

Mobilkommunikation und Rundfunk der Zukunft

Konzepte zur Minimierung der Exposition der
Bevölkerung durch elektromagnetische Felder



Herausgeber

Projektträger für das BMBF im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
im Auftrag des
Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Bestellungen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
PT-DLR Öffentlichkeitsarbeit
Köln 51170

Koordination

Projektträger für das BMBF im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Dr. Manfred Siakkou

Realisierung und Gestaltung

FGEU Forschungsgesellschaft für Energie- und
Umwelttechnologie mbH
Projektträger für das BMBF im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Andrea Weber
Markus Sailler
Marco Schmidt

Redaktion

Projektträger für das BMBF im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Birgit Drüen

Druckerei

Buch- und Offset-Druckerei Richard Thierbach GmbH
Mülheim an der Ruhr

Köln 2004

Gedruckt auf Recyclingpapier



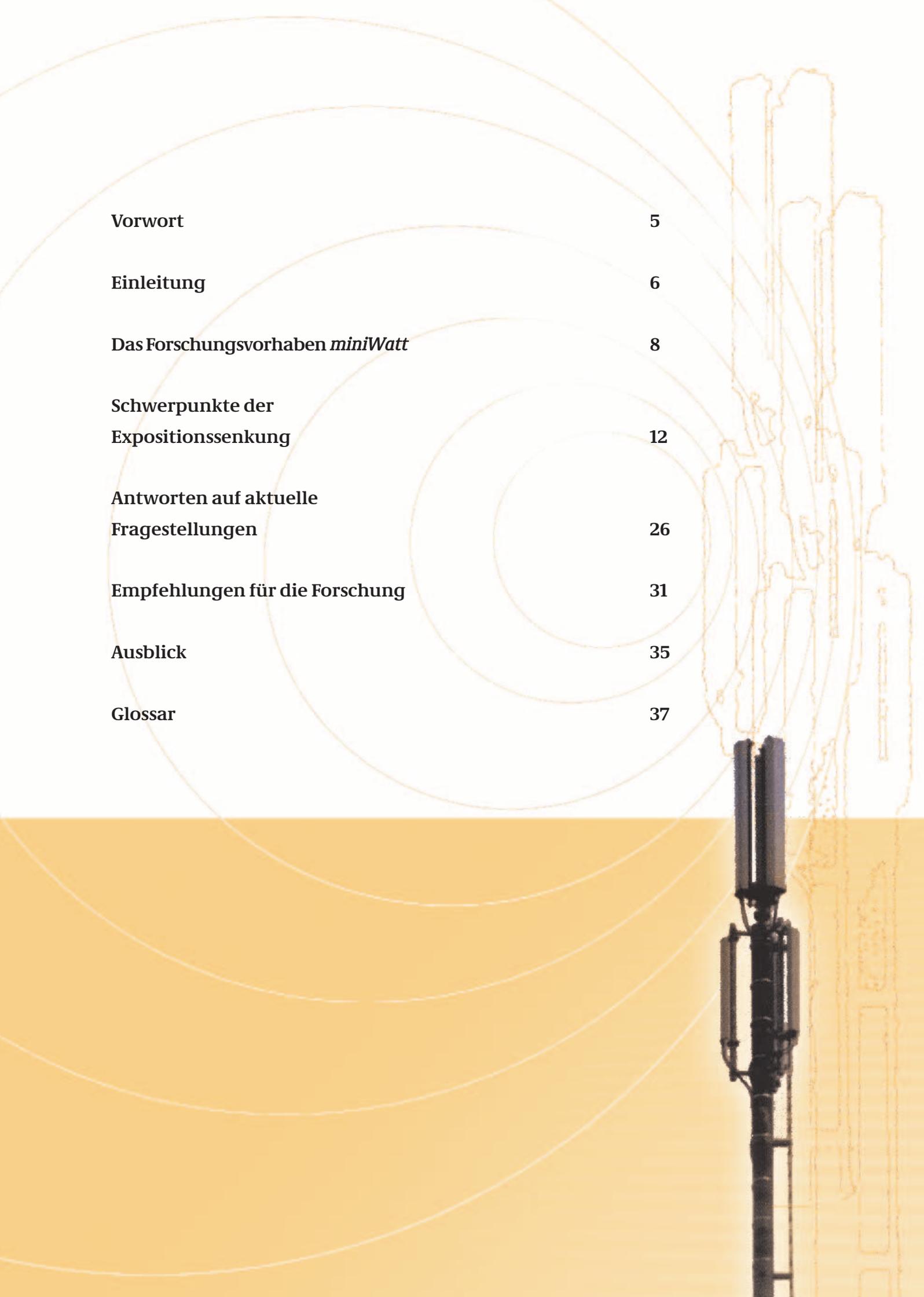
PROJEKTRÄGER FÜR DAS



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Mobilkommunikation und Rundfunk der Zukunft

**Konzepte zur Minimierung der Exposition der
Bevölkerung durch elektromagnetische Felder**



Vorwort	5
Einleitung	6
Das Forschungsvorhaben <i>miniWatt</i>	8
Schwerpunkte der Expositionssenkung	12
Antworten auf aktuelle Fragestellungen	26
Empfehlungen für die Forschung	31
Ausblick	35
Glossar	37

Vorwort

Prof. Werner Wiesbeck
Projektleiter **miniWatt**
Universität Karlsruhe



Die mobile Kommunikation in Verbindung mit dem Internet ist zu einer Wachstumsbranche für Deutschland und Europa geworden. Nicht nur die Wirtschaft kann mittlerweile auf Internet und mobile Kommunikation nicht mehr verzichten. Auch im privaten Bereich sind Computer und Handy nicht mehr weg zu denken. Jeder Mensch ist, wenn er es will, an jedem Ort und zu jeder Zeit erreichbar. Hunderttausende Arbeitsplätze sind im Bereich der mobilen Kommunikation und der damit verbundenen Dienstleistungen geschaffen worden. Es ist zunehmend wichtig, angesichts dieser Wachstumsbedingungen auch einen Blick auf die Begleitumstände zu werfen, die mit der weiteren Verbreitung des Mobilfunks einhergehen. Es besteht bei vielen Menschen die Befürchtung, dass sich die elektromagnetische Exposition durch neue Mobilfunk-Technologien ausweiten kann. Daher hat das BMBF unter dem Titel "**miniWatt**" eine Untersuchung gefördert, deren Ziel es ist, alternative Funkssysteme mit minimaler Strahlungsleistungsdichte zu untersuchen. An diesem Vorhaben waren insgesamt acht Universitäten, drei Industrieunternehmen, vier mittelständische Unternehmen und ein

Fraunhofer-Institut beteiligt. Ziel des Vorhabens waren umfassende Untersuchungen des Potenzials zur Senkung der Exposition durch neue Technologien beim Mobilfunk, in der Bürokommunikation und beim digitalen Rundfunk. Damit hat sich erstmals ein repräsentativer, die ganze Bundesrepublik Deutschland umfassender Kreis von Experten und Institutionen zusammen gefunden, um die Problematik der Strahlungsreduzierung aus technisch-wissenschaftlicher Sicht zu durchleuchten. Die Untersuchung "**miniWatt**" hat durch eine Reihe von Vorschlägen gezeigt, dass in Zukunft auch bei wachsender mobiler Kommunikation die elektromagnetische Exposition der Bevölkerung im Mittel auf heutigem Niveau gehalten werden kann. Dieses Resultat, welches noch durch weitere Forschungsarbeiten untermauert werden muss, zeigt anschaulich, wie neue Technologien dazu beitragen können, eine Wachstumsindustrie, die für unser ökonomisches Wohlergehen notwendig ist, gesundheits- und umweltverträglich zu gestalten.

A handwritten signature in black ink, which reads "Werner Wiesbeck". The signature is written in a cursive, flowing style.

Einleitung

Ob beim Mobilfunk, in WLANs, beim Hörrundfunk oder beim Fernsehen - immer werden elektromagnetische Wellen über Antennen gesendet und wieder empfangen.

Bisher standen bei der Konzeption, Entwicklung und Installation funktechnischer Systeme neben dem Anwendernutzen hauptsächlich die Forderungen nach einem möglichst effizienten Einsatz der knappen Ressource Spektrum und nach einer kostengünstigen Systemrealisierung im Vordergrund. An diesen Forderungen haben sich z. B. die Systemarchitekturen der 2. und 3. Mobilfunkgeneration (GSM und UMTS) hinsichtlich Modulationsverfahren, Fehlerschutzcodierung, Signalverarbeitung und Antennenkonfiguration orientiert.

Die technischen Anforderungen an die einzelnen Sender eines Funksystems werden flankiert von nationalen und internationalen Schutzvorschriften, die Grenzwerte für die spezifische thermische Absorptionsrate SAR des menschlichen Körpers festlegen. Diese Grenzwerte der elektromagnetischen Exposition sind auf Grund langjähriger Erfahrungen als Vorsorgemaßnahme wissenschaftlich gesichert, und deren Einhaltung wird streng überwacht. In der Regel werden die technischen Anlagen weit unter diesen Grenzwerten betrieben.

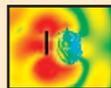
Vorsorgeprinzipien für den Personenschutz

Niedrige Spitzenwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke vermindern die

- + Beeinflussung der Zellmembran durch Gleichrichtung
- + Beeinflussung elektronischer Implantate

Eine niedrige Spezifische Absorptionsrate vermindert die

- + Erwärmung insbesondere in schlecht durchbluteten Körperteilen



Hieraus folgt die Forderung nach niedriger Sendeleistungsdichte

Bild 1: Aufgrund intensiver Forschungsarbeiten sind die heutigen Vorsorgemaßnahmen für den Personenschutz in elektromagnetischen Feldern wissenschaftlich abgesichert. Durch Berechnung der spezifischen Absorptionsrate ist es möglich, die Exposition bestimmter Körperregionen im Hinblick auf die Grenzwerte beurteilen zu können.

Trotzdem sind in Anbetracht der rasanten Entwicklung und der stetig zunehmenden Versorgungsdichte künftiger funktechnischer Systeme vorsorgliche Untersuchungen zum technischen Potenzial gegenläufiger Maßnahmen, insbesondere

In mehreren tausend Publikationen wurde auch nach athermischen Wirkungen elektromagnetischer Felder unterhalb der festgelegten Grenzwerte gesucht. Kein einziges Ergebnis davon konnte bisher in einem unabhängigen Reproduktionsversuch wiederholt, d. h. bestätigt werden. Das schildert die Schwierigkeiten der Problematik. Andererseits ist bekanntlich aus erkenntnistheoretischen Gründen der wissenschaftliche Nachweis einer Unschädlichkeit nicht möglich.

zur Eindämmung der Summenexposition, durchaus angebracht.

Allgemein sind für funktechnische Systeme physikalische und informationstheoretische Grenzen gegeben:

- + **Eigenschaften des Funkkanals**
- + **verfügbare Bandbreite**
- + **Übertragungsrate und -qualität**
- + **Störleistung am Empfängereingang**
- + **Erforderliches Signal zu Störverhältnis**

Diese Parameter bestimmen die unteren Grenzen für die erforderliche Sendeleistung und damit auch die minimal erforderliche Exposition.

Trotzdem kann durch eine Erhöhung der Effizienz am Sender und Empfänger (z. B. durch geeignete adaptive Mehrantennensysteme zur Nutzung der räumlichen Diversität, siehe auch MIMO-Systeme) und eine Reduzierung der Störungen (z. B. Interference Cancellation) die Übertragungskapazität in Zukunft merklich erhöht werden, ohne die elektromagnetischen Leistungsdichten zu steigern.

Auch durch bessere Anpassung der Netzstrukturen und Versorgungsziele kann auf Umweltbelastungen Rücksicht genommen werden. Sind unter diesem Gesichtspunkt kleinzellige oder großzellige Funknetze besser? Kann man zum Schutz der Privatsphäre die elektromagnetische Durchdringung von Wohnungswänden vermeiden? Bietet künftig eine optionale Inhouse-Versorgung durch WLANs Abhilfe?

Im Hinblick auf diese und andere Fragen hat das Vorhaben **miniWatt** die möglichen Potenziale einer Expositionsminde rung erkundet. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen in dieser Broschüre einer technisch interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Der Projektträger für das BMBF im DLR dankt hiermit allen Beteiligten, insbesondere dem Projektleiter, Herrn Prof. Wiesbeck von der Universität Karlsruhe, sowie den Teilprojektleitern, den Professoren Fettweis, Hagenauer, Jondral, Lindner und Walke für ihre fachkundige und engagierte wissenschaftliche Arbeit.

SAR - Spezifische Absorptionsrate

Die SAR ist definiert als Leistungsaufnahme je Kilogramm Körpergewicht. Eine Zunahme der SAR, und damit der Leistungsaufnahme durch hochfrequente Strahlung, führt zu einer Erwärmung des menschlichen Körpers. Bei der Ableitung der Grenzwerte wird davon ausgegangen, dass eine Wärmebelastung des ganzen Körpers und eine übermäßige lokale Gewebeerwärmung durch Strahlung zu vermeiden ist.

Die Exposition (Bestrahlung) von Personen mit einer SAR von ca. 4 W/Kg Körpergewicht führt zu einem Temperaturanstieg von ca. 1° Celsius. Zum Schutz vor Strahlung wurde für die Bevölkerung eine 50-fach kleinere SAR als internationaler Grenzwert festgelegt.

Dies entspricht einer durchschnittlichen Ganzkörper-SAR-Grenze von 0,08 W/kg bei dauerhafter Exposition (lokal ist

eine höhere Exposition möglich, im Kopfbereich sind z. B. 2 W/kg erlaubt).

Dieser SAR-Wert berücksichtigt auch wissenschaftlich nachgewiesene Wirkungen athermischer Art, wie z. B. das Auftreten unzulässiger Impulsspitzen bei Herzschrittmachern.

Bei Einhaltung der Grenzwerte, die für Deutschland in der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) festgelegt sind, beträgt die maximale Temperaturerhöhung 0,02° Celsius und ist damit im Vergleich zu natürlich vorkommenden Schwankungen der Körpertemperatur vernachlässigbar.

Aus diesen Grenzwerten für die SAR sind auch die Grenzwerte für die maximal zulässigen Leistungsdichten hergeleitet. Sie betragen z. B. für 0,08 W/kg bei einer Frequenz von 400 MHz 2 W/m² und steigen bis 2 GHz linear auf 10 W/m² an.

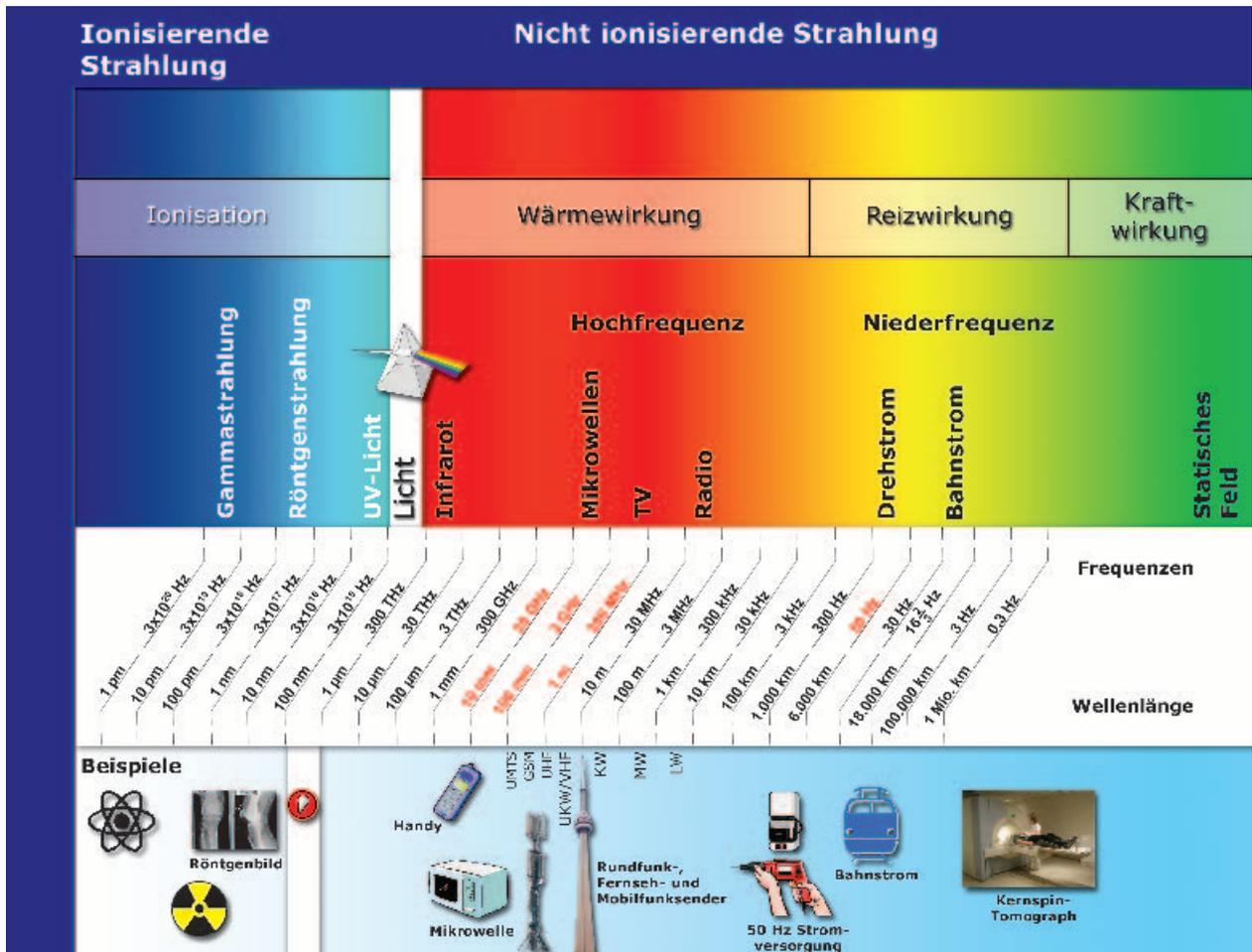


Bild 2: Elektromagnetisches Frequenzspektrum; Elektromagnetische Felder decken den Frequenzbereich vom natürlichen Erdfeld über Felder der Energieversorgung, der Radio- und Mikrowellen, bis hin zum sichtbaren Licht und der Röntgenstrahlung ab. Alle elektrischen Systeme wie z. B. Rundfunk-, Fernseh- und Mobilfunksender, Handys oder Mikrowellenherde erzeugen elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder und basieren auf deren technischer Anwendung.

Das Forschungsvorhaben *miniWatt*

Hinsichtlich der rasanten Zunahme des Einsatzes moderner Funktechnologien stellt sich die Frage nach den Möglichkeiten der Eindämmung der elektromagnetischen Exposition. Wie viel Leistung benötigt die Funktechnik der Zukunft?

Eine Antwort auf diese generelle Frage soll das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsvorhaben *miniWatt* geben.

Konzept und Arbeitspakete

Vom Januar 2002 bis März 2003 wurde unter dem Akronym *miniWatt* das Vorhaben "Alternative Funkssysteme mit minimaler Strahlungsleistungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk und drahtlosen LANS" durchgeführt. Beteiligt waren:

- + 11 Universitätsinstitute
- + 3 Industrieunternehmen
- + 4 mittelständische Unternehmen
- + 1 Fraunhofer-Institut

Die wissenschaftliche Leitung lag in den Händen von Prof. Werner Wiesbeck von der Universität Karlsruhe. Das Projekt war in 7 Teilprojekte mit insgesamt 39 Arbeitspaketen gegliedert.

Ziel des Projektes war die umfassende Untersuchung des Po-



Bild 3: Am Forschungsvorhaben *miniWatt* beteiligte Industrieunternehmen und Forschungsinstitute.

