Time Domain Corp.: RadarVision™:
<http://www.timedomain.com/radarvision/index.html>
- [28] Time Domain Corp.: <http://www.timedomain.com>
- [29] Multispectral Solutions, Inc.:
<http://www.multispectral.com/products/sapphire.htm>
- [30] Farran Technology, Ltd. : http://www.tadarvision.com/tadar_benefits.htm
- [31] Craddock IJ, Preece A, Leendertz J, Klemm M, Nilavalan R, Benjamin R, Development of a hemi-spherical wideband antenna array for breast cancer detection,, Proceedings of EuCAP, Nice, France, 6-10 November 2006
- [32] Kim J-L, Ko C-O, Choi J-I, Choi H-D, Lee A-K, Jang S-H, Kim J-J, Pack J-K, Feasibility study for development of a device for detecting breast cancer, Presentation at the 28th annual meeting of the Bioelectromagnetics Society, Cancun, Mexico, 2006, Abstract Book pp.558-560
- [33] Klemm M, Craddock I, Leendertz J, Benjamin R, Preece A, UWB microwave system for breast cancer detection, Presentation at the EBEA 2007 Conference, Bordeaux 2007, Book of Abstracts S10-1