

Funk-Netzwerke

Sachstandsermittlung zur Netzwerktechnologie WLAN

ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH

im Auftrag des

Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Funk-Netzwerke

Sachstandsermittlung zur Netzwerktechnologie WLAN

ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH

Dieter Behrendt, Dipl. Geogr.

Dr. H.-Peter Neitzke, Dipl. Phys.

Till Neitzke, Wolff & Neitzke GmbH

Dr. Julia Osterhoff, Dipl. Biol.

unterstützt durch

Silke Kleinhüchelkotten, M.A. (Angewandte Kulturwissenschaften/Umweltkommunikation)

Dr. Hartmut Voigt, Dipl. Phys.

Annette Voß

im Auftrag des

**Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**

Hannover, Dezember 2003

Inhalt

		Seite
0	Zusammenfassung	1
1	Technische Grundlagen lokaler Funk-Netzwerke	5
1.1	Standards für Funk-Netzwerke	5
1.1.1	WLAN	5
1.1.2	HIPERLAN	9
1.2	Aufbau und Organisation von Funk-Netzwerken	10
2	Rechtlicher Rahmen für Einrichtung und Betrieb von Funk-Netzwerken	13
2.1	Frequenzregulierung	13
2.2	Gerätesicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit	14
2.3	Immissionsschutz	15
2.4	Arbeitsschutz	16
3	Einsatzmöglichkeiten und wirtschaftliche Potenziale von Funk-Netzwerken	19
3.1	Einsatzmöglichkeiten von Funk-Netzwerken und Verbreitung in NRW	19
3.1.1	Einsatzmöglichkeiten	19
3.1.2	Funk-Netzwerke in Bildungseinrichtungen und Hot Spots in NRW	22
3.2	Wirtschaftliche Bedeutung	23
3.2.1	Konkurrenz- und Ergänzungstechnologien	23
3.2.1.1	UMTS	24
3.2.1.2	Ultrabreitbandtechnik (UltraWideBand – UWB)	27
3.2.1.3	Bluetooth	28
3.2.2	Erfolgsfaktoren	28
3.2.2.1	Internet-Nutzung	28
3.2.2.2	Zahlungsbereitschaft	29
3.2.3	Entwicklung der WLAN-Märkte	32
3.2.3.1	Entwicklung der Märkte für WLAN-Geräte und -Sicherheitstechnologien	32
3.2.3.2	Räumliche Entwicklung der WLAN-Märkte	35
3.2.3.3	Entwicklung der WLAN-Märkte nach Anwendungsbereichen	38
3.3	Wirtschaftliches Potenzial von Funk-Netzwerken in NRW	42
3.3.1	WLAN-Beschäftigte in NRW	44
3.3.2	WLAN-Unternehmen in NRW	45
4	Zugriffs- und Datensicherheit in Funk-Netzwerken	47
5	Immissionen und gesundheitliche Risiken beim Betrieb von Funk-Netzwerken	53
5.1	Elektromagnetische Immissionen in Funk-Netzwerken	53
5.1.1	Emissionen der Komponenten von Funk-Netzwerken	53
5.1.2	Elektromagnetische Immissionen in Funk-Netzwerken	55
5.1.3	Vergleich der Immissionen in Funk-Netzwerken mit anderen HF-Immissionen	58
5.1.4	Immissionsminderung durch Funk-Netzwerktechnologien	59
5.2	Biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder	59
5.2.1	Kanzerogene Wirkung	61
5.2.2	Beeinflussung des Immunsystems	62
5.2.3	Beeinflussung der Fortpflanzung	63
5.2.4	Beeinflussung des Nervensystems	64
5.2.5	Befindlichkeitsstörungen und Elektrosensibilität	67
5.2.6	Beeinflussung des Hormonsystems	68
5.2.7	Beeinflussung zellulärer Eigenschaften und Prozesse	69
5.2.7.1	Gentoxische Effekte	70
5.2.7.2	Beeinflussung der Gen-Expression und Aktivierung von Hitzeschock-Proteinen	71
5.2.7.3	Beeinflussung der Zellproliferation	72
5.2.7.4	Beeinflussung des Calcium-Ionen-Haushalts	73
5.3	Gesundheitliche Risiken durch Expositionen in Funk-Netzwerken	74
6	Vorsorge im Zusammenhang mit Funk-Netzwerken	79
6.1	Minimierungsgebot und Grenzwerte	81
6.2	Immissionsermittlung und technische Überwachung	82
6.3	Technische Normen und Maßnahmen	82
6.4	Produktinformation	83
6.5	Anlagenplanung	83
6.6	Information und Aufklärung	84
6.7	Abschirmung	85
	Glossar	86
	Literatur	90

0 Zusammenfassung

Das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen hat das ECOLOG-Institut mit einer Sachstandserhebung zur Netzwerktechnologie WLAN beauftragt. Im Rahmen der Literaturstudie sollten sowohl Informationen zu den Chancen, wie auch zu den Risiken dieser Technologie zusammengetragen werden.