Teilprojekte des *miniWatt* Projektes Leitung: Prof. Wiesbeck

- + Bandspreizverfahren (Prof. Jondral)
- + Raum-Zeit-Signalverarbeitung (Prof. Lindner)
- + Alternative Frequenzbereiche (Prof. Wiesbeck)
- + Selbstorganisierende Netze, Algorithmen und Protokolle (Prof. Hagenauer)
- + Alternative Netze (Prof. Walke)
- + Standardkonforme Entwicklungen beim Mobilfunk (Prof. Fettweis)
- + Standardkonforme Entwicklungen beim Digitalen Rundfunk (Prof. Wiesbeck)

Bild 4: Das Projekt *miniWatt* gliederte sich in 7 Teilprojekte zur Untersuchung standardisierter und alternativer Funkssysteme.

Forschungsschwerpunkte

- + Systemuntersuchungen
UMTS, DVB-T, WLAN, ...
- + Netzstrukturen
ad hoc, Multi-Hop, kleinzellige Netze, ...
- + Protokolle und Kodierung
MAC, ARQ-FEC, ...
- + Übertragungsverfahren und Modulationsarten
Spreizverfahren, Mehrträgerverfahren, ...
- + Algorithmen
Beamforming, Raum-Zeit-Signalverarbeitung, ...
- + Hardware
Antennen, Transceiver, asynchrone Strukturen, ...

Bild 5: Die Forschungsschwerpunkte zur Minimierung der Strahlungsleistung liegen in der Untersuchung verschiedener technischer Potenziale.

tenzials zur Senkung der Exposition durch technische, strukturelle und organisatorische Maßnahmen beim Mobilfunk, bei WLANs und dem digitalen Rundfunk.

Bewertungskriterien

Die Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zum Stand der Technik erfolgte mit Hilfe von 5 Referenzmodellen für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete. Jedem der 39 Arbeitspakete wurde eines der 5 Referenzmodelle zugeordnet. Die Ergebnisse wurden in eine Bewertungsmatrix eingetragen und in 16 Empfehlungen für das BMBF zur weiteren Förderung im Bereich der Kommunikation kondensiert.

Jedes Referenzmodell definiert einen Parametersatz (u. U. durch Verweis auf die jeweiligen Systemspezifikationen), der

Referenzmodelle

- + **2. Generation Mobilfunk: GSM**
- + **3. Generation Mobilfunk: UMTS FDD**
- + **Klasse WLAN: IEEE 802.11b**
- + **Klasse WPAN: Bluetooth**
- + **Digitaler Rundfunk DVB-T 16 QAM (Fernsehen)**

Bild 6: Die Referenzmodelle für 5 wichtige Anwendungsgebiete entsprechend dem Stand der Technik, welche die Randbedingungen wie Nutzbitrate, Bitfehlerrate, Reichweite und Realisierungskosten implizit vorgeben (zur Begriffserklärung siehe Glossar).

Kriterien zur Bewertung der Exposition durch zukünftige Systeme:

maximale Sendeleistung
mittlere Sendeleistung
spektrale Leistungsdichte
Pulshaltigkeit
Realisierbarkeit (relative Kosten jeweils für Basis- und Mobilstation) z. B. 1,2 x GSM

} jeweils für Basis- und Mobilstation

Vergleiche jeweils relativ zu einem Referenzmodell, das den gegenwärtigen Stand der Technik wie Nutzbitrate, Bitfehlerrate, Reichweite und Kosten implizit vorgibt.

Bild 7: Die Kriterien zur Beurteilung der Exposition, welche zum Vergleich alternativer Systeme herangezogen werden.

einheitliche Rahmenbedingungen für verschiedene Teilprojekte mit gleichem Referenzmodell schafft.

Grundsätzlich sollte die bestmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse einzelner Teilprojekte mit gleichem Referenzmodell angestrebt werden.

Diese Bewertungskriterien sind weitestgehend konform zu den derzeitigen nationalen und internationalen Richtlinien des vorsorglichen Schutzes der Bevölkerung sowie des arbeitsrechtlichen Personenschutzes gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Die Bewertungskriterien berücksichtigen die mittleren Sendeleistungen, die bei gleichem Referenzmodell der spezifischen Absorptionsrate (SAR) proportional sind. Insbesondere schließen die Bewertungskriterien auch die spektrale Leistungsdichte und die Pulshaltigkeit der Signale ein, welche im Bereich der Erforschung der Wirkungsmechanismen elektromagnetischer Felder von Bedeutung sind.

Die untersuchten Bewertungskriterien sind im Detail wie folgt definiert:

+ Die **maximale Sendeleistung** beschreibt die größte, also die im ungünstigsten Fall, auftretende Sendeleistung, die von der Antenne des Funkkommunikationssystems abgestrahlt wird. Für die verschiedenen Referenzmodelle wurden jeweils Arbeitspunkte gewählt, bei denen hohe Sendeleistungen auftreten, die aber dennoch nicht als extrem unwahrscheinlich gelten. Die maximale Sendeleistung lässt sich in einem zweiten Schritt in die maximal auftretenden elektrischen und magnetischen Feldstärken überführen, wenn ein bestimmtes Wellenausbreitungsszenario zu Grunde gelegt wird. Die maximale Sendeleistung bleibt bei den meisten Verfahren, die sich statistische Eigenschaften des Funkkanals zu Nutze machen, unverändert gegenüber dem Referenzmodell, da im ungünstigsten Fall keine Reduktion der maximalen Sendeleistung möglich ist.

+ Die **mittlere Sendeleistung** gibt das zeitliche und ggf. das statistische Mittel an. Letzteres gilt für Verfahren, welche die räumlichen und zeitlichen Schwankungen der Funkkanaleigenschaften nutzen, wie z. B. alle Verfahren zur Raum-Zeit-Signalverarbeitung. Aus der mittleren Sendeleistung kann bei Zugrundelegen eines bestimmten Wellenausbreitungsszenarios auf die auftretenden mittleren Leistungsdichten und damit den SAR-Wert geschlossen werden.

dB Umrechnungstabelle:

dB-Wert	Leistungsfaktor
-30 dB	0,001
-20 dB	0,01
-10 dB	0,1
0 dB	1,0
1 dB	1,3
3 dB	2,0
6 dB	4,0
10 dB	10
20 dB	100
30 dB	1000

Bild 8: Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen werden als Verhältniswerte bezogen auf die Absolutwerte des jeweiligen Referenzsystems angegeben. Zur einfacheren Darstellung wird die logarithmische Dezibel (dB)-Skala verwendet (zur dB-Definition siehe Glossar).

+ Die **mittlere spektrale Leistungsdichte** ergibt sich aus der mittleren Sendeleistung bezogen auf die für die Übertragung belegte Bandbreite.

+ Die **Pulshaltigkeit** ist charakterisiert durch den spektralen Leistungsanteil des Signals zwischen 1 Hz und 1 kHz (s. a. Bild 39), bezogen auf den Effektivwert der Gesamtleistung.

+ Die **Realisierbarkeit** der untersuchten Maßnahmen zur Senkung der Exposition wird anhand der geschätzten relativen Kosten bezogen auf das Referenzsystem und des geschätzten Zeitraums der Markteinführung bewertet.

Bewertungsmatrix

Zur Evaluierung der Ergebnisse wurden die für alle Systeme relevanten Kriterien zur Bewertung der Exposition und zur Realisierbarkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen definiert und festgelegt. Hierbei wurde jeweils zwischen der Mobilstation und der Basisstation unterschieden.

Zusammengefasst sind die Ergebnisse in einer Bewertungsmatrix dargestellt. Für die ausführlichen Ergebnisse wird auf den *miniWatt*-Abschlussbericht

www.pt-dlr.de/PT-DLR/kt/abschlussbericht_miniwatt.pdf

verwiesen.

Die Bewertungsmatrix auf Seite 25 (Tabelle 2) gibt einen zahlenmäßigen Überblick über die Möglichkeiten zur Senkung der Exposition für die Referenzmodelle im Mobilfunk, digitalen Rundfunk und in den drahtlosen lokalen Netzwerken. Die darin aufgeführten Zahlenwerte sind als Indizien für mögliche Entwicklungslinien zu verstehen. Damit wird ein Bild der heute ersichtlichen Potenziale zur Senkung der Sendeleistung gegeben, das im Zusammenhang mit den detaillierten Berichten der einzelnen Arbeitspakete im *miniWatt* Abschlussbericht die Gültigkeitsgrenzen definiert.

Die in Tabelle 2 grau unterlegten Einträge bedeuten, dass die maximalen Sendeleistungen unter ungünstigsten Betriebsbedingungen nicht vermindert werden können.

Leider sind die meisten innovativen Techniken mit einer höheren Komplexität und damit mit höheren Kosten verbunden, die sich allerdings im Realisierungszeitraum gegenüber dem heutigen Referenzsystem je nach Marktlage verringern können. Der Realisierungszeitraum bzw. der Zeitpunkt einer möglichen Markteinführung der zukünftigen Technologien ist ebenfalls dargestellt.

Selbstverständlich kann man nicht annehmen, dass die in der Bewertungsmatrix dargestellten Expositionssenkungspotenziale schon zum Zeitpunkt der Markteinführung wirksam werden. Hier muss mit einer erheblich langen Penetrationsdauer gerechnet werden. Diese kann im sehr stark regulierten Rundfunkbereich über 10 Jahre betragen, im Mobilfunk bis zu 5 Jahre.

Zusammenfassung

Zusammenfassend betrachtet bewirkte *miniWatt* die Stärkung des Bewusstseins für eine Expositionsminimierung der Strahlenbelastung zukünftiger Technologien bereits im Entwicklungsstadium durch Einsatz intelligenter Strategien.

Eine wichtige Auswirkung von *miniWatt* besteht darin, dass sich dank dieses Vorhabens erstmals ein repräsentativer, die ganze Bundesrepublik Deutschland umfassender Kreis von Experten und Institutionen des Arbeitsbereiches Funkkommunikation mit dem Ziel zusammengefunden hat, die Potenziale der Verminderung der Exposition durch die Funktechnik wissenschaftlich und technisch zu durchleuchten.

miniWatt hat über die Konzeption von System- und Detailvorschlägen verschiedener Komplexitäten und Zeithorizonte und über das Erarbeiten einer ganzen Bandbreite quantitativer Ergebnisse hinaus folgendes erreicht:

Technik	mögliche Expositionsreduktion
Neuartige Netzstruktur	
Relaisbasierte Pico-Zellen	-10...-20 dB
Selbstorganisierende Netze (ad-hoc-Netze)	-3...-10 dB
WLAN Heimnetze	-13...-30 dB
Kleinzellige Rundfunknetze	-3...-18 dB
Hochfliegende Plattformen	-9 dB
Intelligente Antennensysteme	
Strahlformung und Interferenzreduktion	-3...-10 dB
Mehrantennensysteme mit Raum-Zeit-Signalverarbeitung, MIMO	-2...-10 dB
Innovative Signalverarbeitung	
Mehrträgerverfahren	0...-7 dB
Störungsunterdrückung	-3 dB
Datenkompression	-5...-8,5 dB
Alternative Frequenzbereiche	
Nutzung niedriger Frequenzen (UHF, VHF)	-5...-10 dB
Millimeter-Wellen	geringe Eindringtiefe
Ultrawideband (UWB), Chirp-Verfahren	geringe spektrale Leistungsdichte,
Infrarot	keine hochfrequente elektromagnetische Strahlung
Induktive Übertragung	
Ultraschall	

Tabelle 1: Überblick über die ermittelten Potenziale zur Expositionsreduktion in den einzelnen Teilprojekten bzw. Forschungsschwerpunkten.

- + Sensibilisierung für Probleme der Exposition bereits beim Systementwurf.
- + Einsatz intelligenter Strategien für zukünftige minimale, kontrollierte Strahlenexposition.
- + Klarheit über die Zielstellung, die zukünftige Exposition des Mobilfunks auch bei steigendem Verkehrsaufkommen nicht zu erhöhen.
- + Formierung neuer Fördervorhaben auf dem Gebiet der expositionsgeminderten Funktechnik - mit dem Potenzial, auf diesem Gebiet künftig national und international Maßstäbe zu setzen.

Schwerpunkte der Expositionssenkung

Im Forschungsvorhaben *miniWatt* sind zur Effizienz von Kommunikations- und Rundfunksystemen, insbesondere im Hinblick auf eine mögliche Reduzierung der elektromagnetischen Exposition, wesentliche Ergebnisse erzielt worden. Die untersuchten Verfahren und deren Auswirkung und Einsatzmöglichkeiten in Systemen werden im Folgenden in ihren Kernaussagen dargestellt.

A) Neuartige Netzarchitekturen

Relaisbasierte Picozellulare Netze

Beim Mobilfunk wird die mögliche Verringerung der Funksignalleistung gegenüber einem großzelligen UMTS-System durch Einführung von picozellularen Netzen untersucht. Picozellen erlauben sehr hohe Datenraten, also kürzere Übertragungszeiten und benötigen nur geringe Sendeleistungen der Geräte, da mittlere und maximale Sendedistanz klein sind.

Man kann abschätzen, dass auf alle Menschen, die gleichverteilt über die Fläche angenommen werden, die eingestrahlte Leistung im picozellularen System deutlich geringer als im Referenzsystem UMTS ist, was einerseits an der geringeren mittleren Sendeleistung und andererseits an der stärkeren Dämpfung in dem angenommenen 5 GHz- Frequenzbereich liegt.

In dem betrachteten System, welches auf einem OFDM basierten WLAN System im 5 GHz Frequenzbereich basiert (z. B. HyperLAN/2, IEEE 802.11a/e), wurde im Vergleich zum Referenzsystem UMTS eine mögliche Absenkung der Sendeleistungen von mittleren 10-20 dB für die Basisstation und von 0-3 dB für das Mobilterminal errechnet. Damit scheint es möglich, die Sendeleistung für die Allgemeinheit drastisch zu verringern und gleichzeitig die Sendeleistung beim Nutzer (Mobilterminal) bis zu einem Faktor 2 abzusenken.

Der Verringerung der Sendeleistung steht eine deutlich erhöhte Anzahl von Basisstationen gegenüber, will man mit Pico-Zellen z. B. ersatzweise eine ganze UMTS-Zelle ausleuchten. Dies wirft die Frage nach den Investitions- und Zuführungskosten kleinzelliger Netze auf, wobei die Wirtschaftlichkeit von Sendern niedriger Leistung und hoher Stückzahl durchaus gegeben sein kann.

Die Versorgung (Zuführung) der großen Anzahl von Basisstationen im picozellularen Netz kann kostengünstig mit Hilfe

von Satelliten, HAP-Systemen oder Punkt-zu-Multipunkt Richtfunksystemen realisiert werden. Die Kosten sind dafür aber gegenwärtig sehr schwer abzuschätzen.

Verfahren zur Expositionsminderung

A) Neuartige Netzstrukturen

- + Relaisbasierte Picozellulare Netze
- + Selbstorganisierende Netze
- + WLAN-Heimnetze
- + Kleinzellige Rundfunknetze
- + Hochfliegende Plattformen

B) Intelligente Antennensysteme

- + Beamforming durch Intelligente Antennen
- + Raum-Zeit-Signalverarbeitung mit Mehrantennensystemen

C) Innovative Signalverarbeitungstechniken

- + Mehrträgerverfahren
- + Störunterdrückung
- + Datenkompression

D) Alternative Frequenzbereiche

(Radio-Ressource-Management)

- + Nutzung niederer Frequenzen
- + Millimeter-Wellen
- + UWB, Chirp
- + Infrarot
- + Induktion
- + Ultraschall

Bild 9: Das Forschungsvorhaben *miniWatt* teilt sich in 4 Technikbereiche.

Zellteilung

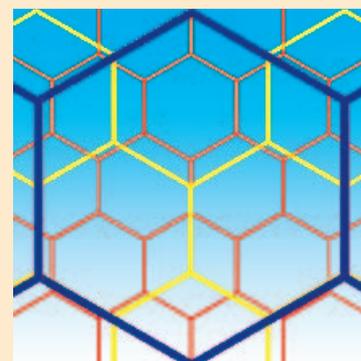


Bild 10: Eine Aufteilung der vorhandenen Zellen in kleinere Einheiten trägt zu einer wesentlichen Verringerung der Exposition bei, erhöht aber die Infrastrukturkosten.

Multi-hop-Kommunikation mit ortsfesten Relais ist dazu geeignet, breitbandige Netze mit picozellulärer Struktur kosteneffizient zu realisieren, da kein drahtgebundener Anschluss der Relais-Stationen nötig ist. Es können mehr Picozellen realisiert werden als unter Berücksichtigung der Kosten des Festnetzanschlusses möglich wären, was zu einer besseren breitbandigen Funkversorgung in "Hot Spots" führt und eine weitere Verringerung der Zellgrößen erlaubt. Da so die maximale und mittlere Distanz zwischen Mobilterminal und Basisstation bzw. Relais reduziert wird, verringert sich auch die benötigte Sendeleistung.

Alle Untersuchungen zeigen, dass Relais- bzw. Multihop-

Reduktion der Sendeleistung durch Verringerung der Sendedistanz

Der Dämpfungsverlust ist das Verhältnis von gesendeter zu empfangener Leistung. Er ist vom Abstand zwischen Sender und Empfänger abhängig. Da der Dämpfungsverlust mit einer höheren Potenz des Abstandes zunimmt, kann er durch Verringerung des Abstandes "überproportional" reduziert werden, z.B. bei einer Halbierung des Abstandes auf ein Viertel. Das kann durch die Einführung von Relais erreicht werden, die das gesendete Signal empfangen und weiter senden. Auf diese Weise kann der Dämpfungsverlust sehr stark reduziert werden.

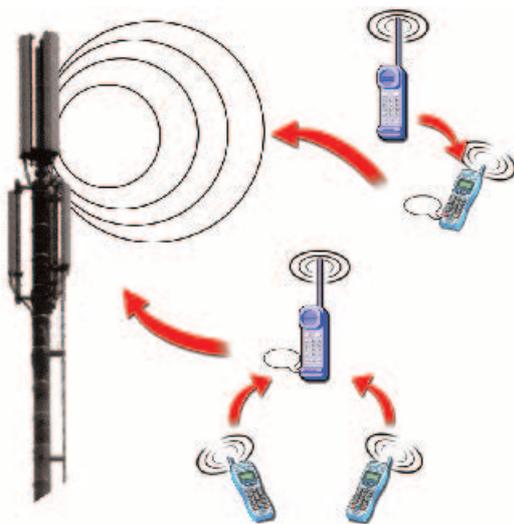


Bild 11: Relais- bzw. Multi-hop-Systeme verkürzen die mittlere Sendedistanz und damit die mittlere Sendeleistung der Funksysteme.

Systeme bei der Expositionsverminderung ein erhebliches Potenzial haben. Die Informationstheorie liefert hier deutliche Hinweise, die noch weiter ausgebaut werden könnten, da Relais- und Multihop-Kanäle noch wenig untersucht wurden.

Generell ist bei niedriger Netzlast eine höhere Sendeleistungsreduzierung möglich als bei hoher Netzlast. Je nach Dienstemix ist eine Verringerung der Gesamtsendeleistung im Uplink von 10 bis 20 dB möglich. Im Downlink ist aufgrund des mit hoher Leistung gesendeten Pilotsignals der Anteil der durch Dämpfungsverlust bestimmten Sendeleistung an der Gesamtsendeleistung relativ gering. Deshalb kann im Downlink keine nennenswerte Reduzierung der Gesamtsendeleistung durch die Einführung von Relais erreicht werden.

Selbstorganisierende Netze

Bei selbstorganisierenden Ad-hoc Netzwerken ersetzt man die herkömmlichen Basisstationen teilweise durch mobile Endgeräte, die in flexibler Weise als Zugangspunkte oder als Relaisstationen dienen können. Dadurch kann u. U. erreicht werden, dass die effektiven Längen der Funkstrecken und damit die erforderlichen abgestrahlten Leistungen vermindert werden.

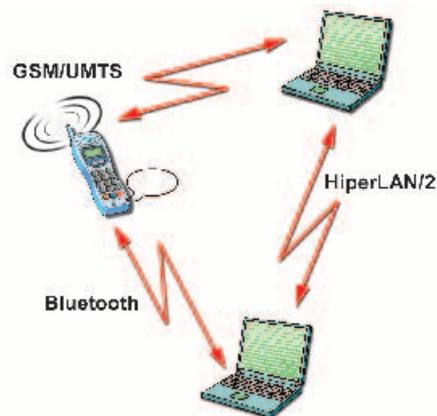


Bild 12: In einem selbstorganisierenden Netz kommunizieren die Teilnehmer direkt miteinander. Die zentrale Basisstation ist dabei nicht in die Verbindung integriert.

WLAN-Heimnetze

In Büroräumen, aber künftig zunehmend auch in Wohnungen, werden Breitbandtechniken der drahtlosen Kommunikation zum Einsatz kommen. Bekannte Standards sind IEEE 802.11 a/b/g/e und Bluetooth. Spezielle Softwaretools, z. B. die Multi-

media Home Platform (MHP), können auch unterschiedliche Datenquellen und Netzsysteme integrieren und damit unterschiedliche Standards realisieren. In dem Maße wie solche Heimnetze zur Verfügung stehen, erübrigt sich die willkürliche Einstrahlung von Mobil- und Rundfunkdiensten durch die Gebäudewände. Daraus ergibt sich die Erwartung, dass die Leistungsdichte, sowohl im Außenbereich als auch in den Innenräumen, im Mittel sinkt.

Die standardisierten Höchstleistungen für solche Anlagen betragen nur 100 bis 200 mW, die Abstrahlung regelt sich in der Praxis funktionsbedingt automatisch auf das jeweils empfangstechnisch erforderliche Minimum (Mindestempfangsfeldstärke) ein.

S [mW/m^2] 0,00 0,01 0,02 0,05 0,10 0,20 0,50 1,0 2,0 5,0 10,0 >10,0

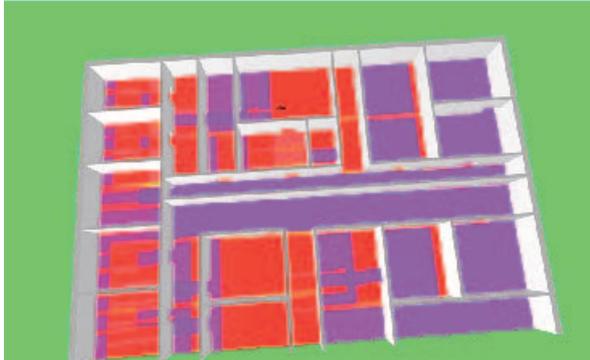


Bild 13: Derzeit durch Mobilfunk, Rundfunk und TV mit einer Gesamtleistung von 10 kW verursachte Strahlungsdichte S in einer 200 m von den Sendern entfernten Büroetage. Die Farbe rot wurde nur zu Darstellungszwecken verwendet. Auch in den roten Bereichen werden die Grenzwerte der 26. BImSchV nur zu weniger als 1 % ausgeschöpft (vgl. Skala).

S [mW/m^2] 0,00 0,01 0,02 0,05 0,10 0,20 0,50 1,0 2,0 5,0 10,0 >10,0



Bild 14: Zum Vergleich: Strahlenexposition durch ein Handy (E) mit einer Leistung von 1 W zur Aufrechterhaltung des Funkkontaktes mit der 200 m entfernten Basisstation.

S [mW/m^2] 0,00 0,01 0,02 0,05 0,10 0,20 0,50 1,0 2,0 5,0 10,0 >10,0

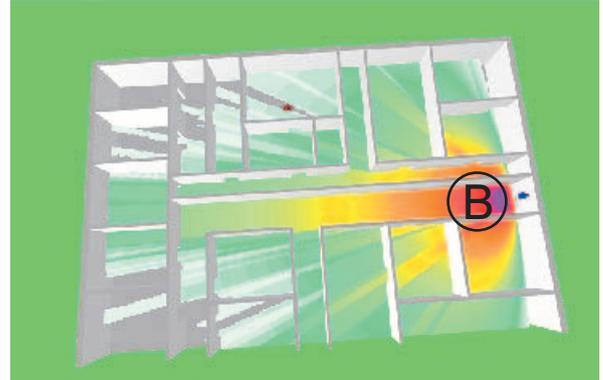


Bild 15: Zum Vergleich: Strahlenexposition durch ein WLAN (B) mit einer Leistung von nur 0,1 W.

Kleinzellige Rundfunknetze

Wie gezeigt werden kann, lassen sich die Maximalwerte der elektromagnetischen Strahlungsleistungsdichte durch den Einsatz zusätzlicher Sender auch in Rundfunknetzen (dense networks) senken.

Hierbei wird die Leistung gleichmäßiger über der zu versorgenden Fläche verteilt. Aus technischer Sicht bietet sich der Einsatz zusätzlicher Sender an, wenn alle Sender bei ein und derselben Trägerfrequenz arbeiten (Gleichwellennetz, SFN) und sich somit die Problematik wechselseitiger Interferenz der Einzelsender vereinfacht.

Ein durchgeführter Vergleich unterschiedlicher Senderkonstellationen in einer hexagonalen Zelle mit dem Fall eines einzelnen in der Zellmitte aufgestellten Senders, ergibt ein Senkungspotenzial der Exposition um den Faktor 10. Zur Berechnung wurde die Reduktion der mittleren Antennenhöhe im dichteren Netz pauschal berücksichtigt.

Die Optimierung eines Rundfunk-Versorgungsnetzes hinsichtlich der Exposition am Beispiel der Regionen von Stuttgart und Hamburg ergibt eine mögliche Reduktion der Sendeleistung um mindestens 10 dB gegenüber einem einzelnen 10 kW Sender (entsprechend ca. 100 kW ERP) bei allerdings schätzungsweise 5-fachem Investitionsaufwand. Kleinere Netzstrukturen führen nicht unbedingt zu einer Leistungsreduzierung, wenn in Betracht gezogen wird, dass bei Zunahme der Anzahl von Sendeanlagen nur niedrige Standorte in Betrieb genommen werden können. Im ungünstigsten Fall einer 9-fachen Senderanzahl in 40 m Höhe (20 km Senderabstand) anstatt einer Netzstruktur in 300 m Höhe (60 km Senderabstand) ergibt sich eine Reduzierung von knapp 3dB. Der höhere Aufwand dürfte dafür immer noch etwa beim Faktor 3 liegen. Hier müssen weitere Untersuchungen Klarheit schaffen.

Senkung der Sendeleistungen geeigneter Netztopologien gegenüber einem Netz aus "Groß"-Sendern

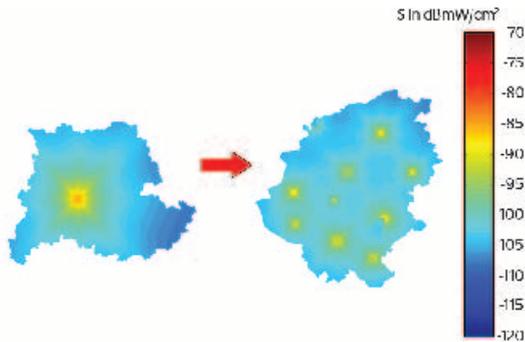


Bild 16: Verbesserte Netztopologien mit mehreren kleinen Sendern können die maximalen Expositionswerte des digitalen Rundfunks erheblich senken.

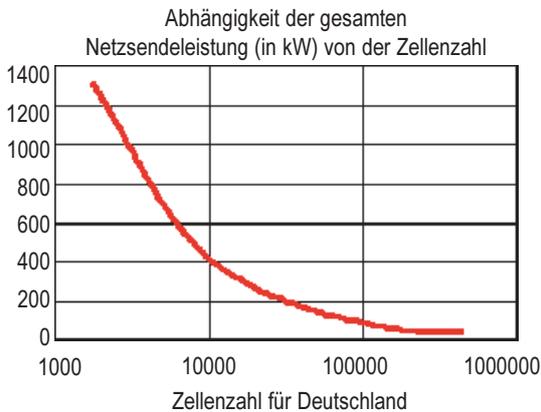


Bild 17: Bei Verkleinerung des Zellradius und Erhöhung der Zellenzahl sinkt die gesamte Netzsendeleistung, da die Leistungsverteilung gleichmäßiger ist.

Hochfliegende Plattformen (HAPs und Satelliten)

Die auf der Erde messbare Funksignalleistung von hochfliegenden Plattformen ist auf die minimal erforderliche Empfangsfeldstärke begrenzt und im Vergleich zum terrestrischen DVB-T- und UMTS-Referenzmodell sehr gering. Durch den Einsatz von intelligenten Antennen können insbesondere die HAPs eine sehr große Kapazität erreichen und gleichzeitig viele terrestrische Zellen versorgen. Dies würde sowohl eine regionale Fernsehversorgung ermöglichen als auch das Zuführungsproblem bei kleinzelligem Mobilfunk lösen. Vergleicht man ein HAP-basiertes System (mit intelligenten Antennen) mit dem UMTS- *miniWatt*-Referenzmodell bezüglich der Abwärtsstrecke ergibt sich im System eine Spitzensende-

leistung, die um 10 dB niedriger ist. Dieselbe Absenkung würde sich auch für die Rundfunkversorgung ergeben. Für die Aufwärtsstrecke (Mobilterminal) benötigt das HAP-System eine um 8 dB geringere Spitzen- und mittlere Sendeleistung gegenüber dem Referenzsystem.

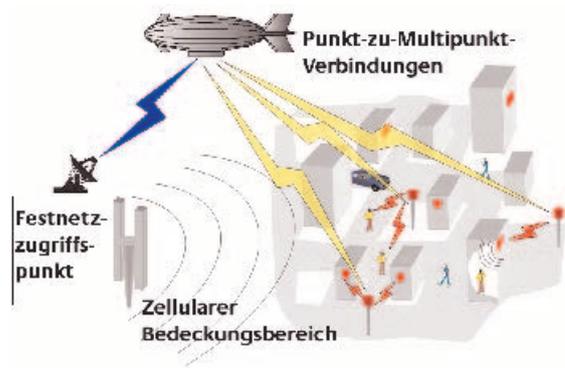


Bild 18: Eine z. B. 20 km hoch fliegende Plattform erzeugt, wie ein Satellitt, auf der Erdoberfläche eine gleichmäßig kleine Strahlungsleistung.

Die Berechnungen ergeben, dass ein HAP-System als UMTS-Basisstation ca. 30.000 Nutzer versorgen kann. Das HAP-System kann Mobilstationen direkt versorgen oder aber als Punkt-zu-Multipunkt System terrestrische Basisstationen mit dem Festnetz verbinden. Aufgrund des dann möglichen Antennengewinns wird die Leistungsbilanz zugunsten des HAPs nochmals deutlich vergrößert. HAPs eignen sich auch für die Versorgung ländlicher Gebiete mit Mobil- und Rundfunkdiensten.

Für die Rundfunkversorgung sind die geostationären Satelliten extrem expositionsarm. Ihre Sendeleistungen sind so dimensioniert, dass auf der Erdoberfläche lediglich die für die Low-Noise-Amplifier (LNA) erforderliche Mindestempfangsfeldstärke herrscht. Aber auch direkt mit Stabantenne mobil empfangbare Satellitensysteme auf niedrigen Umlaufebenen (Low Orbit Satellites) sind in Entwicklung. Ihre Einsatzvorbereitung für die Rundfunkfrequenzbänder befindet sich gegenwärtig in den Anfängen der europäischen Frequenzregulierung und sollte aus Gründen einer drastischen Expositionsverminderung gegenüber der Terrestrik stark unterstützt werden.

B) Intelligente Antennensysteme

Die Ergebnisse von *miniWatt* verdeutlichen, dass insbesondere die Mehrantennentechnik zu einer erheblichen Sendeleistungsreduktion bzw. einer Erhöhung der Systemkapazität

führt. Dies trifft sowohl auf Systeme mit intelligenten Antennen (als Überbegriff für Systeme mit mehr als einer Antenne) als auch auf Multiple Input Multiple Output (MIMO) Systeme (mit mehreren Antennen, jeweils sowohl auf Sendeseite als auch auf Empfangsseite) zu. Speziell letztgenannte ermöglichen eine effiziente emissionsvermindernde Übertragung durch räumlich parallele Übertragung.

Beamforming durch Intelligente Antennen

Intelligente Antennen beruhen auf dem Prinzip, senderseitig die abgestrahlte Leistung auf die anzusprechenden Empfänger zu konzentrieren und damit an anderen Orten die störende Einstrahlung zu minimieren. Die Auswirkung dieser als Beamforming bezeichneten Technologie auf die Strahlenbelastung ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Da die Empfänger mobil sind, muss die Abstrahlungsrichtung der Sendantennen steuerbar sein.

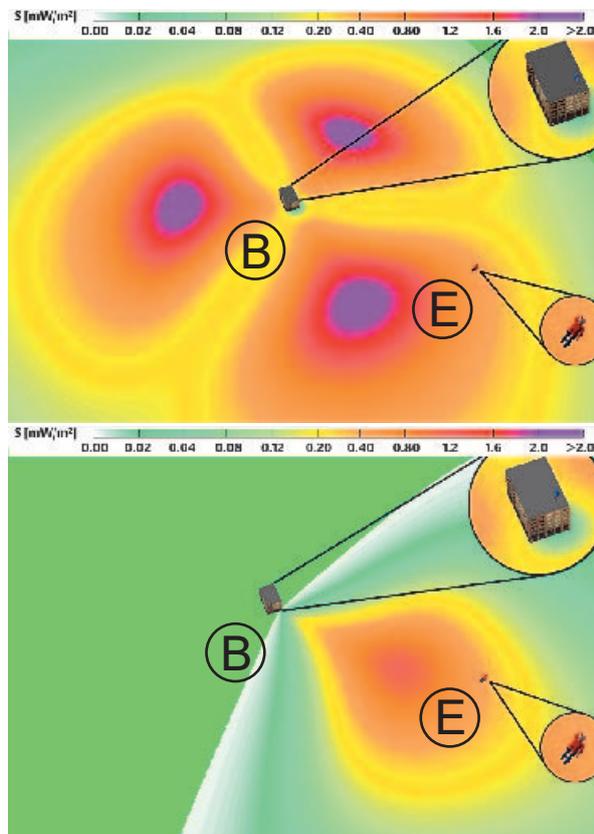


Bild 19: Durch Beamforming wird die Sendeleistung einer Basisstation (B) (Höhe 30 m) gezielt auf den Empfänger (E) gerichtet (unten), wodurch die Sendeleistung von 15 auf 8 W verringert werden kann, was zu einer deutlichen Reduktion der Leistungsflussdichte gegenüber der derzeitigen breitflächigen Abstrahlung (oben) führt.

Eine gewisse Empfängerempfindlichkeit (und damit eine gewisse Mindestempfangsleistung) vorausgesetzt, kann die Gesamtsendeleistung verringert werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen ist das möglich, indem die Sendeleistung nur in Richtung des Empfängers abgestrahlt wird. Auf diese Weise wird das Verhältnis von gesendeter zu empfangener Leistung reduziert.

Mehrantennensysteme mit Raum-Zeit-Signalverarbeitung (MIMO-Systeme)

Drahtlose Übertragungssysteme mit mehr Antennen als konventionell notwendig besitzen ebenfalls ein großes Potenzial zum Absenken von Sendeleistungen. Die Betrachtungen beschränken sich dabei auf maximal 4 Sende- und 4 Empfangsantennen. Mehrere Antennen auf der Empfangsseite und ebenso auf der Sendeseite ermöglichen Diversität. Diese ist mit einem Diversitätsgewinn verbunden, der bei konstanter Übertragungsrate und Bandbreite direkt zum Absenken der Sen-

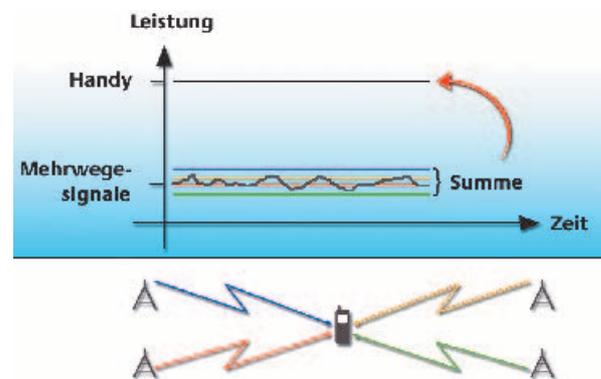


Bild 20: Ein Diversitätsgewinn resultiert aus der Summierung des gleichen Signals von verschiedenen Sendern (Multiple Input) oder Richtungen (Mehrwegeempfang).

deleistung eingesetzt werden kann. Der Diversitätsgewinn ist abhängig vom Abstand der Antennen und vom Typ des Übertragungskanals.

Empfängerseitig wird hierdurch das erwünschte Signal zu Lasten störender fremder Signale hervorgehoben. Ebenso kann im Sendezweig die abgestrahlte Leistung verringert werden.

Eine wesentliche Gruppe der untersuchten Verfahren bilden die sogenannten MIMO-Systeme (Multiple Input - Multiple Output). Sie nutzen Mehr-Antennensysteme und ermöglichen damit eine effizientere Nutzung der am Empfänger verfügbaren Energie. Dies erlaubt einen Abtausch zwischen der Mög-

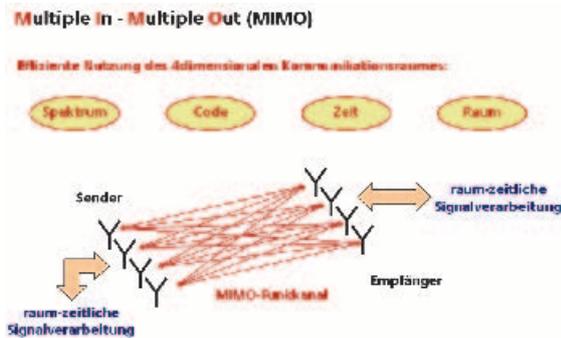


Bild 21: MIMO-Systeme ermöglichen eine Aufteilung des Datenstroms auf ein Mehrantennensystem, sodass jeder der räumlich getrennten Einzelantennen im gleichen Frequenzkanal die volle Transferrate zur Verfügung steht.

lichkeit zur Kapazitätserhöhung und der Sendeleistung. Wenn der aktuell vorliegende Übertragungskanal dies erlaubt, können korrespondierende Antennen auf der Sende- und Empfangsseite anstatt für Sendediversität auch für eine räumlich parallele Übertragung (räumliches Multiplexing) genutzt werden. Da die parallelen Übertragungen im gleichen Frequenzband und zur gleichen Zeit möglich sind, ergibt sich bei konstanter Sendeleistung direkt eine größere Bandbreiteausnutzung (in bit/s/Hz), die wiederum zum Absenken von Sendeleistung genutzt werden kann. Bei einer Bandbreiteausnutzung von weniger als 1 bit/s/Hz schrumpft das Potenzial der räumlich parallelen Übertragung. So ergeben sich bei 1 bit/s/Hz für jeweils 4 Antennen auf Sende- und Empfangsseite z. B. nur 2 dB. Für den gleichen Kanal ergibt sich dagegen bei 4 bit/s/Hz ein Wert von ca. 10 dB.