Technisch und wirtschaftlich befinden sich Funk-Netzwerke am Beginn einer Entwicklung zum Massenmarkt und damit auf dem Weg zu einer im Alltag üblichen Kommunikationsmöglichkeit. Dies zeigt sich auch in der Analyse der wirtschaftlichen Bedeutung, wobei die möglichen Konkurrenztechnologien UMTS, UWB und Bluetooth nahezu übereinstimmend als Ergänzungen mit nur geringen Überschneidungen gesehen werden. Umstritten ist in der Literatur, ob der parallele Ausbau von UMTS und WLAN die finanziellen Möglichkeiten der Betreiber übersteigt. Das Ergebnis wird davon abhängen, ob es gelingt, den Massenmarkt zu gewinnen.

Als Erfolgsfaktoren der WLAN-Entwicklung gilt einerseits der Bedarf an mobiler Internet-Nutzung, der mit zunehmender Verfügbarkeit von Notebooks steigen wird. Andererseits ist die notwendige Zahlungsbereitschaft für die WLAN-Nutzung schwer abzuschätzen. Geringe Gebühren fördern sicher den Massenmarkt, bergen aber die Gefahr, dass der Return on Investment nicht oder nicht rechtzeitig gelingt, zumal kostenlose öffentlich oder privat eingerichtete Zugänge (auch so genannte Stadt-Netze) zunehmen.

Trotz der noch sehr jungen und damit sehr schwer prognostizierbaren Entwicklung stimmen die Marktforschungsunternehmen darin überein, dass WLAN ein weiter stark wachsender Markt ist, insbesondere wenn es gelingt, die derzeit noch diskutierten Nachteile im Bereich Sicherheit und Roaming auszuräumen. Eine Abflachung der steilen Wachstumskurve ist frühestens ab 2007 zu erwarten.

Für den Bereich der Hot Spots wird ein starkes Wachstum prognostiziert. Auch bei den Unternehmens-Netzwerken werden hohe Wachstumsraten erwartet, insbesondere im so genannten SOHO-Sektor (small-office und home-office). Unsicher ist dagegen die Entwicklung im Bereich Heim-Netze.

Bezüglich der Arbeitsmarkt- und Ausbildungsplatzsituation existieren keine zugänglichen Informationen. Es wird jedoch seitens der Autoren angenommen, dass die weitere Entwicklung von WLAN allenfalls den aktuellen Stellenabbau in der Telekommunikationsbranche bremst; im Saldo werden keine neuen Arbeitsplätze erwartet. Bezüglich des UMTS-Ausbaus sind sogar Beschäftigungsverluste zu befürchten, da die bestehenden Internet-Dienstleistungs-Angebote mit den UMTS-Angeboten konkurrieren. Außerhalb der Telekommunikationsbranche ist unter anderem aufgrund der Rationalisierungsgewinne in Unternehmen eher mit einem Abbau von Arbeitsplätzen zu rechnen. Betroffen hiervon sind auch die Bau- und die

Elektroinstallationsbranche, da das aufwändige Verlegen von Kabeln bei Neubau oder Sanierung von Gebäuden entfällt.

Nordrhein-Westfalen verfügt im Vergleich zu anderen Bundesländern über einen sehr hohen Bestand an Unternehmen und mit Sicherheit über die weitaus meisten Beschäftigten in der Telekommunikationsbranche, da zwei der großen Telekommunikationsunternehmen, die sich auch im WLAN-Bereich engagieren, im Bundesland ansässig sind.

Ein möglicherweise hemmender Faktor für die weitere Verbreitung von Funk-Netzwerken in Unternehmen und Behörden ist die begrenzte Sicherheit, die Funk-Netzwerke gegen unberechtigten Zugriff auf Netz-Ressourcen und Daten bieten. Mit den heute auf dem Massenmarkt erhältlichen Systemen ist es unmöglich, ein angriffssicheres Funk-Netzwerk zu betreiben. In vielen Fällen werden jedoch noch nicht einmal die einfachsten Sicherheitsmechanismen genutzt.