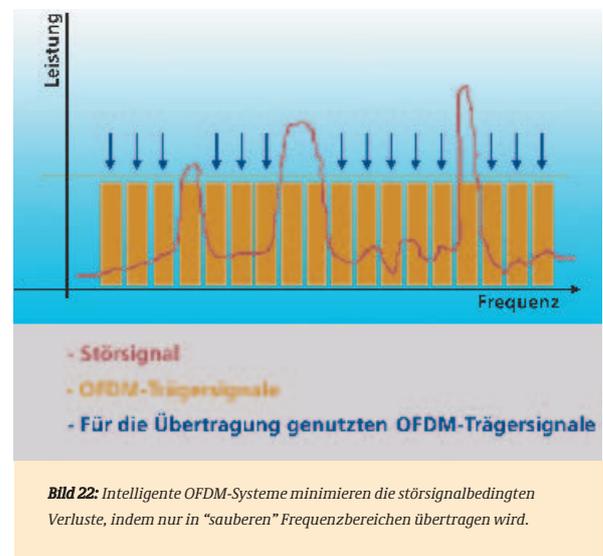
C) Innovative Signalverarbeitungstechniken

Mehrträgerverfahren

Da ein Funkkanal frequenzselektiv ist, kann der Dämpfungsverlust durch Anpassung der Übertragung an die frequenzselektiven Kanaleigenschaften reduziert werden, indem nur in denjenigen Frequenzbereichen Signalanteile übertragen werden, in denen der Signalleistungsverlust gering ist. Die Modulationsart OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) eignet sich besonders zur Nutzung dieses Prinzips, da sie den (breitbandigen) frequenzselektiven Kanal in eine gewisse Anzahl schmalbandiger Kanäle, die einer nicht frequenzselektiven Dämpfung unterworfen sind, transformiert. Die Aufgabe besteht nun darin, die zu übertragende Information auf diejenigen schmalbandigen Kanäle zu verteilen, deren Übertragungsdämpfung besonders gering ist. Eine Methode, dies zu erreichen, ist die adaptive „bit-loading“-

Technik zu deren Umsetzung mehrere Verfahren untersucht wurden. Die erreichbare Reduzierung der Sendeleistung beträgt ca. 1,5 dB.

Multi Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) ist eine Kombination von Mehrträgerverfahren (OFDM) mit Mehrfachzugriffsverfahren (CDMA). Dieses Hybrid-System ist so konzipiert, dass es die Vorteile von beiden Systemen nutzt,



während es die jeweiligen Nachteile vermeidet. Vergleicht man beide Verfahren, so zeigt sich, dass lediglich ein geringer Einfluss von mehreren Antennen in Bezug auf die Diversität zu erwarten ist. Die Spreizung über Träger einer CDMA-Komponente bewirkt in vielen Fällen bereits eine ausreichende Frequenzdiversität. Folglich liegt der Vorteil von MIMO-Systemen auf der Basis von MC-CDMA-Übertragung vor allem in der Möglichkeit, die Sendeleistung der Antennen zu verringern. Sowohl für MIMO als auch für Single Input Single Output (SISO)-Systeme wird eine geringere Empfindlichkeit von MC-CDMA-Systemen gegenüber OFDM-OFDMA und dem WLAN-Standard IEEE 802.11b erwartet. Des Weiteren kann die Rechenkomplexität des Empfängers durch die Wahl von geeigneten Spreizmatrizen angepasst werden.

Störunterdrückung (Interference Cancellation)

Die Leistungsfähigkeit von CDMA-Systemen wie UMTS wird durch Interferenzen begrenzt. Durch starke Interferenzen ist es im Empfänger schwierig oder unmöglich, die übertragene Information zu detektieren. Deshalb müsste die Sendeleistung um den interferenzbedingten Anteil erhöht werden. Das ist nicht nötig, wenn es möglich ist, die starken Interferenzen im Empfänger zu reduzieren oder gar ganz zu eliminieren.

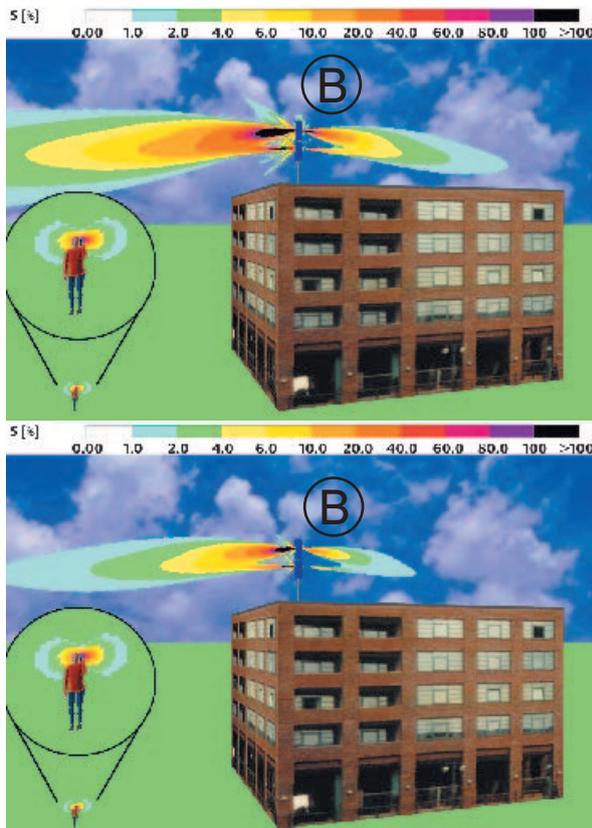


Bild 23: Interferenzminimierende Techniken (Interference Cancellation) ermöglichen eine Reduktion der Sendeleistung an der Basisstation (B) um ca. einen Faktor 2; vergleiche hierzu die Abbildungen oben und unten, in welchen eine typische Mobilfunkbasisstation mit 9 Sektorantennen je 3×35 W und 6×13 W (oben) bzw. 3×11 W und 6×4 W Sendeleistung (unten) abgebildet ist. Die Skalenwerte S geben hier den Prozentsatz der Leistungsdichte vom Grenzwert der 26. BImSchV an.

Interferenzmindernde Techniken nutzen die Tatsache, dass man am Sender oder Empfänger ein mehr oder weniger großes Maß an Informationen über die störenden Signale besitzt. Diese Informationen kann man zur Reduktion der Störeinflüsse ausnutzen. Eine solche Reduktion gestattet es dann, auch die eigene Sendeleistung und damit die vom eigenen System abgestrahlte Störleistung zu vermindern. Drei viel versprechende Ansätze wurden für den Downlink untersucht, die eine Verringerung der Sendeleistung erlauben. Betrachtet wurden die Interferenzen aufgrund von Mehrfachzugriff, Mehrwegeausbreitung und benachbarter Zellen. Diese Konzepte betreffen lediglich den Empfänger, können also ohne jede Änderung der 3G-Spezifikationen sofort umgesetzt werden. Die Kosten sind moderat (ca. 20% höher für die Mobilstation). Da die Höhe der interferenz-bedingten Sendeleistung

von der Netzlast abhängt, ist der SNR-Gewinn und damit die direkte Einsparung an Sendeleistung besonders hoch, wenn die Netzlast hoch ist. So konnte für eine geringe Netzlast ein Gewinn von 0,6 dB errechnet werden, während bei hoher Netzlast ein Gewinn von 4 dB erzielt wurde.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Sendeleistung besteht in der Erhöhung der Empfängerempfindlichkeit. Die Empfängerempfindlichkeit ist die kleinste an der Antenne gemessene Empfangsleistung, bei der eine gewisse in der Spezifikation festgelegte Bitfehlerrate nicht überschritten wird. Jede Komponente im Empfänger fügt zum Signal einen Rauschanteil hinzu, der durch die Rauschzahl der jeweiligen Komponente quantifiziert wird. Bei der Festlegung der Empfängerempfindlichkeit wird vom jeweils technisch Möglichen ausgegangen. Ist man in der Lage, die Rauschzahl des Gesamtempfängers zu reduzieren, dann erreicht man am Detektor ein besseres SNR als er zum Erreichen der vorgegebenen Bitfehlerrate bei der entsprechenden kleinsten Eingangsleistung notwendig ist. Die Konsequenz ist, dass die kleinstmögliche Eingangsleistung und damit die Sendeleistung reduziert werden kann. Durch Optimierung der Parameter im Hochfrequenz-Frontend des Empfängers (z. B. durch digitale Korrektur- und Kalibriertechniken) ist eine Reduzierung der mittleren und der maximalen Sendeleistung um ca. 3 dB möglich. Im praktischen Betrieb ist zu erwarten, dass die Reduzierung der mittleren Sendeleistung noch höher ausfällt. Die praktische und weitgehend kostenneutrale Umsetzung des durch Simulationen ermittelten Gewinns an Empfängerempfindlichkeit ist in den nächsten 3-5 Jahren zu erwarten.

Datenkompression

Eine höhere Datenkompression kann zum einen zur Abstrahlung von mehr Informationen pro Kanal genutzt werden oder zur Ausstrahlung der gleichen Information mit kleinerer Datenrate. In beiden Fällen ermöglicht die Datenkompression eine Senkung der notwendigen Sendeleistungen.

Weltweit wird heute im Rahmen der digitalen Fernsehsysteme (z. B. DVB in Europa, ATSC in USA, ISDB in Japan) für die Quellkodierung die MPEG 2 Bild- und Tonkodierung eingesetzt. Seit 2001 wurde das MPEG 4 Verfahren zu dem sogenannten H.264/AVC-Standard weiterentwickelt. Mit H.264/AVC wird eine etwa 3-fach höhere Kodier-effizienz als bei MPEG 2 bei vergleichbarer Qualität erreicht. Für ein Fernsehprogramm wird nur noch eine Datenrate von ca. 1 Mbit/s benötigt.

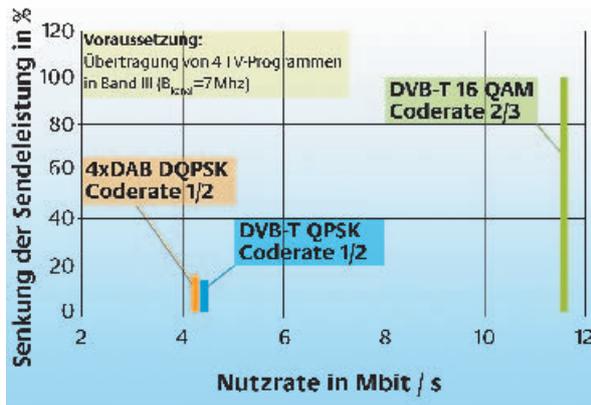


Bild 24: Sendet man Fernsehprogramme mit der neuen hocheffektiven H.264/AVC-Bildkompressionsmethode und mit stark fehlerresistenten Übertragungsverfahren wie DAB oder DVB-T im QPSK-Modus, dann wird nur noch ca. 14% (8,5 dB) der Sendeleistung bei gleicher Programmzahl benötigt.

Bei standardkonformer Integration entstehen nur geringe Zusatzkosten.

Die stetigen Fortschritte bei den Bildkompressionsverfahren deuten darauf hin, dass eine Datenreduzierung um den Faktor 3 gegenüber dem jetzigen Standard möglich sein wird, d.h. man wird in naher Zukunft auch mit DAB/DMB eine dem digitalen Fernsehen vergleichbare Qualität anbieten können. Es stehen somit zukünftig mehrere digitale Verfahren zur Verfügung, die zur Expositionsminde rung eingesetzt werden können.

D) Alternative Frequenzbereiche

Für die effiziente Nutzung der Radioressourcen sollte auch bei der Zuteilung der Frequenzbänder darauf hingewirkt werden, dass mit möglichst geringen Sendeleistungen gearbeitet wird. Die intelligente Verwaltung vorhandener Funkressourcen ist ein bedeutender Gesichtspunkt von Mobilfunksystemen der dritten Generation. Speziell im Hinblick auf die Reduktion der Emission können Radio-Ressource-Management (RRM)-Techniken wie z. B. die Verteilung der Verkehrslast auf mehrere Frequenzbänder als Schlüsseltechnologie betrachtet werden.

Nutzung niedriger Frequenzen

Hierbei bieten niedrige Frequenzbänder (450 MHz bis 900 MHz) Vorteile zur Reduktion der Downlink-Emission aufgrund der deutlich besseren physikalischen Ausbreitungsbedingungen.

Bei den drei verschiedenen Trägerfrequenzen im Bild 25 wurde die Abnahme der gesamten Emission durch Reduktion der Strahlungsleistung des Pilotkanals untersucht. Durch die Wahl eines niedrigen Frequenzbandes kann die abgestrahlte Gesamtleistung der Basisstation erheblich reduziert werden, da aufgrund der geringeren Dämpfung die Pilotkanalleistung - bei garantierter Abdeckung - reduziert werden kann. Ein optimistisches Ergebnis sind -14 dB Sendeleistung, das entspricht einer Senkung der Sendeleistung um 96 %. Hierbei wurde das UMTS-System idealisiert in den Frequenzbändern 450 MHz und 900 MHz betrachtet. Die Realisierbarkeit in diesen Frequenzbändern wurde nicht untersucht. Es könnte erforderlich sein, eine Schmalband-Variante von UMTS zu verwenden (Sub Chip Rate UMTS). Weiterhin kann die abgestrahlte Leistung durch kleinere Zellen reduziert werden (bei gleicher Teilnehmerdichte und gleichem Frequenzband); dabei steigen jedoch die Netzinstallationskosten erheblich an. Zur Zeit sind Bestrebungen zur internationalen Standardisierung zu UMTS bei 450 MHz und 900 MHz im Gange, die bis ca. 2006 abgeschlossen sein werden.

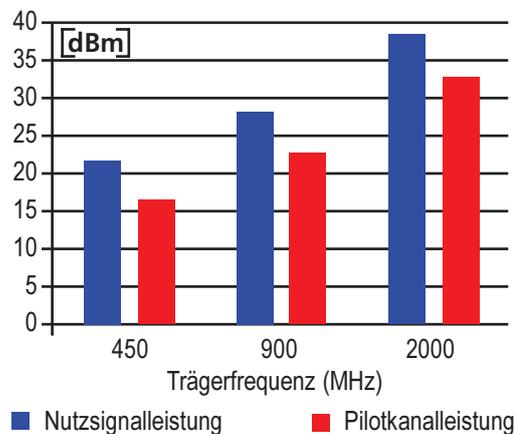


Bild 25: Die Sendeleistung kann bei Verwendung niedriger Frequenzen deutlich gesenkt werden.

Millimeter-Wellen

Die Millimeter-Welle eröffnet der digitalen Übertragungstechnik enorme Bandbreiten für sehr hohe Datenraten. Es wurde sowohl die technische Realisierbarkeit als auch das Potenzial zur Senkung der Exposition betrachtet. Letztere beruht wesentlich auf dem mit abnehmender Wellenlänge zunehmenden Antennengewinn, d.h. der verbesserten Bündelung der elektromagnetischen Wellen, ohne die Antennenfläche ver-

größern zu müssen. Ferner spielen im betrachteten Frequenzbereich über 20 GHz immer stärker Oberflächeneffekte eine Rolle, da die elektromagnetischen Wellen aufgrund des Skin-Effektes nur eine geringe Eindringtiefe in den Körper aufweisen. Die Eindringtiefe nimmt mit steigender Frequenz ab. Diese Frequenzen werden sich daher besonders für hochbitratige Kurzstreckenübertragung eignen. Die technologische Erschließung dieser Frequenzbereiche wird auch zur Entlastung und damit der Reduktion von Expositionen in den Frequenzbereichen um 2,4 und 5 GHz führen.

Ultrawideband/Chirp

Die Federal Communication Commission (FCC) in den USA veröffentlichte Bestimmungen zur Spektrumsnutzung von UWB-Übertragungen. Insbesondere wurde eine Spektrumsmaske eingeführt, die eine sehr geringe spektrale Leistungsdichte ermöglicht hat. Für Kommunikations-Anwendungen in Innenräumen ist dafür das Frequenzband zwischen 3,1 und 10,6 GHz festgelegt worden. Die hier betrachteten Verfahren zur Bandspreizung sind Chirpsysteme, Impulsübertragung und Bandspreizung durch Spreizfolgen. Hierbei zeigt sich oft eine große Nähe zu Verfahren, die auch in der Sensorik angewendet werden (z.B. RADAR). Die erreichbaren Datenraten und Reichweiten sind relativ gering (<10 Mbits, 30m). Ein aufwandsgünstiger Vertreter eines UWB-Übertragungssystems ist die Chirp-Technik. Die Information ist dabei in den Chirp-Pulsen enthalten (z.B. wird eine „1“ durch einen Chirp mit ansteigender Frequenz dargestellt, während eine „0“ durch einen Chirp mit abfallender Frequenz dargestellt wird). Bei sorgfältiger Auslegung entsteht ein Signal, das sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich geglättet ist. Eine typische Anwendung für dieses chirp-modulierte UWB-System ist eine Peer-to-Peer-Kommunikation, wobei die Terminals Daten lediglich über eine relativ kurze Zeit austauschen.

Infrarot

Für Infrarot als Alternative zum Funk spricht neben dem frei verfügbaren Spektralbereich vor allem der Umstand, dass die biologischen Auswirkungen der Strahlung auf den Menschen (insbesondere auf das Augenlicht) zweifelsfrei geklärt sind; in der Bevölkerung herrscht breite Akzeptanz. Vorteile erwachsen auch aus der räumlichen Begrenzung der Strahlung und dem möglichen geringen Preis optoelektronischer Komponenten. Beide Fakten erklären die Dominanz von Infrarot-Fernbedienungen, aber auch die Verbreitung von IrDA-Schnittstellen. Eine starke Einschränkung bei der Verwendung von Infrarot zur Datenübertragung ist durch die Notwendigkeit direkter

Sichtverbindung (Line Of Sight) zwischen Sender und Empfänger gegeben. Des Weiteren ist die Empfängerempfindlichkeit aufgrund des inkohärenten Empfangsprinzips begrenzt. Dies bedeutet insbesondere auch im Zusammenhang mit hohem Umgebungsrauschen durch Wärmestrahlung einen Nachteil. Infrarotkommunikation, die ohne eine direkte Sichtverbindung auskommt, ist nur mit sehr hohen Sendeleistungen zu realisieren, die sowohl stark zu Lasten der Batterielebensdauer als auch an die Grenze der zulässigen Augenbelastung gehen.

Induktive Übertragung

Die Übertragung mittels magnetischer Induktion bei tiefen Frequenzen (11 bis 15 MHz) über kurze Reichweiten eröffnet neue Perspektiven im Bereich der Body Area Networks. Vorgeschlagene Verfahren weisen nur eine sehr geringe elektrische Feldstärke bzw. elektromagnetische Strahlungsleistungsdichte auf, da die Kopplung zwischen Sender und Empfänger über quasistationäre Magnetfelder erfolgt. Die Stärke des verwendeten Magnetfeldes ist deutlich geringer als die durch das ständig vorhandene Magnetfeld der Erde. Die maximal erzielbare Übertragungsrate wird mit 200 kbit/s und einer maximalen Entfernung zwischen 1 und 3 m angegeben. Hierbei wird das Problem von geeigneten isotropen Empfängern mittels einer Kombination von drei Spulen mit nicht zu vernachlässigenden Abmessungen (insgesamt ca. 1 cm x 1 cm x 1 cm) gelöst. Aus heutiger Sicht bietet ein solches System keine Alternative zu Übertragungsstandards wie Bluetooth. Allerdings könnte sich die induktive Kommunikation abhängig von eventuellen Spezialanwendungen in Sensornetzen etablieren.

Ultraschall

Es wurde die Möglichkeit untersucht, das Kommunikationsmedium Schall bzw. Ultraschall zur digitalen Übertragung von Information zu nutzen. Bei dieser Art von Übertragung tritt keine Exposition durch elektromagnetische Felder auf. Als Sender und Empfänger werden piezo-elektrische Wandler eingesetzt, die aufgrund der verfügbaren Technologie die Übertragungsbandbreite jedoch stark begrenzen.

E) Systembetrachtungen

In *miniWatt* wurden die einzelnen Verfahren zur Expositionsminderung bewusst voneinander isoliert betrachtet und ihre Auswirkungen beschrieben. Damit bleibt die Frage offen, ob diese Verfahren und deren Gewinne in einem bestimmten Anwendungsbereich miteinander kombiniert werden kön-

nen. Sicherlich ist das bei Verfahren möglich, die verschiedene Ursachen der Sendeleistungserhöhung bekämpfen. So ist eine Kombination der Verfahren zur Reduktion der Interferenzen mit dem Verfahren zur Erhöhung der Empfängerempfindlichkeit viel versprechend. Ebenso sind andere Kombinationen möglich. Insbesondere die Verfahren zur Reduktion des Dämpfungsverlustes, deren Gewinn durch die Erhöhung der Netzlast und damit der Interferenz geschmälert wird, könnten durch die Ansätze zur Reduktion der Interferenzen profitieren.

Mobilfunknetze

Die Sendeleistung in Mobilfunksystemen kann im Wesentlichen durch den Einsatz bzw. die Nutzung von

- + **kleinzelligen oder intelligenten Netzen – mit oder ohne HAPs-Zuführung**
- + **Mehrantennensystemen**
- + **Intelligenter Signalverarbeitung**
- + **Alternativen Frequenzbereichen**
- + **WLAN-Systemen für die Inhouse-Versorgung**

verringert werden. Es ist zu erwarten, dass die Kombination einzelner Maßnahmen zu einer weiteren Verringerung der Sendeleistung und damit der elektromagnetischen Emission führt. Nach Einschätzung der Experten kann die Kombination unterschiedlicher Verfahren zu einer Reduktion der Summensendeleistung um bis zu 20 dB führen. Der Aufwand und die Kosten für die betrachteten Verfahren sind allerdings sehr verschieden. Da bereits relativ einfach umzusetzende Verfahren eine beachtliche Verringerung der Sendeleistung ermöglichen, werden diese sicherlich zuerst in die Praxis umgesetzt werden.

Insbesondere wäre eine Senkung der Exposition zu erwarten, wenn die Inhouse-Versorgung und damit auf die verstärkte Einstrahlung in den Haus-Innenbereich verzichtet würde (s.a. Bild 26). Die Versorgung der Gebäudeinnenräume könnte durch WLAN-Heimnetze oder Repeater erfolgen.

Rundfunknetze

Die derzeit sowohl im analogen wie im digitalen Rundfunk gesendeten Leistungen sind, verglichen mit den Leistungen der Mobilkommunikation, extrem hoch. Allerdings kann die Leistungsdichte am Boden insbesondere bei großen Antennenhöhen und dem Einsatz von Gleichwellennetzen auch geringer als die des Mobilfunks sein.

Die digitalen Rundfunksysteme wie DVB-T, DAB, DMB und

DRM sind gut geeignet, bei sinnvollem Versorgungsziel, entsprechendem Netzaufbau und geeigneter Modulation, die Spitzenleistungen zu senken.

Theoretisch liegt bei digitalen Fernsehsignalen die notwendige Empfängereingangsleistung etwa um den Faktor 1000 (30 dB) niedriger als bei analogen Signalen. Dies ergibt sich zu etwa gleichen Anteilen aus der Verwendung von Gleichwellennetzen, der robusteren digitalen Modulation und verbesserter digitaler Empfängertechnik.

Praktisch wird aber dieser Digitalisierungsgewinn dazu genutzt, mehr Programme zu übertragen und insbesondere portable Empfänger im Inneren der Gebäude zu versorgen, sodass verschiedene Dämpfungsverluste in der gleichen Größenordnung, wie Bild 27 zeigt, überwunden werden müssen. Zur weiteren Senkung der Exposition durch den digitalen Rundfunk (Hörrundfunk und Fernsehen) wurden dichtere Sendernetze, die Verwendung verschiedener Versorgungsziele und Auswirkungen einer optimierten Bildkompression untersucht.

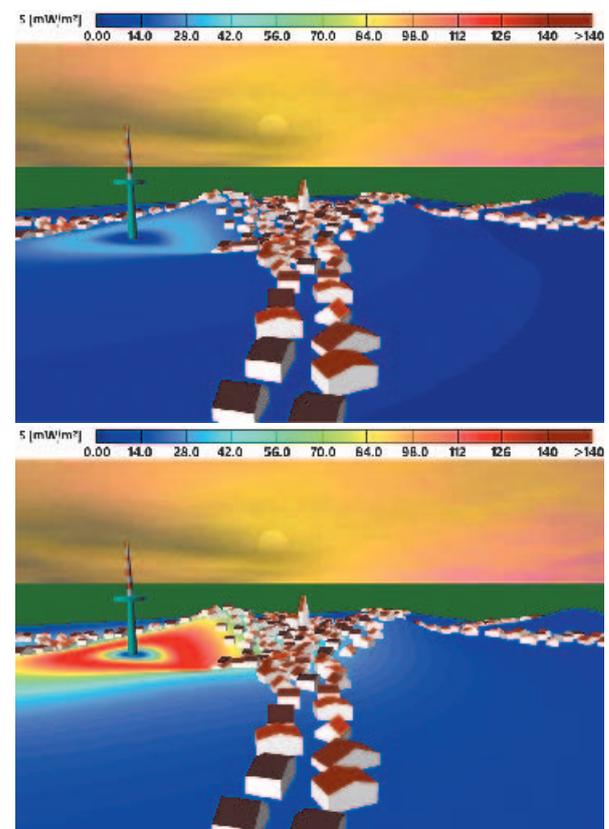


Bild 26: Eine Reduktion der Sendeleistung würde man erreichen, wenn das Versorgungsziel "Inhouse" (Bild oben) durch das Versorgungsziel "Outdoor" (Bild unten) ersetzt werden könnte.

DAB

(Digital Audio Broadcasting) als neuer digitaler Hörrundfunkstandard zur Ablösung von FM-UKW; **DMB** (Digital Multimedia Broadcasting) Erweiterung des DAB-Verfahrens zur Übertragung bewegter Bilder; **DRM** (Digital Radio Mondiale) als neuer Hörrundfunkstandard im Frequenzbereich < 30 MHz **DVB-T** (Digital Video Broadcasting Terrestrial) als neuer digitaler Fernsehstandard;

Als bewährte und expositionsünstige Alternative ist der stationäre Empfang über Dachantenne zu nennen. Allerdings würde in diesem Fall der Mehrwert für die Einführung von DVB-T geringer ausfallen, was letztendlich eine erfolgreiche Marktdurchdringung behindern könnte. Das Geschäft mit portablen Inhouse-Empfangsgeräten würde darunter nicht leiden, wenn drahtlose Inhouse-Verteilssysteme für Kabel-, Satelliten-, Video- und Internetprogramme angeboten werden. Die elektromagnetische Exposition lässt sich in diesem Fall automatisch auf das technisch erforderliche Minimum reduzieren.

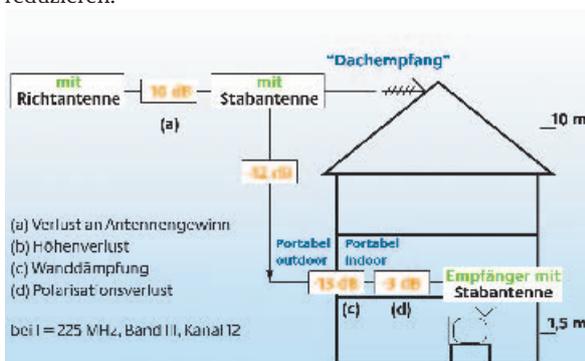


Bild 27: Berechnung des Pegelmehrbedarfs bei Versorgungsziel "portable indoor" beim digitalen terrestrischen Fernsehen.

Hinter den möglichen Schritten zur Reduktion der Leistungsdichte am Empfangsort (Outdoor), welche in Bild 28 dargestellt sind, stehen folgende Maßnahmen:

1. Der Übergang vom analogen zum Digitalen Fernsehen mit dem Versorgungsziel "portable indoor" senkt im allgemeinen die Leistungsdichte am Empfangsort nicht ab, wenn die Programm-Anzahl erhöht wird.
2. Wahl des expositionsünstigen Versorgungsziels "portable outdoor" in Kombination mit WLAN-Inhouse Verteilssystemen (Wegfall der Gebäude-Dämpfung).

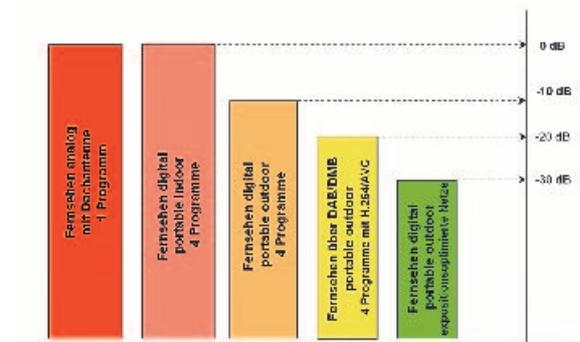


Bild 28: Theoretisch liegt ein großes Potenzial zur Senkung der Exposition im Bereich des Rundfunks und Fernsehens, welches jedoch nur sehr langfristig umsetzbar ist.

3. Anwendung verbesserter Bildkompressionsverfahren spart Datenrate und damit Sendeleistung.
4. dichtere Rundfunknetze, ähnlich denen in der Mobilkommunikation, verringern die hohen Spitzenwerte um die Sendemasten.

WLAN-Heimnetze und Inhouse-Repeater

Inhouse Repeater oder komplette drahtlose Inhouse-Verteilssysteme (WLANs) können die notwendigen Sendeleistungen im Außenraum um den Betrag der Wanddämpfung (je nach Frequenzlage von 8 bis 13 dB) senken, wenn sich das Vorsorge-Paradigma durchsetzt, dass die Durchstrahlung von Wohnungswänden ein "sittenwidriger" Eingriff in die Privatsphäre des Menschen darstellt.

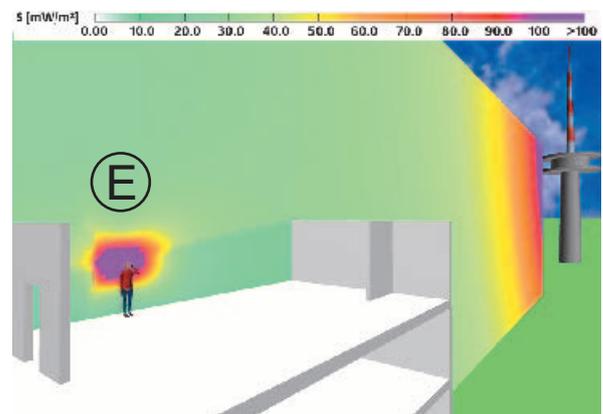


Bild 29: Derzeitige Strahlenbelastung bei Inhouse-Versorgung in einer 200 m von der Antenne mit 10kW Sendeleistung entfernten Büroetage (Dach weggelassen) im Vergleich zum Handy (E) (1 W).

Die Senkung der Sendeleistung reduziert insbesondere die Strahlungsleistungsdichte in der Umgebung der Basisstationen und Rundfunksender zur Grundversorgung und trägt so wesentlich zur Absenkung der Exposition durch elektromagnetische Felder bei. Diese können dann auch entsprechend aufwandsgünstiger ausgeführt und betrieben werden. Auch die technische Ausführung eines einzelnen Repeaters erscheint kostengünstig, da keine Demodulation und Basisbandverarbeitung erfolgen muss, wie es bei einer Umsetzung auf ein anderes System wie z. B. WLAN erforderlich wäre. Zu beachten ist jedoch, dass beim Endkunden ein deutlicher Mehraufwand durch die Notwendigkeit von Zusatzgeräten entsteht, die nur von qualifiziertem Personal aufgestellt und in Betrieb genommen werden können. Letzteres ergibt sich aus der technischen Problemstellung heraus, dass die Repeater sende- und empfangsseitig mit der gleichen Trägerfrequenz (SFN-Netz) arbeiten und deswegen zu Rückkopplungen mit unkontrollierten Oszillationen neigen. Diese sind bislang nur durch fachmännische Entkopplung von Sende- und Empfangsantenne zu vermeiden. Unsere Handwerksbetriebe erwarten solche politisch gewollten zusätzliche Beschäftigungseffekte für Arbeits- und Ausbildungsplätze in diesem äußerst bedeutsamen Zukunftsmarkt.

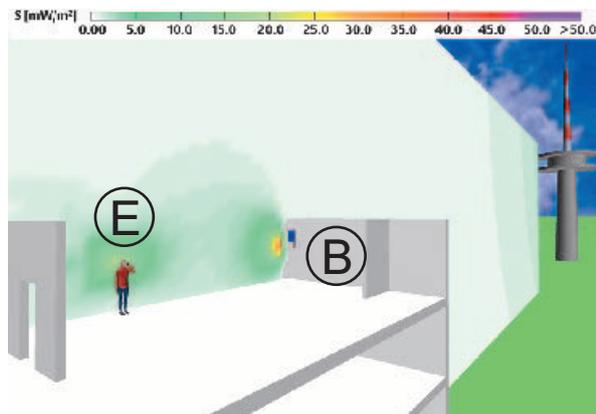


Bild 30: Zukünftige Strahlenbelastung, wobei die Sendeleistung durch das Versorgungsziel "outdoor" um etwa das 10-fache geringer ist als bei Inhouse-Versorgung. Durch den Inhouse-Repeater (B) (0,1 W) wird die Sendeleistung des Handys auf 0,1 W heruntergeregelt, weil dieses nicht mehr die Gebäudewände durchdringen muss.

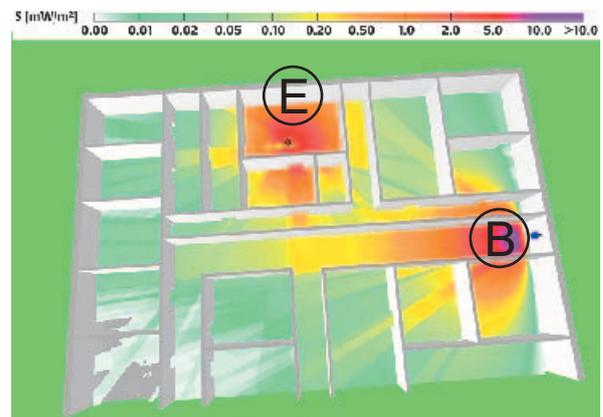


Bild 31: Durch Handy (E) und Inhouse-Repeater (B) (0,1 W) verursachte Strahlung im Büro. Durch den Inhouse-Repeater wird das Handy von 1 auf 0,1 W heruntergeregelt (vergleiche hierzu Bild 14).

WPAN

Wireless Personal Area Networks (WPANs) werden in den kommenden Jahren bei der drahtlosen Rechnernetzwerk und im Haushalt enorm an Bedeutung gewinnen. Bei Reichweiten von unter zehn Metern werden Kleinstzellen in Gebäuden bedient. Dabei wird es künftig auf hohe Datenraten bei sicherer Übertragung ankommen, d.h. die Ansprüche gehen deutlich über die von Bluetooth angebotenen Dienste hinaus.

Eine der vielversprechenden aufkommenden Technologien für WPANs ist die Ultra Wide Band (UWB) Übertragung, deren Standardisierung von der Task Group IEEE 801.15.3a des amerikanischen Institute of Electrical and Electronics Engineers betrieben wird. UWB bietet den Vorteil einer äußerst niedrigen spektralen Leistungsdichte und benötigt, da UWB als Overlay-System einsetzbar ist, kein exklusives Frequenzband.

Schlussbemerkungen

Die Motivation eines Infrastrukturanbieters, Netzbetreibers, Endgeräteherstellers oder normalen Käufers wird primär nicht darin bestehen, etwas teureres ohne gesteigerten direkten Gebrauchswert anzubieten oder zu nutzen. Nahezu alle untersuchten und empfohlenen Verfahren führen aber nicht nur zu höheren Kosten, sondern auch zu höherer Übertragungseffizienz. Und genau darin besteht die Chance der Vermarktung.

Dies soll am Beispiel der Interference Cancellation für GSM

erläutert werden: Bei hoher Verkehrslast führt das Verfahren zu einer merklichen Kapazitätserhöhung ohne Zunahme der Sendeleistung, bei niedriger Verkehrslast wird die Sendeleistung bis auf das Funktionsminimum heruntergeregelt. Der wirtschaftliche Aspekt ist vorrangig - und trotzdem tritt der gewünschte Umwelteffekt ein. Dieses Beispiel kann man durchaus verallgemeinern. Effektivitätssteigerung durch innovative Verfahren heißt immer auch sparsamerer Einsatz von Sendeleistung. Und das lässt uns hoffen ...

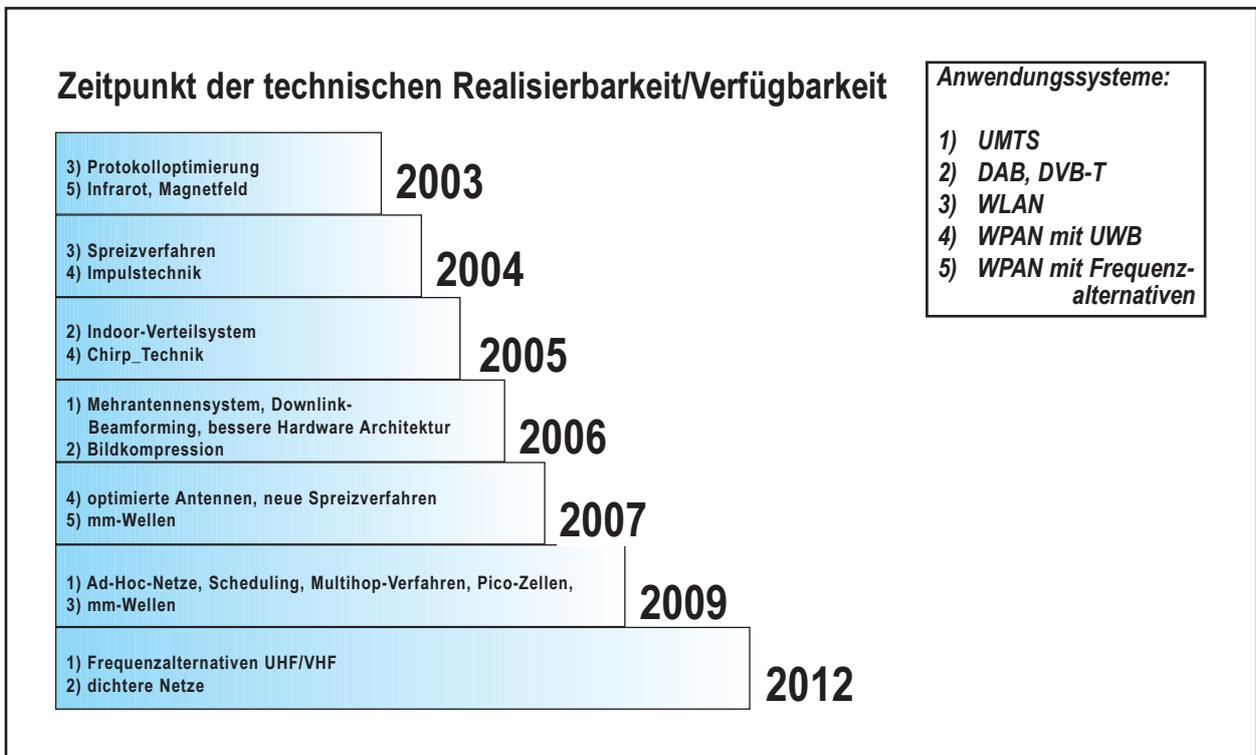


Bild 32: Zeitraum der Realisierbarkeit und Markteinführung zukünftiger Technologien, von denen ausgehend eine Senkung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern erfolgen kann.

miniWatt Bewertungsmatrix	Basisstation		Mobilstation		Realisierbarkeit des Systems		
	maximale Sendeleistung P_{BP}	mittlere Sendeleistung P_{Bav}	maximale Sendeleistung P_{MP}	mittlere Sendeleistung P_{Mav}	Kosten der Basis- stationen	Kosten der Mobil- stationen	Zeitraum der Marktein- führung
die verwendete Technik							
Zellularer Mobilfunk UMTS (Referenz: UMTS-Utra-FDD)	43 dBm	36 dBm	24 dBm	-5 dBm	100.000 EUR	500 EUR	2002
Relaisbasierte Picozellen	-10...-20dB	-10...-20dB		0...-3dB	4 x	0,3 x	mittelfristig (2009)
Ad-hoc-Netze	0 dB	-6...-10dB	0 dB	0...-5dB			
Radio-Ressourcen-Management		0...-14dB		-1 dB	2 x	1,5 x	mittelfristig (2009)
Frequenzalternativen (UHF/VHF)	-5...-20dB	-5...-10dB					langfristig (>2012)
Downlink-Beamforming	0 dB	-2...-10dB	0 dB	-4 dB	2 x	1 x	kurzfristig (2006)
Mehrantennensysteme							
Störunterdrückung	-3 dB	-3 dB					
HAPS	-10 dB			-8 dB	4 x	2 x	ungewiss
Zellularer Mobilfunk GSM (Referenz: GSM)	43 dBm	35 dBm	30 dBm	22 dBm	80.000 EUR	1 x	2002
Störunterdrückung	0 dB	-4 dB	0 dB			1,2 x	sofort (2003)
Terrestrischer Rundfunk DVB-T (Referenz: DVB-T 16 QAM)	77 dBm	70 dBm			500.000 EUR	200 EUR	2002
Inhouse-Verteilnetz	-13 dB	-13...-30 dB					
dichtere Netze	-10 dB	-10 dB			5 x	2,5 x	kurzfristig (2004)
Bildkompression	0 dB	-5...-8,5 dB				1,2 x	langfristig (>2012)
WLAN-Anwendungen (Referenz: IEEE802.11b)	20 dBm	18 dBm	20 dBm	15 dBm	500 EUR	150 EUR	2002
Multihop-Verfahren	0 dB	0 dB	-1...-10 dB	-9 dB	1 x	1 x	mittelfristig (2009)
Mehrantennensysteme	0 dB	-(9-16) dB	0 dB	-9...-12 dB	2 x	2 x	kurzfristig (2004)
Neue Spreizverfahren	0...-7 dB	0...-7 dB	0...-7 dB	0...-7 dB	1,1 x	2 x	
Protokolloptimierung		-3 dB		-3 dB	1 x	1 x	sofort (2002)
Störunterdrückung		-2 dB		-2 dB	1,1 x	1,1 x	sofort (2003)
WLAN-Anwendungen UWB nach FCC (Referenz: UWB-Link 10m, AWGN)	-26 dBm	-29 dBm	-26 dBm	-29 dBm	1 x	1 x	
Impulstechnik	+6 dB						kurzfristig (2004)
Chirp-Technik		+9 dB			0,8 x	0,8 x	kurzfristig (2005)
Neue Spreizverfahren	+5 dB		+5 dB		1 x	1 x	
optimierte Antennen		-4 dB		-4 dB			mittelfristig (2009)
WLAN-Anwendungen mit Frequenz- alternativen (Referenz: Bluetooth)	20 dBm	16 dBm	20 dBm	16 dBm	150 EUR	150 EUR	2002
Infrarot	keine				0,9 x	0,9 x	sofort (2002)
Magnetfeld	expositionsrelevante elektromagnetische				0,7 x	0,6 x	sofort (2003)
Schallwellen	Strahlung				1,4 x	1,4 x	unwahrscheinlich

Tabelle 2: Die Bewertungsmatrix (hier stark vereinfacht) fasst die wichtigsten Ergebnisse der **miniWatt**-Studie zur Senkung der Exposition für die Referenzmodelle im Mobilfunk, digitalen Rundfunk und in den drahtlosen lokalen Netzwerken zusammen. Senkungen der Sendeleistung und der Kosten sind in grün gekennzeichnet, Erhöhungen in rot.