In der Anwendung dominieren bisher Funk-Netzwerke auf der Basis des IEEE 802.11-Standards, der den 2,4 GHz-ISM-Frequenzbereich nutzt. Seit Ende 2002 steht auch das 5 GHz-Band zur Verfügung, für das der HIPERLAN/2-Standard entwickelt wurde. Für diesen Frequenzbereich gibt es auch eine Erweiterung des IEEE 802.11-Standards. Ein zentrales (daten-) technisches Problem der Funk-Netzwerke ist die im Vergleich mit der Übertragung über Kabel hohe Störanfälligkeit der Funk-Übertragung. Um Kollisionen von Funksignalen verschiedener Netzwerk-Stationen zu begegnen, wurden spezielle Verfahren für den Zugriff auf das Funkmedium entwickelt. Probleme können auch durch Funk- und Störsignale anderer Geräte, die den gleichen Frequenzbereich nutzen, sowie Rauschen und Interferenzen entstehen.

Bei Funk-Netzwerken sind zwei Betriebsmodi unterschieden: Im Ad hoc-Modus sind die Endgeräte direkt per Funk miteinander verbunden, im Infrastruktur-Modus organisieren kleine Basisstationen (Access Points) die Funk-Verbindungen zu und zwischen den mobilen Rechnern und stellen Zugänge zu einem stationären Netzwerk her.

Die Größe einer Funkzelle hängt von der maximalen Reichweite einer Funk-Netzkarte und der angeschlossenen Antenne bzw. der Sendeleistung eines Access Points und der Abstrahlcharakteristik seiner Antenne ab. Um eine weitgehend flächendeckende Versorgung zu erreichen, ist ein möglichst dichtes Netz von überlappenden Funkzellen erforderlich.

Die maximal zulässige mittlere äquivalente isotrope Strahlungsleistung beträgt im 2,4 GHz-Band 100 mW, im Frequenzbereich 5150 MHz – 5350 MHz 200 mW und im Frequenzbereich 5470 MHz - 5725 MHz 1 W. Funk-Netzwerke müssen zwar den allgemeinen Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes genügen, sie fallen aber nicht unter die 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV), die den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor elektromagnetischen Feldern regelt, da diese nur für ortsfeste Anlagen mit Sendeleistungen von mehr als 10 W gilt. Auch die Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder gilt nur für ortsfeste Sendeanlagen mit einer

äquivalenten isotropen Strahlungsleistung von 10 W und mehr. Beim Aufbau und Betrieb von Funk-Netzwerken in Betrieben sind die einschlägigen berufsgenossenschaftlichen Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zu beachten. Die zulässigen Expositionen für Arbeitnehmer sind in der Unfallverhütungsvorschrift 'Elektromagnetische Felder' (BGV B11) festgelegt.

Die gesundheitlichen Risiken hochfrequenter elektromagnetischer Felder werden nicht nur in der Öffentlichkeit, sondern auch wissenschaftlich kontrovers diskutiert. Die gesetzlichen Grenzwerte und die Bestimmungen zum Arbeitsschutz berücksichtigen bisher nur akute gesundheitliche Auswirkungen durch thermische Effekte, die als wissenschaftlich eindeutig nachgewiesen gelten. Bei Einhaltung der in der 26. BImSchV festgelegten Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung sind Gesundheitsschäden durch diese akuten Wirkungen weitgehend auszuschließen. Nicht berücksichtigt sind Ergebnisse aus epidemiologischen Studien, aus Untersuchungen an freiwilligen Probanden und Tieren sowie aus In vitro-Experimenten, die vom ECOLOG-Institut und zum Teil auch von der Strahlenschutzkommission als Hinweise unterschiedlicher Stärke auf gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei Intensitäten deutlich unterhalb der geltenden Grenzwerte gewertet werden. Bei den an Endgeräten, wie Desktop-Computer und Notebooks, gemessenen Leistungsflussdichten von 0,01 bis 0,1 W/m² sind nach Einschätzung des ECOLOG-Instituts auf der Basis der vorliegenden wissenschaftlichen Befunde Befindlichkeitsstörungen und Beeinflussungen kognitiver Funktionen nicht auszuschließen. Auch scheint eine Verstärkung der Zellproliferation und damit potenziell ein Einfluss auf die Entwicklung von Tumoren möglich.

Da mögliche Risiken durch die elektromagnetischen Felder in Funk-Netzwerken nicht abschließend geklärt sind, werden vorsorgende Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung elektromagnetischer Expositionen bei der Einrichtung und dem Betrieb von Funk-Netzwerken empfohlen:

- Anwendung des Minimierungsgebots vor allem auch im Bereich der Normung, bei der technischen Entwicklung und bei der Planung von Funk-Netzen
- Einführung von Grenzwerten für alle technischen Quellen und Geräte, die elektromagnetische Felder erzeugen
- Ergänzung der Sicherheitsgrenzwerte durch Vorsorgewerte für die Gesamtexposition, die sich an der technischen Machbarkeit orientieren
- Einführung einer Anzeigepflicht für alle Funk-Netzwerkanlagen
- Überprüfung der Immissionen im Bereich von Funk-Netzwerken
- Bereitstellung von Produktinformationen für alle Geräte und Anlagen, die Auskunft geben über die möglichen elektromagnetischen Expositionen
- Beachtung des Minimierungsgebots insbesondere bei Funk-Netzwerken in Schulen
- Zielgruppengerechte Information und Aufklärung
- Abschirmung von Bereichen, die nicht durch Funk-Netze versorgt werden sollen.

1 Technische Grundlagen lokaler Funk-Netzwerke

Drahtlose Computer-Netzwerke sind seit 1992 im Einsatz. Bei den ersten Geräten lagen die Datenübertragungsraten allerdings noch deutlich unter 1 MBit/s. Zudem fehlte eine Standardisierung, so dass nur Geräte eines Herstellers untereinander kommunizieren konnten. Dies änderte sich mit der Verabschiedung des herstellerunabhängigen IEEE 802.11-Standards. Heute werden drahtlose lokale Netzwerke häufig unter dem Sammelbegriff WLAN (Wireless Local Area Network) zusammengefasst. Dieser Begriff bezeichnet streng genommen jedoch nur Funk-Netzwerke, die auf dem Standard IEEE 802.11 aufbauen, und wird im Folgenden auch nur in dieser Bedeutung benutzt.

Die funk- und datentechnischen Grundlagen von Funk-Netzwerken werden im Abschnitt 1.1 dargestellt. Die für die folgenden Kapitel wichtigsten Merkmale von WLAN auf der Basis des Standards IEEE 802.11 werden im Abschnitt 1.1.1 behandelt. Abschnitt 1.1.2 befasst sich analog mit den High Performance Radio Local Area Networks (HIPERLAN), die auf einem Standard des European Telecommunication Standards Institute basieren. Ergänzende Informationen zur Sendeleistung der Komponenten von Funk-Netzwerken und den von ihnen verursachten Immissionen finden sich im Abschnitt 5.1. Der prinzipielle Aufbau von Funk-Netzwerken wird in Kapitel 1.2 beschrieben.

1.1 Standards für Funk-Netzwerke

1.1.1 WLAN

Der WLAN-Standard hat nicht nur beim Aufbau lokaler Computer-Netzwerke eine große Verbreitung gefunden, sondern hat sich auch für so genannte Hot Spots, öffentliche Plätze und Gebäude mit einem hohen Aufkommen an Nutzern des Internet, durchgesetzt.

WLAN basiert auf dem 1997 vom US-amerikanischen Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) entwickelten Standard 802.11. Die erste Spezifikation 1997 sah Brutto-Datenübertragungsraten bis 2 MBit/s vor. Seither wurden mehrere Erweiterungen (IEEE 802.11a bis n, s. Tabelle 1.1) mit Datenübertragungsraten bis 54 MBit/s vorgestellt. Funknetze nach IEEE 802.11 werden von zwei Gremien gefördert: Die WLANA (Wireless LAN Association) ist ein Zusammenschluss verschiedener Unternehmen, die unter anderem gemeinsam eine Website zur Förderung von Funknetzen betreiben. Zusätzlich gibt es die Zertifizierungsstelle WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), die über die Einhaltung gemeinsamer Standards wacht und hierfür das Wi-Fi Logo (Wireless Fidelity) verleiht.

Tabelle 1.1

IEEE 802.11-Standard für WLAN und Erweiterungen (Die angegebenen Datenübertragungsraten sind Bruttoraten)

802.11	2 MBit/s, 2,4 GHz-Band
802.11a	54 MBit/s, 5 GHz-Band
802.11b	Erweiterung von 802.11 bis 11 MBit/s, 2,4 GHz-Band
802.11d	Anpassungen an nationale Regelungen
802.11e	Erweiterung zu 802.11a u. b, Unterstützung von Quality of Service, verbessertes Power Management
802.11f	Kommunikation zwischen Access Points
802.11g	Höhere Datenraten (ab 20 MBit/s), 2,4 GHz-Band
802.11h	Höhere Datenraten, Reichweitenanpassung, In- und Outdoor-Kanäle, 5 GHz-Band
802.11i	Erweiterung bezüglich Sicherheit und Authentifizierung
802.11j	Anpassung für Japan
802.11n	Verbesserungen bei hohem Datendurchsatz