Antworten auf aktuelle Fragestellungen

Im Forschungsvorhaben *miniWatt* sind zur Effizienz von Kommunikations- und Rundfunksystemen, insbesondere im Hinblick auf eine mögliche Reduzierung der elektromagnetischen Exposition, wesentliche Ergebnisse erzielt worden, die Antworten auf folgende aktuelle Fragestellungen geben.

Welche Reduktion der Strahlenbelastung werden zukünftige Mobilfunk- und Rundfunksysteme erzielen können?

Neue Systeme können erheblich effizienter werden, d.h. größere Datenmengen bei der gleichen gesendeten Leistung übertragen und damit die gesendete Energie besser nutzen. Die Erhöhung der Effizienz lässt sich in eingeschränktem Maße auch in eine Reduzierung der gesendeten Leistungen umsetzen.

Eine merkliche Reduzierung der gesendeten Leistungen (Faktor 10) ist in Zukunft durch eine Verdichtung der Infrastruktur, d.h. durch die Einführung kleinzellulärer Strukturen, zu erzielen. In der gleichen Größenordnung dürfte auch das Senkungspotenzial durch eine intelligenterere Signalverarbeitung und die Verwendung von Mehrantennensystemen liegen.

Welche Strahlenbelastungen sind durch Mobilfunk- und Rundfunkanwendungen zukünftig in verschiedenen Umfeldern zu erwarten?

Im **privaten Bereich** wird die Nutzung der drahtlosen Kommunikation und Steuerung in den kommenden Jahren tendenziell zunehmen. Bei der zu erwartenden verbesserten Effizienz der Systeme wird im günstigsten Fall die elektromagnetische Belastung konstant bleiben.

Im **Büro** werden zunehmend Breitbandtechniken (WLANs) in der drahtlosen Kommunikation eingesetzt. Daraus ergibt sich die positive Erwartung, dass die spektrale Leistungsdichte am Arbeitsplatz sinkt, wenn entsprechend die Sendeleistung der Außenantennen gesenkt werden kann.

Auch **unterwegs** werden die Kommunikationsnetze in Zukunft dichter. Durch kleinere Funkzellen und die damit ermöglichten kleineren Sendeleistungen sowie die Nutzung neuer Techniken wird die elektromagnetische Belastung auch unterwegs geringer werden.

Ein erhebliches Potenzial zur Senkung der Exposition ist im Aufbau des digitalen Rundfunks zu erkennen, da systembe-

dingt für die digitale Übertragung bei sonst gleichen Versorgungsbedingungen weniger Sendeleistung benötigt wird als bei der analogen Übertragung. Dies gilt gleichermaßen für alle Rundfunkbereiche, also Hörrundfunk und Fernsehen. Allerdings wird derzeit die Erweiterung der Versorgung auf Gebäudeinnenräume (Versorgungsziel "portable Indoor") angestrebt, was wiederum eine Erhöhung der Sendeleistung erfordert, sodass die zu erwartende Strahlenbelastung am Empfangsort etwa wieder dem Niveau des bisherigen analogen Fernsehens entspricht.

Andererseits können mittelfristig hochleistungsfähige Bildkompressionsalgorithmen eingesetzt werden. Die Bildkompression kann zur Senkung der benötigten Mindestempfangsfeldstärken beitragen, denn jedes nicht übertragene Bit reduziert die erforderliche Sendeleistung.

In welchem Zeitraum wird die verringerte Strahlenbelastung durch den zukünftigen Verkehrszuwachs kompensiert und wie wird sich die Gesamtlast entwickeln?

Die Prognosen sagen ein konstantes Wachstum der drahtlosen Kommunikation voraus. Durch Anwendung von Effizienzsteigernden Maßnahmen in zukünftigen Systemen wird erwartet, dass die mittlere Belastung bis zum Jahre 2015 nahezu konstant bleibt. Auch für den digitalen Rundfunk ist zu erwarten, dass die Emission auf dem aktuellen Stand verbleibt. Jedoch ist ein großes Potenzial zu Verbesserungen erkennbar, wenn die erwartete Verschmelzung von Rundfunk und Mobilfunk zum Tragen kommt und damit die Fernsehlandschaft teilweise auf die leistungsärmeren Mobilfunk- und DAB/DMB-Infrastrukturen abgebildet werden.

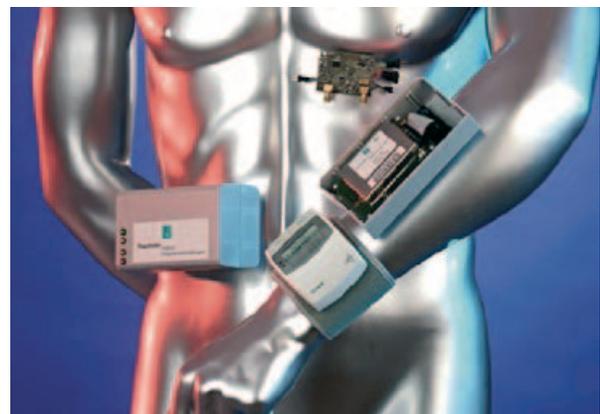


Bild 33: Darstellung zukünftiger Systeme mit vollkommen neuen Anwendungen wie z.B. Body Area Networks. Die Miniaturisierung der Geräte, möglichst auf Chipgröße, ist Gegenstand der aktuellen Forschung. (Quelle: FhG-IAF)

Wie ist die Strahlenbelastung völlig neuer zukünftiger Systeme zu bewerten?

Neue Systeme mit vollkommen neuen Anwendungen, z.B. Body Area Networks, können mit elektromagnetischen aber auch mit anderen Medien wie Infrarot oder magnetischer Induktion aufgebaut werden. Grundsätzlich gilt, dass die Sendeleistungen überproportional stärker sinken, je kürzer die Übertragungswege sind. Allerdings müssen unter ungünstigen Bedingungen, wie bei der Fahrzeuginnenraumübertragung, merkliche Reserven vorgehalten werden, um eine hohe Übertragungsqualität zur Gewährung der Sicherheit zu erzielen.

Wie ist der Vergleich zwischen Rundfunksystemen und Mobilfunksystemen?

Aufgrund von kleineren Zellradien bei Mobilfunksystemen gegenüber den heutigen Versorgungsgebieten eines Rundfunksenders sind die benötigten Sendeleistungen für Mobilfunksysteme bis zu einem Faktor 1000 kleiner.

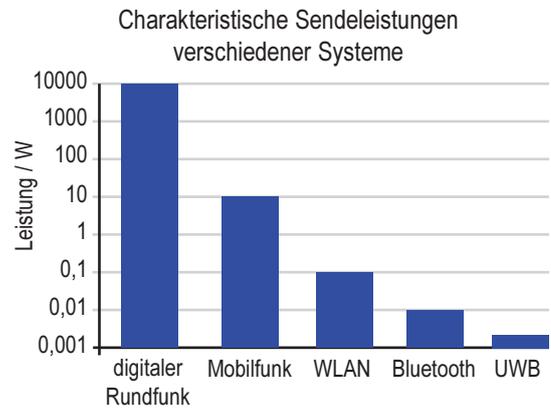


Bild 35: Darstellung der Sendeleistung verschiedener Funksysteme im Vergleich. Es handelt sich um typische Eingangsleistungen an Einzelantennen. Für die räumlichen Graphiken zur Illustration der Leistungsdichten wurden auch höhere Werte als Summenleistungen für mehrere Antennen (vereinfacht mit Dipolcharakteristik) angesetzt.

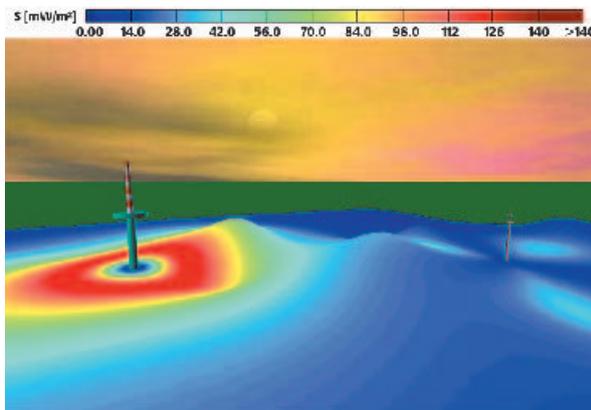


Bild 34: Vergleich der Leistungsflussdichte von Rundfunk und Mobilfunk auf der Erdoberfläche. Der Rundfunksender mit 10 kW Antenneneingangsleistung (entspricht ca. 100 kW ERP) ist 50 m hoch. Der 25 m hohe Mobilfunkmast mit 3 x 90 W erzeugt auf dem Boden die drei typischen Maxima. In Bereichen mit Farbe rot werden die Grenzwerte der 26. BImSchV ca. zu 5 % ausgeschöpft, bei Farbe blaugrün (um den Mobilfunkmast) mit 2 %. Natürlich muss man sich in der Praxis die Verteilung der Mobilfunkmasten "flächendeckend" vorstellen.

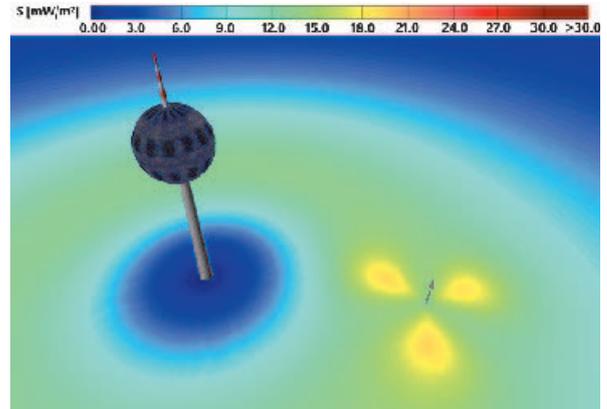


Bild 36: Funkturm Berlin Alexanderplatz (300 m Höhe, 45 kW) im Vergleich mit einer Mobilfunkbasisstation in 20 m Höhe mit einer Leistung von 3 x 21 W.

Die für den einwandfreien Empfang erforderlichen minimalen Leistungsflussdichten liegen jedoch bei einem digitalen Fernsehsystem und beim digitalen Mobilfunk in der gleichen Größenordnung. Das bedeutet, dass an den Zellgrenzen der Systeme, also im jeweils expositionsgünstigsten Fall, eine vergleichbare Exposition vorliegt. Die maximalen Leistungsdich-

ten in der direkten Umgebung einer Basisstation oder eines Fernsehsenders sind abhängig von der Sendemasthöhe, den jeweiligen Antennencharakteristika und der Sendeleistung. Günstige Verhältnisse trifft man an, wenn eine Leistungsbeschränkung der Endverstärker, z.B. wegen Gleichwellen-Netzbetriebes in Kombination mit benachbarten Sendern gleicher Frequenz, möglich und wegen Linearitätsproblemen notwendig ist (Bild 36).

Wie verhält sich die Strahlenbelastung im Nahfeld eines Endgeräts zur Strahlenbelastung durch Basisstationen? In welchem Abstand vom Endgerät überwiegt der Einfluss der Basisstation?

Im Aufenthaltsbereich von Mobilfunk-Basisstationen sind in einem typischen Abstand von 100 bis 200 m die maximalen Leistungsdichten um etwa den Faktor 500 geringer, als von einem Mobilfunkgerät am Kopf verursacht wird.

Hieraus ergibt sich die Abschätzung, dass der Abstand von einem Mobilgerät größer als 1 m sein müsste, damit die Leistungsdichte des abgestrahlten Feldes die der Basisstation erreicht. Dabei ist anzumerken, dass vielfach die systematischen Verbesserungen bei der Konzeption der Basisstationen vorzunehmen sind, da sie mehr Freiheitsgrade zur Optimierung bietet. Eine empfindlichere Basisstation ermöglicht es dem Mobilterminal, mit geringerer Leistung zu senden. So werden beispielsweise vom Einsatz intelligenter Antennen allein bei der Basisstation Einsparungsmöglichkeiten der Sendeleistung von bis zu 50 % erwartet, die aufgrund der Symmetrie der Verbindung auch beim Mobilterminal zu realisieren sind.

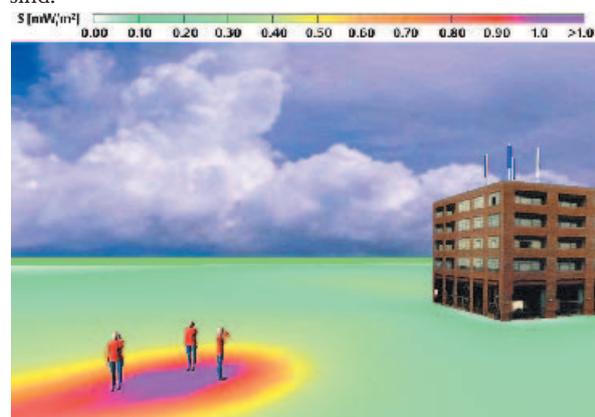


Bild 37: Im Alltag überwiegt die Strahlenbelastung durch Handys gegenüber der von Mobilfunkbasisstationen. Die im Bild dargestellte Leistungsdichte wurde in 1 m Höhe berechnet und aus Darstellungszwecken auf den Boden projiziert

Wie vergleichen sich die vorhandenen Funkssysteme hinsichtlich Sendeleistung und Pulshaltigkeit?

Die untersuchten Systeme lassen sich nach den mittleren abgestrahlten Sendeleistungen und der Anzahl installierter Anlagen klassifizieren. Sowohl hinsichtlich individuell als auch insgesamt abgestrahlter Leistung dominieren Systeme des Rundfunks und Fernsehens.

Speziell bei den Mobilfunkdiensten wurde das Kriterium Pulshaltigkeit betrachtet. Die Pulshaltigkeit beschreibt den Leistungsanteil des gleichgerichteten Sendesignals zwischen 1 Hz und 1 kHz, bezogen auf die Gesamtleistung. Sie hängt wesentlich von den verwendeten Übertragungsprotokollen ab, bei WLAN und Bluetooth außerdem noch von der Art der zu übertragenden Daten, z.B. Internet-Download oder Sprachübertragung. Beim analogen Fernsehen tritt eine geringe, beim digitalen Fernsehen praktisch keine Pulshaltigkeit auf.

Installierte Sendeleistung in Deutschland

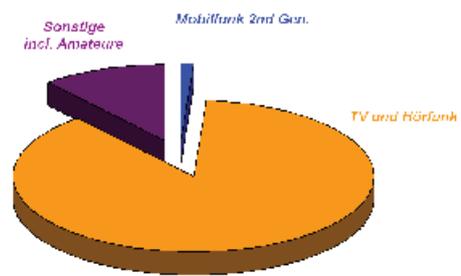


Bild 38: Darstellung der insgesamt installierten Sendeleistung verschiedener Funksysteme (Quelle: Forschungsgemeinschaft Funk e.V.).

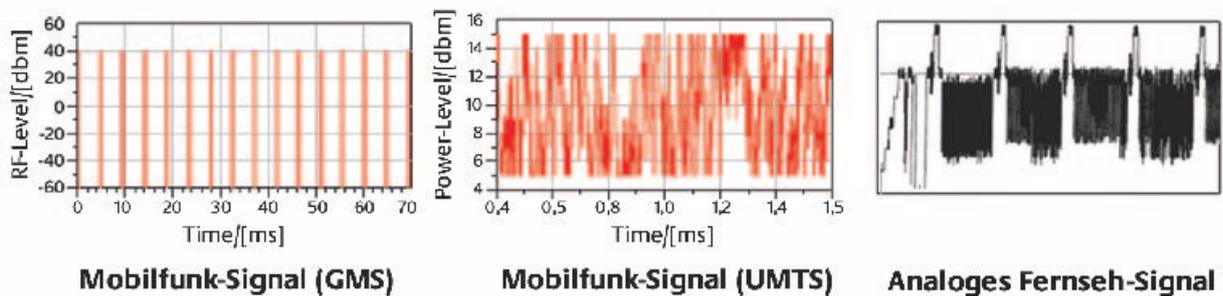
Bei allen Zeitschlitz-Zugriffsverfahren entsteht eine merkliche Pulshaltigkeit des Signals. Die größten und als problematisch gegenüber dem Störverhalten bei medizinischen Geräten einzuschätzenden Werte werden bei dem Betriebs- bzw. Bündelfunkverfahren TETRA beobachtet (Pulsfrequenz ca. 17 Hz). Bei dem digitalen Schnurlostelefon nach DECT-Standard liegt die Pulsfrequenz um 100 Hz, bei GSM um 217 Hz. Durch die Einführung von Erweiterungen zum bisherigen GSM-Standard wie "General Packet Radio Service (GPRS)" und "Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)" wird die Pulshaltigkeit merklich reduziert, da diese Systeme zur Erhöhung der Datenrate auch für einen Nutzer gleichmäßig alle Zeitschlitzbelegen.

Bei UMTS ist die Pulshaltigkeit (Pulsfrequenz 8 Hz) im Mittel wesentlich niedriger als bei GSM. Es wird ein Zusammenhang der Pulshaltigkeit mit der Leistungsregelung erwartet. Untersuchungen zeigen, dass UMTS auch unter ungünstigsten Bedingungen nur 1/10 der Pulshaltigkeit von GSM aufweist. Bei normalen Bedingungen sinkt diese sogar auf 1/100 bis 1/1000 des Wertes von GSM.