Für WLAN wurden drei Arten der Datenübertragung definiert: eine Infrarotübertragung und zwei Funkübertragungen. Nach IEEE 802.11 erfolgt die Funkübertragung im 2,4 GHz-ISM-Band, das in vielen Ländern für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Zwecke lizenzfrei genutzt werden kann. Da höhere Frequenzen höhere Datenübertragungsraten erlauben, wurde mit IEEE 802.11a ein WLAN-Standard für das 5 GHz-Band geschaffen. Dieser Standard erlaubt Datenübertragungsraten von theoretisch bis zu 54 MBit/s. Herstellerspezifische Erweiterungen gehen sogar bis über 100 MBit/s. Das 5 GHz-Band ist ebenfalls lizenzfrei und wurde erst vor kurzem in Deutschland freigegeben. Derzeit ist das 5 GHz-Band noch nicht stark ausgelastet, allerdings operieren auch Geräte nach dem HIPERLAN/2-Standard in diesem Frequenzbereich. In der Nutzung dominieren bisher immer noch Anwendungen im 2,4 GHz-Band.

Die Äquivalente Isotrope Strahlungsleistung (EIRP) der Sender darf im 2,4 GHz-Band in Deutschland maximal 100 mW betragen (s. 5.1.1). Der EIRP-Wert berücksichtigt sowohl die Sendeleistung als auch den Antennengewinn. Innerhalb von Gebäuden lassen sich damit Reichweiten von etwa 30 m, außerhalb von Gebäuden von etwa 300 m erreichen. Durch den Einsatz von Antennen mit Richtcharakteristik können auf freien Strecken auch größere Entfernungen überbrückt werden. Dabei ist jedoch die Obergrenze für den EIRP-Wert zu beachten, das heißt, dass bei Verwendung einer Antenne mit stark gerichteter Abstrahlung bzw. hohem Antennengewinnfaktor unter Umständen die Sendeleistung reduziert werden muss, um den zulässigen EIRP-Wert einzuhalten. Diese Vorschrift wird allerdings vielfach nicht beachtet (s. 5.1.2).

Die Funkübertragung ist im Vergleich mit der Übertragung über Kabel sehr störanfällig und kann zu hohen Fehlerraten führen. Hauptfehlerquellen sind:

- Kollisionen mit Funksignalen von anderen WLAN-Stationen (s.u.)

- Funk- und Störsignale, die von anderen Geräten ausgehen, die den gleichen Frequenzbereich nutzen (Mikrowellenherde, Bluetooth; s. z.B. Miyamoto et al. 1997)
- Rauschen
- Interferenzen.

Für die Funkübertragung hat sich das Direct Sequence Spread Spectrum- (DSSS-) Verfahren durchgesetzt, das auf einer Bandspreizung nach dem CDMA-Verfahren basiert. Dieses Verfahren wird auch beim UMTS-Mobilfunk und beim Satellitennavigationssystem GPS benutzt. Das Codemultiplex-(Code Division Multiplex-, CDM-) Verfahren erlaubt die gleichzeitige Übertragung verschiedener Datensätze auf einer Frequenz. Durch eine spezielle Kodierung der Daten wird sichergestellt, dass der Empfänger 'seine' Daten aus einer Überlagerung mehrerer Übertragungen rekonstruieren kann. Dazu wird jedem Sender ein so genannter Spreizcode zugeordnet, mit dem das binäre Signal multipliziert wird (Spreizen, s. Abbildung 1.1 a-c).

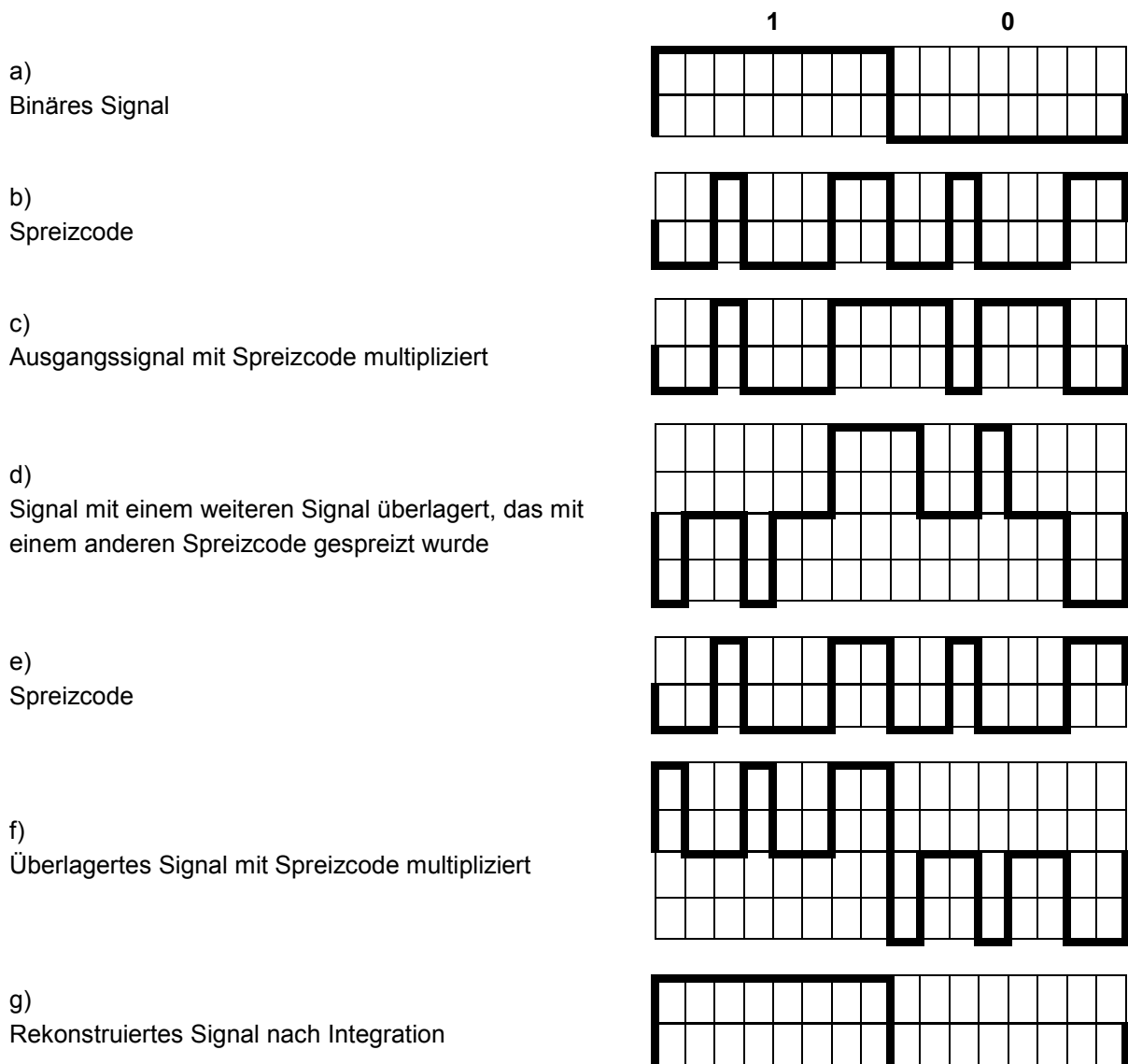


Abbildung 1.1
Spreizen und Entspreizen eines binären Signals (nach Roth 2002 S. 36f)

Der Empfänger, der den Spreizcode kennt, benutzt diesen zur Filterung (Entspreizen), um aus einem Signalgemisch das für ihn bestimmte Signal herauszufiltern (s. Abbildung 1.1 d-g). (Das Codemultiplex-Verfahren ist in Wirklichkeit sehr komplex, ausführliche Beschreibungen finden sich z.B. in Lehner 2003 S. 58f, Roth 2002 S. 35ff). Das DSSS-Verfahren erlaubt eine bessere Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzbandes, das gemäß IEEE 802.11 in 14 Kanäle aufgeteilt wird.

Nicht durchsetzen konnte sich das Frequency Hopping Spread Spectrum- (FHSS-) Verfahren, bei dem das verfügbare Frequenzspektrum zwischen 2400 und 2483,5 MHz in fast allen Ländern in 79 Kanäle aufgeteilt wird. Um Störungen auf einer bestimmten Frequenz zu kompensieren, werden die Kanäle in schneller Folge - mindestens 2,5-mal pro Sekunde - nach einer Pseudo-Zufallszahlenfolge gewechselt.