Für die Kurzstreckenkommunikation mit geringer Datenrate werden in Zukunft voraussichtlich auch UWB- (Ultra Wide Band) Systeme eingesetzt. Auch hier entsteht eine Pulshaltigkeit. Diese wird aber nicht hoch sein, da die Puls-

Pulshaltigkeit:

Die Umhüllende soll niederfrequente Anteile bis 1 kHz nur mit möglichst kleiner Amplitude aufweisen.



➔ Bewertung des tiefpassgefilterten Signals

Bild 39: Die Pulshaltigkeit ist definiert als der Anteil der niederfrequenten Modulation, die deshalb auch als niederfrequente Pulsung bezeichnet wird. Es ist zu erkennen, dass bei UMTS und beim analogen Fernsehsignal eine geringe Pulsung vorhanden ist, welche beim digitalen Fernsehen völlig entfällt (deshalb nicht dargestellt).

Spektrale Leistungsdichte sinkt in einen Bereich ab, der unter der natürlichen Strahlung der Erde liegt.

Welche Auswirkungen auf die Erstellung eines zukünftigen Frequenznutzungsplans haben die Untersuchungsergebnisse?

Aufgrund der mit abnehmender Frequenz sinkenden Ausbreitungsdämpfung besteht bei niedrigeren Frequenzen die Möglichkeit, mit geringeren Sendeleistungen auszukommen. Allerdings steht im Allgemeinen bei tieferen Frequenzen weniger Übertragungsbandbreite zur Verfügung. Systeme, die in der Lage sind, tiefere Frequenzen im Rahmen des UMTS-Standards zu verwenden, befinden sich im Stadium der Entwicklung und Standardisierung.

Aus der Sicht minimaler Exposition wäre die Zuweisung von Fernsehfrequenzbändern im VHF/UHF-Bereich (174-230 MHz VHF, 470-862 MHz UHF) für den Mobilfunk sinnvoll, wenn künftig durch effektivere Bildkompressionsverfahren dieser gesamte Frequenzbereich für den Fernseh-Rundfunk nicht mehr im Ganzen benötigt wird.

Auch liegen Untersuchungen über den gleichzeitigen Betrieb von großzelligem digitalem Rundfunk und kleinzelligem Mo-

bilfunk in den Fernsehbandern vor. Niedrigere Mobilfunkfrequenzen reduzieren so die Exposition und ermöglichen eine effizientere Nutzung dieses Spektrums durch kleinzellige Overlay-Netze. Dies ist allerdings nur möglich, wenn weiterhin eine großzellige Rundfunkversorgung mit leistungsstarken Sendern betrieben wird.

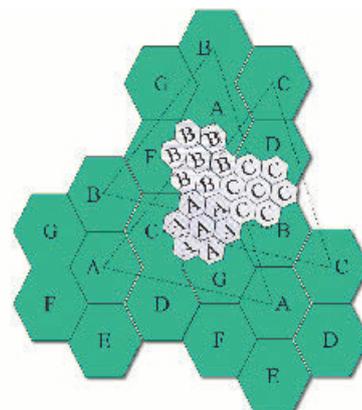


Bild 40: Überlagerung von Rundfunkzellen und Mobilfunkzellen im gleichen Frequenzbereich. Zellen mit gleichen Buchstaben nutzen die gleiche Frequenz (Quelle: Ericsson).

Im Bereich UWB sollten Maßnahmen, die für eine Konvergenz der Nordamerikanischen und Europäischen Märkte förderlich sind, nicht außer Acht gelassen werden. Die Regulierung in den USA schreibt z.B. extrem geringe Sendeleistungen vor, die auch aus Sicht der Exposition für den Menschen sehr günstig sind. Diese geringe Sendeleistung ist keine Eigenschaft eines besonderen Übertragungsverfahrens, sondern ergibt sich umgekehrt als Rahmenbedingung, die Reichweite und Kapazität der UWB-Geräte beschränkt. Damit folgt ein Synergieeffekt aus der Forderung nach niedrigeren spektralen Leistungsdichten aufgrund der elektromagnetischen Verträglichkeit mit anderen Diensten und der Forderung nach niedrigeren Sendeleistungen zur Minimierung der Exposition des Menschen. Das so motivierte Streben nach besonders energieeffizienten, breitbandigen Übertragungsmöglichkeiten sollte in diesem Kontext weiter verfolgt werden.

Millimeter-Wellen (>30 GHz) dringen nur geringfügig in den menschlichen Körper ein. Im mm-Wellen-Bereich können große Bandbreiten für zukünftige Mobilkommunikationssysteme, vor allem im WLAN Bereich erschlossen werden. Diese zusätzliche Ressource führt zu einer Entlastung der Frequenzbänder bei 2,4 GHz und 5 GHz, wodurch die Exposition insgesamt gesenkt werden kann. Der Millimeter-Wellenbereich sollte für die WLAN-Kommunikation stärker als bisher genutzt werden. Anzustreben sind große Bandbreiten, z.B. bei 24 GHz, 60 GHz und 76 GHz.

Können durch den Einsatz der neuen Techniken die Grenzwerte der Emission gesenkt werden?

Hier muss zwischen evolutionären Verbesserungen bestehender Systeme und solchen, die auf der "grünen Wiese" neu errichtet werden, unterschieden werden.

Bei Ersteren wird man immer auf Versorgungssituationen Rücksicht nehmen müssen, die - wenn auch selten - die volle Sendeleistung erfordern. Aus den vielen grauen Feldern in der Bewertungsmatrix geht das deutlich hervor.

Nicht so bei völlig neu entworfenen Netzen, z.B. mit kleinzelligen Strukturen und sehr vielen verteilten Antennen geringerer Sendeleistung. Der Aufbau einer solchen Infrastruktur verlangt große regulatorische Anstrengungen und wird sich über Jahrzehnte erstrecken. Eine voreilige Absenkung der Grenzwerte der Emission würde zu einer unnötigen wirtschaftspolitischen Belastung unserer Gesellschaft führen.

Empfehlungen für die Forschung

Im Vorhaben *miniWatt* wurden einerseits grundsätzliche Untersuchungen zu vielversprechenden Techniken gemacht. Andererseits ist eine Reihe konkreter Systemvorschläge entstanden, die in Forschungsmaßnahmen umgesetzt werden sollen.

Die konkretisierten Ergebnisse von *miniWatt* sind in eine Prioritätenliste (Tabelle 3) eingeflossen, deren wichtigste Ergebnisse nachstehend zusammengefasst werden.

Relaisbasierte Picozellulare Netze

Es ist eine bekannte Tatsache, dass bei kleiner werdenden Mobilfunkzellen die gesamte Netzleistung immer weiter reduziert werden kann. Weit hinaus gehend über die Praxis, welche derzeit bei GSM zur Zellteilung eingesetzt wird, sind Vorstellungen für picozellulare Netze, die über Relais gespeist werden. Damit wird es einerseits möglich sein, Bereiche mit hohem Verkehrsaufkommen bzw. auch Bereiche mit ungünstiger Versorgung optimal zu erschließen, andererseits aber auch erstmals gezielt versorgungsfreie Bereiche zu schaffen, falls dies als Vorsorgemaßnahme gewünscht wird. Solche Netze würden zu einer wesentlichen Entspannung der Expositionproblematik beitragen. Da bisher auf diesem Gebiet nur erste Vorstellungen für Relaiskonzepte und zellulare Ad-hoc-Netze bestehen, wird eine Forschungsförderung empfohlen.

Selbstorganisierende Netze

Selbstorganisierende Netze im WLAN-Bereich ermöglichen durch Multi-hop-Kommunikation und Vielfachzugriffs-Protokolle mit hohem Wirkungsgrad Reduzierungen der Leistung und somit der Exposition bis zu einem Faktor zehn bei nahezu unveränderter Kapazität. Diese Verfahren sind allerdings noch sehr wenig untersucht und bedürfen einer weiteren Erforschung. Aus diesem Grunde ergeht die Empfehlung, diese Verfahren grundsätzlich, im speziellen aber deren Effizienz und Sicherheit, zu untersuchen.

Durch selbstorganisierende Netze in zellulärer Umgebung, z.B. im fließenden und besonders im stehenden Verkehr oder bei Veranstaltungen mit vielen Mobilkommunikationsteilnehmern, kann ein übergeordnetes Netz durch Multi-hop-Kommunikation stark entlastet werden. In gleicher Weise ermöglichen Ad-hoc-Kommunikation und Multi-hop wesentliche

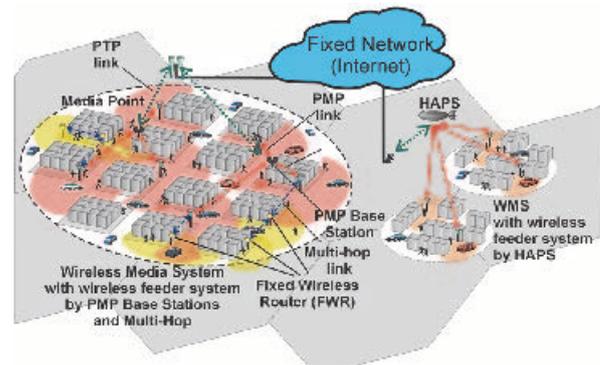


Bild 41: Zukünftige relaisbasierte picozellulare Netze mit Ad-hoc- und Multi-hop-Kommunikation führen zu einer erheblichen Entlastung. Dabei werden, je nach Bedarf, die unterschiedlichsten Systeme zum Einsatz kommen.

PTP link = Punkt zu Punkt Verbindung

PMP link = Punkt zu Multipunkt Verbindung

Reduzierungen der Leistung und somit der Exposition bei nahezu unveränderter Kapazität. Da zu dem erforderlichen Ressourcen-Management bisher nur wenige Arbeiten durchgeführt wurden, empfiehlt es sich, eine Forschungsförderung um systemgerechte Protokolle, Linkadaption und Scheduling sowie Definitionen der Gesamtsystemleistung unter verschiedenen Gesichtspunkten zu realisieren.

Raum-Zeit-Signalverarbeitung mit Mehrantennensystemen

Durch Raum-Zeit-Signalverarbeitung im WLAN-Bereich ist das Absenken der Sendeleistungen auf ein Zehntel längerfristig realisierbar, verbunden mit weiteren Forschungsarbeiten, insbesondere hinsichtlich optimaler, aber noch gut realisierbarer Empfänger. Hiermit einhergehen sollte der Aufbau von leistungsfähigen Demonstratoren zum Nachweis der Machbarkeit der Verfahren.

Drahtlose Übertragungssysteme mit mehr Antennen als konventionell im zellularen Mobilfunk notwendig, besitzen ebenfalls ein Potenzial zum Absenken der Sendeleistungen bis auf ein Zehntel. Die für eine Raum-Zeit-Signalverarbeitung erforderlichen Technologien und Algorithmen wie Mehrantennensysteme und Multi User Detection sind heute noch wenig bekannt, viel zu aufwendig und bedürfen weiterer Forschungsarbeiten. Es wird empfohlen, diese Verfahren insbesondere für höherbitratige Systeme, wo sie besonders vorteilhaft nutzbar sind, weiter erforschen zu lassen.

Technik	Merkmal	Forschungsrelevanz	Priorität
Relaisbasierte Picozellen	Sehr geringe Exposition, geringere Eindringtiefe, bei mm-Wellen Basisstation unsichtbar	Relaiskonzepte für zellulare und Ad-hoc-Netze entwickeln	1 Förderung
Selbstorganisierende Netze (ad-hoc-Netze)	Systemgerechte schichtübergreifende Protokolle, Linkadaption, Multihop, Scheduling	Untersuchung der Gesamtsystemleistung erforderlich (Effizienz, Overhead, Sicherheit)	
Mehrantennensysteme mit Raum-Zeit-Signalverarbeitung, MIMO	Expositionsreduzierung durch Mehrantennensysteme und Multi User Detection	Leistungsfähige Demonstratoren für höherratige Systeme nötig	
Mehrträgerverfahren	Hohe Mobilität und Adaptivität durch OFDM und MC-CDMA	Hohe Mobilität und Adaptivität für zukünftige Mobilfunk- und WLAN-Systeme sichern	
Datenkompression	Senkung der Exposition durch Anwendung verbesserter Quellcodierung	Rekonfigurierbare Decoder als Basis für Standardkonformität entwickeln	
Millimeter-Wellen	Immisionsreduktion durch geringere Eindringtiefe, große Bandbreiten und Datenraten	aktueller Forschungsbedarf: Inhouse, RRM für minimierte Exposition	
Nutzung niedriger Frequenzen	Expositionsminimierung aufgrund günstigerer Wellenausbreitung	Regulierung neu ausrichten, flexible Frequenznutzung durch RRM und Spektrumpooling fördern	1 Regulierung
WLAN Heimnetze und Inhouse-Repeater	Erhebliche Expositionsreduktion, auch im Outdoor-Bereich	Wellenausbreitungsmodelle erweitern, Interferenzbetrachtungen	2 Beobachtung
Kleinzellige Rundfunknetze	Senkung der Exposition durch kleinere Zellen, höhere Spektrumeffizienz	Modellierung und Kostenbetrachtung, Machbarkeitsstudie	
Ultrawideband (UWB), Chirp-Verfahren	Mehrfache Frequenznutzung durch Bandspreizverfahren	Mehrfache Frequenznutzung für Nahbereichskommunikation prüfen	
Hochfliegende Plattformen	Problem Trägerplattform, starke Expositionsreduktion	Trägersysteme beobachten	3 Beobachtung
Strahlformung und Interferenzreduktion	Interferenzvermindernde Maßnahmen bei UMTS	kein Forschungsbedarf	3 kein Handlungsbedarf
Störungsunterdrückung	Bessere Nutzung der Energie, Empfänger-rauschen, Modulationsverfahren, Interference Cancellation	kein Forschungsbedarf	
Infrarot	Kurzstrecken/LOS	kein Forschungsbedarf	
Induktive Übertragung	geringe Exposition, kurze Reichweite (2m), Datenrate <200 k bit/s		
Ultraschall	nicht attraktiv		

Tabelle 3: Zusammenfassung der Forschungsempfehlungen der *miniWatt* Studie einschließlich der Beurteilung der Priorität für zukünftigen Handlungsbedarf.

Mehrträgerverfahren

Von GSM sind die Nutzer eine hohe Verfügbarkeit auch bei großen Bewegungsgeschwindigkeiten gewohnt. Dieses wird mit den höheren Übertragungsraten bei UMTS und dem dort eingesetzten Vielfachzugriff-Verfahren nicht möglich sein. Aus diesem Grund wird nach Modulationsverfahren für zukünftige Systeme gesucht, welche als besondere Merkmale neben hohen Datenraten auch eine hohe Mobilität und Adaptivität zulassen. Als hervorragende Kandidaten haben sich die Mehrträgersysteme OFDM und MC-CDMA erwiesen. Durch ihre Resistenz gegen hohe Geschwindigkeiten erlauben sie letztlich auch eine merkliche Reduzierung der Sendeleistung. Es besteht aktueller Forschungsbedarf, um ihre Anwendbarkeit für die Mobilkommunikation nachzuweisen, woraus die Empfehlung folgt, für zukünftige Systeme diese Verfahren näher erforschen zu lassen.

Datenkompression

Insbesondere die Arbeiten zur Bildkompression haben in den letzten Jahren gezeigt, dass erhebliche Frequenz- und Leistungsressourcen in der Kommunikation effektiver eingesetzt werden können, wenn die Übertragung der Information geeignet komprimiert wird. Diese Kompression bietet sich insbesondere für die Bewegtbildübertragung im multimedialen Mobilrundfunk an. Da die Entwicklungen hier in den kommenden Jahren noch im Fluss sein werden, erscheint es angebracht, rekonfigurierbare Decoder als Basis für Standardkonformität zu erforschen. Nur dann werden die Verbraucher willens sein, diese technischen Aufwendungen zu akzeptieren. In diesem Bereich ist Forschungsförderung geboten.

Millimeter-Wellen

Der bisher sehr wenig für die Kommunikation genutzte Frequenzbereich über 20 GHz bietet die Möglichkeit, über kurze Entfernungen hohe Datenraten zu übertragen. Im Gesamtkontext der Kommunikation werden in Zukunft Millimeter-Wellen in Systeme mit Radio-Ressourcen-Management eingebunden werden. Die internationale Konkurrenz auf diesem Gebiet, insbesondere in den Frequenzbereichen um 24 GHz, 40 GHz und 60 GHz, ist relativ groß. Aufgrund der hohen nutzbaren Bandbreiten kann die spektrale Leistungsdichte sehr niedrig sein, wobei zudem aufgrund der geringen Wellenlängen die Eindringtiefe in den Körper sehr gering ist. Aus diesen Gründen ist aktueller Handlungsbedarf geboten.

Niedrigere Frequenzen

Im Bereich niedriger Rundfunkfrequenzen zwischen 470 und 862 MHz, also unterhalb GSM 900, ist ebenfalls digitale Mobilfunk-Kommunikation mit großen Reichweiten möglich, welche sowohl die Kosten, als auch die Exposition mindern kann. Die Nutzung derartiger Frequenzbereiche ist mit einem optimierten Radio-Ressourcen-Management möglich. Bis heute werden Frequenzen starr zugewiesen und ebenso starr genutzt. Dieses wird in Zukunft in Anbetracht des limitierten Spektrums nicht mehr aufrecht zu erhalten sein. Man wird mittelfristig gezwungen sein, eine flexible Spektrumsnutzung durch Koexistenzbetrachtungen, Sharing-Rules und Spektrumpooling in die Kommunikations-Systemhierarchie einzubringen. Die Forschung steht in diesem Bereich allerdings noch am Anfang, so dass einerseits das dynamische Spektrumsmanagement zu erarbeiten ist, andererseits die Regulierung neu ausgerichtet werden muss.

WLAN-Heimnetze und Inhouse-Repeater

Hohe Werte der Exposition entstehen primär dadurch, wenn ein Funkdienst auch Gebäudeinnenempfang ermöglichen soll. Wegen der hohen Gebäudedämpfung müssen die Sendeleistungen etwa um das zehnfache größer sein. Durch den Einsatz von WLAN-Heimnetzen mit Außenantenne könnte die Exposition wesentlich reduziert werden. In diesem Bereich besteht noch ein gewisser Forschungsbedarf, insbesondere zur Klärung der Interferenzsituation durch Repeater und durch kombinierte Indoor-Outdoor-Ausbreitungsmodelle.

Kleinzellige Rundfunknetze

Dichtere Rundfunknetze, ähnlich oder identisch mit den Mobilfunknetzen, können die Spitzenexposition in Sendernähe wesentlich reduzieren. Es wird als Vorsorgemaßnahme empfohlen, die Machbarkeit von Dense Networks mit geringeren Sendeleistungen und minimalen Kosten zu untersuchen.

Ultra-Wideband

Nach der Freigabe des UWB-Frequenzbereichs von 3,1 GHz bis 10,6 GHz durch die FCC der USA für lizenzfreie Nutzung bei vorgegebenen maximalen Leistungsdichten ist zu erwarten, dass hierdurch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, aber auch Produkte der Kommunikationstechnik und Sensorik weltweit stimuliert werden. Die Untersuchungen im Rahmen von *miniWatt* haben gezeigt, dass durch Bandspreizverfahren keine Erhöhung der Effizienz und keine Reduzierung der

Exposition erreicht wird, wohl aber eine Verminderung der spektralen Leistungsdichte auf ein Zehntel. Aus diesen Gründen wird eine Beobachtung von Forschungsvorhaben auf diesen Gebieten empfohlen, um international nicht den Anschluss zu verlieren.

Hochfliegende Plattformen

Im Gegensatz zu Satelliten könnten High Altitude Platforms, z.B. Ballone oder Motorsegler, künftig flächige Gebiete in der Größenordnung von Städten oder Stadtbezirken mit gleichmäßiger Leistungsdichte für die Kommunikation versorgen. Die Reduzierung der Exposition würde hierbei sehr hoch sein. Ein großes Problem besteht allerdings bzgl. der Entwicklung kostensparender Fluggeräte, die lange genug und ohne Risiko für die Bevölkerung relativ ortsfest in der vorgesehenen Höhe von ca. 20 km fliegen können, womit jedoch frühestens ab 2008-2010 zu rechnen ist.