Um die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen zu verringern, die entstehen, wenn zwei oder mehr Stationen gleichzeitig senden, wurde für den Zugriff auf das Funkmedium im Standard IEEE 802.11 das CSMA/CA-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) als verbindlich definiert (Roth 2002):

Bevor er mit der Aussendung beginnt, hört der Sender das Medium ab. Ist das Medium frei, beginnt die Übertragung. Ist das Medium belegt, findet also gerade eine andere Übertragung statt, werden deren Ende und eine zusätzliche Wartezeit abgewartet. Ist das Medium dann immer noch frei, wird die Aussendung begonnen. Wird das Medium während der Wartezeit von einer anderen Station belegt, begibt sich die sendewillige Station wieder in den Wartezustand und hört das Medium ab. Dieses Verfahren wird so oft wiederholt, bis eine Wartezeit vergangen ist, ohne dass das Medium von einer anderen Station belegt wurde. Um die Wahrscheinlichkeit für Kollisionen zu vermindern, ist die Länge der Wartezeiten nicht konstant, sondern wird durch einen Zufallsgenerator erzeugt.

Der Standard IEEE 802.11 definiert noch zwei andere Zugriffsverfahren, die aber nur optional sind:

Mit dem CSMA/CA-Verfahren mit RTS/CTS (Ready To Send/Clear To Send) kann dem Hidden-Terminal-Problem begegnet werden, das entstehen kann, wenn sich nicht alle Stationen untereinander erreichen können, also wenn sich z.B. eine Station zwischen zwei anderen befindet, diese beide empfangen kann, die beiden äußeren Stationen wegen begrenzter Reichweiten aber nicht erkennen können, wenn die jeweils andere das Medium bereits belegt hat. Um diesem Problem zu begegnen, sendet die sendewillige Station ein RTS-Frame. Ist das Medium frei, bestätigt der Empfänger dies mit einem CTS-Frame. Der Empfang eines RTS- oder CTS-Frames signalisiert den anderen Stationen, dass das Medium belegt ist.

Die CSMA/CS-Verfahren ohne oder mit RTS/CTS kommen ohne zentrale Koordination aus (Distributed Coordination Function, DCF). Das PCF-Verfahren (Point Coordination Function) ist dagegen nur im Infrastruktur-Modus verfügbar. Hier erfolgt die Koordination des Zugriffs auf das Medium durch den Access Point.

Im WLAN-Standard sind noch weitere Funktionen vorgesehen, u.a.

- zur Synchronisation der Uhren der beteiligten Stationen,
- zur Deaktivierung der Funk-Hardware, wenn diese nicht gebraucht wird, um Batterie-strom zu sparen,
- zur Organisation des Roaming, das heißt der kontinuierlichen Anbindung an das Netz auch bei einem Wechsel zwischen Funkzellen, die von verschiedenen Access Points ver-sorgt werden.

(Literatur zu IEEE 802.11-Netzwerken: Asami et al. 1999, Bertin et al. 2003, Burness et al. 2003, Kabachinski 2000, 2001, Roth 2002)

1.1.2 HIPERLAN

Der HIPERLAN-Standard wurde vom European Telecommunication Standards Institute (ETSI) für drahtlose Netzwerke mit hohen Datenübertragungsraten entwickelt. Die Arbeiten an der ersten Spezifikation, HIPERLAN/1, wurden 1996 abgeschlossen. Für HIPERLAN/1 waren mit 23,5 MBit/s wesentlich höhere Datenraten vorgesehen als sie seinerzeit in WLAN auf der Basis von IEEE 802.11 möglich waren. Für die Funkübertragung war das ISM-5 GHz-Band (5,12 bis 5,30 GHz) mit einer Einteilung in 5 Kanäle vorgesehen. Mit Sendeleistungen von 200 mW sollten Reichweiten bis 50 m erreicht werden. Die effektive Kommunikationsreichweite kann in HIPERLAN-Netzen aber wesentlich größer sein, da Datenpakete von Stationen, den so genannten Forwarders, weitergereicht werden können. Für die Weiterleitung werden jedoch Rechenleistung und Bandbreite der als Forwarder eingesetzten Stationen gebunden. Beim Aufbau eines HIPERLAN-Netzes muss deshalb sorgfältig abgewogen werden, ob Leistungseinschränkungen bei den Stationen hinnehmbar sind, oder ob es nicht doch sinnvoller ist, zusätzliche Basisstationen einzurichten.

Für die Regelung des Zugriffs auf das Funkmedium sieht der HIPERLAN-Standard ein aufwändiges Verfahren vor, das auch die Prioritäten der Datenpakete berücksichtigt (Roth 2002 S. 98f). Diese werden aus der Zeit berechnet, die eine Anwendung für die Auslieferung vorgesehen hat.