Strahlformung und Interferenzreduktion

Die Sendeleistung bei UMTS und damit die elektromagnetische Emission kann durch eine Kombination verschiedener Maßnahmen wie Beamforming, MIMO, Signalverzerrung, Erhöhung der Empfängerempfindlichkeit und Interferenzunterdrückung, auf weniger als ein viertel verringert werden. Diese Verfahren sind relativ einfach umsetzbar und bedürfen keiner weiteren Förder- oder Regulierungsmaßnahmen.

Störunterdrückung

Es kann die Sendeleistung durch Kombination verschiedener Maßnahmen zur Optimierung der Sende- und Empfangstechnik, wie Reduzierung des Empfängerrauschens, Interferenzreduzierung oder auch angepasste Modulationsverfahren um mindestens den Faktor zwei verringert werden. Diese Verfahren sind relativ einfach umsetzbar und bedürfen keiner weiteren Fördermaßnahme.

Infrarot

Infrarot wird schon heute für die Kurzstrecken-Kommunikation eingesetzt. Die Vor- und Nachteile sind bekannt. Es existieren die erforderlichen Komponenten und Subsysteme. Die Exposition wird durch Infrarot sehr stark reduziert. Um Infrarot zu echten Alternativen für WPAN-Anwendungen werden zu lassen erscheinen noch weitere Entwicklungen auf der Technologieebene notwendig.

Induktive Übertragung

In letzter Zeit kommen immer wieder Meldungen über kommunikationstechnisch vernetzte Kleidung in die Schlagzeilen. Für Anwendungen dieser Art über kleine Entfernungen bietet sich die induktive Übertragung an. Die erzielbaren Datenraten sind relativ niedrig. Auch bei induktiver Übertragung ist zu berücksichtigen, dass eine gewisse, wenn auch sehr geringe Exposition, vorhanden ist. Da insgesamt diese induktive Übertragung für die Kommunikation wenig Bedeutung hat, wird nicht empfohlen, diesen Bereich zu fördern.

Ultraschall

Der Einsatz von Ultraschall für die Nahbereichskommunikation hat sich als nicht effizient und attraktiv erwiesen, obwohl eine elektromagnetische Exposition nicht mehr vorhanden wäre. Aus diesem Grund besteht kein Forschungsbedarf.

Ausblick

Studie *miniWatt II*:

Das einjährige Vorhaben *miniWatt* erzielte einen enormen Wissenszuwachs auf dem Gebiet der effektiven und leistungsarmen Funkübertragungstechnik. Die im Abschlussbericht *miniWatt* aufgeführten Emissionsdaten stellen aber zunächst eine grobe Abschätzung dar, die nur einzelne ausgewählte Verfahren berücksichtigen. Was *miniWatt* ebenfalls nicht leisten konnte, war z.B. die Berechnung der Summensendeleistungsdichten und der Nahfeld-Spitzenfeldstärken im Bereich des Kopfes eines Mobilfunknutzers, ebenso Konzepte zur Ausparung von Mobilfunk- und ggf. Rundfunkversorgung in bestimmten Bereichen.

Zu einer weiteren vertieften Betrachtung einzelner Verfahren muss deshalb auch ein gleicher zeitlicher und örtlicher Betrieb verschiedener Quellen in Betracht gezogen werden, also eine Bilanz der Gesamtmission elektromagnetischer Felder, insbesondere im Kopfbereich des Menschen, gebildet werden. Zur Erweiterung und Absicherung der bereits erzielten Ergebnisse ist für das Jahr 2005 ein Vorhaben *miniWatt II* geplant. Dort sollen weitergehende Untersuchungen bzgl. der Emissionsenkung durch mikro- und picozellulare Netzstrukturen, der SAR-Minimierung mobiler Endgeräte, der Abschwächung der Pulshaltigkeit von Mobilfunksignalen sowie der Bilanzierung und Wertung der Gesamtmission durchgeführt werden. Das Potenzial solcher neuartiger Netzstrukturen wird sehr hoch eingeschätzt. Erste grobe Schätzungen lassen Expositionsreduktionen von bis zu einem Faktor 10 erwarten. Als Vorteil kann auch die exaktere Ausleuchtung bzw. die Schaffung expositionsfreier Flächen mit Hilfe solcher Systeme benannt werden. Auch die kleinzellige Abstrahlung von Rundfunkdiensten über die Mobilfunkinfrastruktur wird ein Untersuchungsthema sein. Weiterhin soll sich der experimentellen Elektromagnetik bedient werden, wo die theoretischen Modelle an der Komplexität scheitern. Die Mitarbeit wird sich hierdurch von den Universitäten auf industrielle Forschungseinrichtungen verlagern.

Die Forschungsempfehlungen von *miniWatt* werden bei den neu begonnenen Fördervorhaben "Systemkonzept 3GET" und "Systemkonzept WIGWAM" umgesetzt, s.a. Tabelle 4.

Systemkonzept 3GET:

Ziel des Systemkonzepts 3GET ist die evolutionäre Erweiterung des UMTS-Standards in Richtung auf einen hochratigen Downlink zur Übertragung multimedialer Breitbanddienste. Markante Ziele sind die Erhöhung der Frequenzökonomie und die Verminderung der elektromagnetischen Exposition. Im Ergebnis des Vorhabens *miniWatt* und anderer vorausge-

gangener Förderaktivitäten werden u.a. folgende Schwerpunkte gesetzt: die Standardisierung einer neuen breitbandigen OFDM-Luftschnittstelle auf Basis von Mehrantennensystemen, die Hardwareentwicklung zu hochleistungsfähigen Bildkompressionstechniken und darauf aufbauend die Ausarbeitung eines frequenzökonomisch und ökologisch effektiven Radio-Ressourcen-Managements.

In dem Vorhaben "Entwurf von Mehrträger-Mobilfunksystemen mit kooperativen, verteilten Antennen" des HHI Berlin der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) werden Techniken der Raum-Zeit-Signalverarbeitung und interferenzmindernde Maßnahmen untersucht, die sowohl im zellularen Mobilfunk als auch in WLAN-Systemen eingesetzt werden können. Der Einsatz solcher Systeme kann die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen um einen Faktor 2 bis 10 verringern, allerdings bei etwa verdoppeltem technischen Aufwand.

Das Vorhaben der Fa. Qualcomm CDMA Technologies GmbH Nürnberg "Konzeption, Entwicklung und Analyse neuartiger Funkzugangstechniken für die Evolution der Mobilfunksysteme der dritten Generation" soll neue Funkzugangstechniken für die Evolution des zellularen Mobilfunks untersuchen, die in bestehende und zukünftige Netze ökologisch und ökonomisch sinnvoll integriert werden können.

Ein großes Potenzial zur Senkung der Emissionsbelastung wurde durch den Einsatz der Bildkompression zur verbesserten Anwendung der Quellkodierung festgestellt. Dazu wurde im Jahr 2004 gemeinsam von der FhG, HHI und der Firma sciworx GmbH Hannover, das Vorhaben "Multistandard-Architekturen für blockbasierte Codierungsverfahren - MARCOV" gestartet.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen mittelfristig in bestehende und zukünftige strahlungsmindernde Funkssysteme einfließen.

Systemkonzept WIGWAM:

Die künftige Übertragung vielfältiger multimedialer Inhalte (insbesondere Bewegtbildinformation) in so genannten "Hotspots", d.h. auf Messen und Flughäfen sowie im Heimbereich und in Großraumbüros benötigt eine enorme Datenreserve, um dem Anwender große Datenmengen in kurzer Zeit ohne Frequenzplanungsprobleme zur Verfügung zu stellen. So wird für das Jahr 2008 ein Markt für WLANs mit einer Summendatenrate bis zu 1 Gbit/s erwartet. Das Hauptziel für das Systemkonzept WIGWAM ist, bis zum Jahr 2007 einen Short-Range-Standard für eine solche Datenrate zu setzen. Erreicht werden soll das u.a. durch die Erschließung neuer Frequenzbereiche bis 60 GHz und die Anwendung neuartiger intelligenter Mehrantennensysteme. Deutsche Firmen haben aufgrund

dieser Fördermaßnahmen und des hohen Standes der CMOS-Höchtfrequenzschaltkreistechnologie alle Chancen, zu den Erstanbietern dieses Standards zu werden.

Ziel des Projektes der TU Dresden "Breitbandige HF-Funkübertragung mit Hilfe von Kompensations- und Adaptionstechniken im Basisband" ist die Entwicklung einer hochbitratigen Funkübertragungsstrecke für ein Short-Range-System. Dazu werden neue Techniken wie Mehrträgerverfahren und Raum-Zeit-Signalverarbeitung adressiert, die bis zu einem Faktor 40 niedrigere Expositionswerte aufweisen können, allerdings

bei etwa verdoppeltem technischem Aufwand. Zusätzlich werden Millimeterwellentechniken betrachtet, die eine deutlich geringere Eindringtiefe in die menschliche Haut haben und damit immissionsgünstiger sind.

Bei einer Gesamtfördersumme für 3GET und WIGWAM von rund 20 Mio. € beziffert sich der finanzielle Beitrag des BMBF zur Erforschung expositionsmindernder Funktechniken in den Jahren 2002 bis 2005 auf ca. 7 Mio. €.

Kennziffer	Thema	Fördermittel (€)
	Potenzial neuer Technologien	
01BU250	Förderschwerpunkt hyperNET -Teilvorhaben: Alternative Funksysteme zur Verminderung der Strahlungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk und bei drahtlosen LANs (miniWatt)	1.098.450,--
	Förderung immissionsmindernder Technologien	
01BU350	Leitinnovation Mobile Internet - 3GET (3. Generation Evolving Technologies) - Teilvorhaben: Entwurf von Mehrträger-Mobilfunksystemen mit kooperativen, verteilten Antennen	3.009.762,--
01BU351	Leitinnovation Mobile Internet - 3GET (3. Generation Evolving Technologies) - Teilvorhaben: Multistandard-Architekturen für blockbasierte Kodierungsverfahren - MARCOV I	988.586,--
01BU352	Leitinnovation Mobile Internet - 3GET (3. Generation Evolving Technologies) - Teilvorhaben: Multistandard-Architekturen für blockbasierte Kodierungsverfahren - MARCOV II	693.732,--
01BU358	Leitinnovation Mobile Internet - 3GET (3. Generation Evolving Technologies) - Teilvorhaben: Konzeption, Entwicklung und Analyse neuartiger Funkzugangstechniken für die Evolution der Mobilfunksysteme der dritten Generation	515.922,--
01BU370	Leitinnovation Mobile Internet - WIGWAM (Wireless Gigabit with Advanced Multimedia Support) - Teilvorhaben: Breitbandige HF-Funkübertragung mit Hilfe von Kompensations- und Adaptionstechniken im Basisband	893.172,--

Tabelle 4: Förderungsvorhaben des BMBF zur Erforschung expositionsmindernder Techniken.

Glossar

Ad-hoc-Netz

Selbstorganisierendes dynamisches Netz, welches keine festgelegte Infrastruktur benötigt. Jeder einzelne Knoten in solch einem Netz muss als Quelle, Senke und Vermittler von Informationen arbeiten können.

ARQ - FEC

Automatic Repeat Request - Forward Error Correction:
Verfahren zur korrekten Übertragung in drahtlosen Systemen.

Beamforming

Antennentechnik, welche eine gerichtete (gezielte) Abstrahlung zur Minimierung der Exposition und Störung der anderen Teilnehmer ermöglicht.

Bildkompression

Datenkompressionsalgorithmus für die Videoübertragung (Bsp: MPEG-Standard) durch den eine Reduktion der zu übertragenden Datenmenge möglich ist.

Bluetooth

Drahtloses Kurzstrecken-Kommunikationssystem (bis 10 m) mit einer Datenübertragungsrate von 1 Mbit/s im Frequenzbereich von 2,45 GHz.

Body Area Networks

Drahtloses Kommunikationssystem, welches die Verbindung zwischen am Körper getragenen Komponenten ermöglicht. z. B. MP3-Player zum Kopfhörer.

CDMA-Verfahren

Code Division Multiple Access:
Zugriffsverfahren, bei dem mehrere Nutzer gleichzeitig auf einen Kanal zugreifen können. Durch die Verwendung spezieller Spreizcodes können diese jedoch am Empfänger wieder separiert werden.

DAB

Digital Audio Broadcasting:
Neuer digitaler Hörrundfunkstandard zur Ablösung von FM-UKW mit einer Datenübertragungsrate von 1,7 Mbit/s.

dB - Dezibel

Zehnfacher dekadischer Logarithmus von Leistungsverhältnissen, wie Übertragungsmaß, Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß und Pegelangaben.

DMB

Digital Multimedia Broadcasting:
Erweiterung des DAB-Verfahrens für Fernsehübertragung.

DRM

Digital Radio Mondiale:
Neuer Hörrundfunkstandard im Frequenzbereich <30 MHz, welcher die analogen Rundfunksysteme der Kurz-, Mittel- und Langwelle ablöst.

DVB-T

Digital Video Broadcasting Terrestrial:
Neuer digitaler Fernsehstandard zum Empfang über Dach- oder Zimmerantenne mit einer Datenübertragungsrate von 13 Mbit/s, bei den Modulationsverfahren 16 QAM (16-fache Quadratur-Amplitudenmodulation).

EDGE

Enhanced Data Rates for GSM Evolution:
Neues Mobilfunksystem basierend auf GSM jedoch mit einer Datenübertragungsrate von bis zu 384 kbit/s, welche durch die Anwendung von höherwertigen Modulationsverfahren erreicht wird.

ERP

Effective Radiated Power:
Effektive abgestrahlte Leistung einer Richtantenne, bezogen auf den Antennengewinn eines $\lambda/2$ -Dipols.

FCC

Federal Communications Commission:
Regulierungsbehörde für Telekommunikation in den USA.

Gleichwellennetz

Mehrere Rundfunksender arbeiten auf der gleichen Frequenz, sodass es am Empfänger zu einer gleichzeitigen Aufnahme mehrerer Signale kommt.
Andere Bezeichnung: Single Frequency Network (SFN).

GPRS

General Packet Radio Service:
Paketorientierte Übertragung innerhalb des GSM-Netzes für multimediale Bild- und Datendienste mit einer Datenübertragungsrate bis zu 170 kbit/s.

GSM (2. Mobilfunkgeneration)

Global System for Mobile Communications:
Weltweit verbreiteter digitaler Standard seit 1990.

HAP

High Altitude Platform
Hochfliegende Stationen (ca. 20 km), die bis zu 1000 Mobilfunkzellen gleichzeitig versorgen können.

Hot Spots

Mit drahtlosen Systemen für den Datenaustausch versorgte Bereiche wie z. B. Flughäfen, Bahnhöfe und Einkaufszentren.

IEEE 802.11

Vom amerikanischen Normengremium entwickelter Standard für Wireless-LAN-Anwendungen mit Datenübertragungsraten bis zu 54 Mbit/s.

Inhouse-Repeater

Gerät zur Signalverstärkung im Gebäude.

MAC-Protokolle

Medium Access Control Protokoll:

Zuteilung von Zeitschlitzen bzw. des Spektrums an verschiedene Teilnehmer.

MC-CDMA

Multi Carrier-Code Division Multiplex Access:

Verfahren, welches das Originalsignal in einem bestimmten Frequenzbereich spreizt.

MIMO-Systeme

Multiple Input, Multiple Output-Systeme:

Kommunikationssystem mit mehreren Sende- und Empfangsantennen. Dadurch ist eine Erhöhung des Datendurchsatzes, bei gleichem Frequenz- und Zeitbedarf, möglich.

Multi-hop-Kommunikation

Verwendung von mobilen Relaisstationen zur Vergrößerung der Übertragungreichweite drahtloser Systeme.

Multi User Detection

In CDMA - Systemen einsetzbares Verfahren, wobei alle Codes der Teilnehmer in den Endgeräten bekannt sind und damit interferenzmindernd subtrahiert werden.

OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplex:

Multiplextechnik, bei der das zur Verfügung stehende Übertragungsspektrum in viele schmale Übertragungskanäle eingeteilt wird.

OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiplex Access:

Vielzugriffverfahren, wobei jedem Teilnehmer mehrere schmalbandige Träger der zur Verfügung stehenden Frequenzbänder zugeteilt werden.

OSI-Schichtenmodell

Open System Interconnection:

Von der ISO entwickelte Standardstruktur für Kommunikation und Datenübertragung, welche sich in 7 Schichten untergliedert.

Picozellulare Netze

Aufteilung der vorhandenen Netzstruktur in kleinere Zellen, womit eine Reduzierung der Sendeleistung erreicht wird.

Radio-Ressourcen-Management

Adaptive Kontrolle über die Verteilung der in einem Funknetzwerk eingesetzten Ressourcen Trägerfrequenz, Sendeleistung und Bandbreite der Funkverbindungen.

Raum-Zeit-Signalverarbeitung (Space Time Signal Processing)

Adaptive an die Übertragungsbedingungen angepasste, effiziente Signalverarbeitung (z.B. MIMO-Systeme) im Basisband von Kommunikationssystemen.

Räumliche Diversität

Aufgrund von Reflexionen kommen die elektromagnetischen Wellen über viele verschiedene Pfade zum Empfänger (Mehrwegausbreitung). Die Ausnutzung der unterschiedlichen Pfade zur verbesserten Informationsübertragung bezeichnet man als räumliche Diversität.

Scheduling

Scheduling ist die zeitabhängige Zuteilung von Sendezeit zur Übertragung von Datenpaketen.

SDMA

Space Division Multiple Access:

Vielfachzugriffsverfahren, das die räumliche Diversität zur Teilnehmertrennung benutzt.

Selbstorganisierende Netze

Funkkommunikationsnetz, welches in der Lage ist, aktiv und eigenständig Informationsübertragungsprozesse zu ordnen, zu strukturieren und auszuführen.

SNR

Signal to Noise Ratio:

Signal-Rausch-Abstand

Spektrale Leistungsdichte

Beschreibt die Verteilung der Leistung über das Frequenzspektrum und hat die Einheit W/Hz.

Spektrum-Pooling

Zeitweise Nutzung von bisher exklusiv genutzten Frequenzressourcen (z. B. Polizei, Feuerwehr) für den Mobilfunk, wodurch die Kapazität bereits mit vorhandenen Übertragungsverfahren gesteigert werden kann.

UHF-Bereich

Ultra High Frequency - Ultrahochfrequenzbereich:
Frequenzbereich zwischen 300 MHz und 3 GHz, welcher für Funkssysteme zur Anwendung kommt.

UMTS (3. Mobilfunkgeneration)

Universal Mobile Telecommunications System:
Zukünftiger Standard im Mobilfunk, der mit einer Datenübertragungsrate von bis zu 2 Mbit/s schnelleren Internetzugriff erlaubt.

UWB

Ultra Wide Band:
Zukünftige Nahbereichs-Funktechnik im Frequenzband von 3,1 - 10,6 GHz zur Informationsübertragung, deren erreichbare Datenübertragungsrate gegenwärtig noch umstritten ist.

VHF-Bereich

Very High Frequency - Hochfrequenzbereich (30 bis 300 MHz):
Zur Datenübertragung des Fernsehens und Rundfunks.

WIGWAM

BMBF Förderprojekt:
Wireless Gigabit With Advanced Multimedia Support

WLAN

Wireless Lokal Area Network:
Lokales Netz zur Datenübertragung auf Funkbasis im Frequenzbereich von 2,4 GHz oder 5 GHz.

WPAN

Wireless Personal Area Network:
Drahtloses Netz speziell für Multimedia-Vernetzung zu Hause wobei bis zu 245 Geräte angeschlossen werden können. Die Datenübertragungsrate beträgt ca. 22 Mbit/s.

3 GET

BMBF Förderprojekt:
3rd Generation Evolving Technologies



Diese Druckschrift wird unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.