Obwohl HIPERLAN/1 gegenüber IEEE 802.11 einige Vorteile bietet, konnte sich der Standard nicht durchsetzen und wurde von ETSI zu HIPERLAN/2 weiterentwickelt. Der seit dem Jahr 2000 verfügbare Standard HIPERLAN/2 unterstützt nicht nur traditionelle drahtlose Netzwerke im Büro- und Heimbereich, sondern HIPERLAN/2 wurde auch als Basis für drahtlose Zugangsnetzwerke für Weitverkehrsnetze, wie UMTS, konzipiert, vor allem für Multimedia-Anwendungen mit hohen Qualitätsanforderungen (Chen & Wu 2003, Doufexi et al. 2003, Luo et al. 2003). HIPERLAN/2 kann auch eingesetzt werden, um die Zugangskapazität zu Mobilfunknetzen zu erhöhen, z.B. um Hot Spots abzudecken, für die eine direkte Erschließung durch ein GSM-Mobilfunknetz aufgrund der hohen Teilnehmerzahlen schwierig ist.

HIPERLAN/2 nutzt ebenfalls das ISM-Band bei 5 GHz (5,15 bis 5,35 GHz oder 5,47 bis 5,725 GHz). In Gebäuden werden mit Sendeleistungen von 200 mW Reichweiten bis 30 m, außerhalb von Gebäuden bis 150 m erreicht.

Von ETSI wurden noch zwei weitere Standards für die drahtlose Datenübertragung entwickelt:

- HIPERACCESS ermöglicht eine drahtlose Verbindungen zwischen Nutzer und Zugangspunkt zu einem Weitverkehrsnetz und stellt damit eine Alternative zu drahtgebundenen Verfahren, wie ISDN, dar. HIPERACCESS soll vor allem den Frequenzbereich 40,5 - 43,5 GHz nutzen. Die maximale Datenübertragungsrate liegt bei 100 MBit/s. Es wird jedoch erwartet, dass in den meisten Fällen mit einer Datenrate von 25 MBit/s gearbeitet wird. HIPERACCESS-Verbindungen ermöglichen Reichweiten bis 5 km und Datenübertragungsraten bis 25 MBit/s.
- HIPERLINK ermöglicht feste Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Zugangspunkten für HIPERLAN oder HIPERACCESS mit Datenraten von bis zu 155 MBit/s.

(Literatur zu HIPERLAN-Netzwerken: Esseling et al. 2001, Kadelka & Masella 2001, Khunjush et al. 2002, Lenzini & Mingozzi 2001, Roth 2002; Literatur zum Vergleich zwischen HIPERLAN/2 und IEEE 802.11a: Brignol & Litzenburger 2001, Doufexi et al. 2002)

1.2 Aufbau und Organisation von Funk-Netzwerken

Bei Funk-Netzwerken werden zwei Betriebsmodi unterschieden (Müller 2002, Roth 2002 S. 80ff).

Im Ad hoc-Modus kommunizieren gleichberechtigte Rechner miteinander (s. Abbildung 1.2). Verbindungen sind nur zwischen Rechnern möglich, die sich innerhalb der jeweiligen Reichweiten befinden. Sobald mehrere PCs mit Funknetzkarten in Reichweite zueinander gebracht werden, können sie ein Ad hoc-Netzwerk bilden (Independent Basis Service Set, IBSS). Ad hoc-Netze ermöglichen einen schnellen, unkomplizierten und kostengünstigen Netzaufbau.

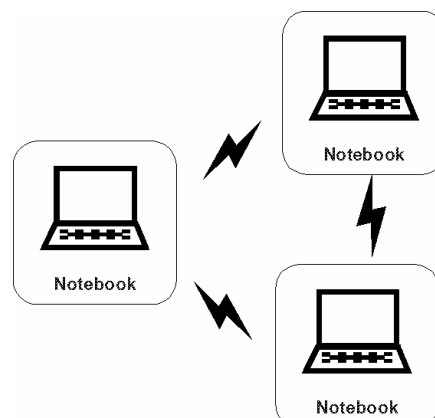


Abbildung 1.2

Funk-Netzwerk im Ad hoc-Modus: Die Endgeräte sind direkt per Funk miteinander verbunden

Im Infrastruktur-Modus erfolgt die Anbindung mobiler Rechner über feste Basisstationen (s. Abbildung 1.3). Diese so genannten Access Points organisieren die drahtlosen Verbindungen zu und zwischen den mobilen Rechnern, bieten den mobilen Stationen in der Regel aber auch einen Zugang zu einem stationären Netzwerk. Access Points sorgen dafür, dass Daten von und zum Festnetz übertragen werden und gleichzeitig Datenaustausch in den Funkzellen stattfinden kann. Sie übernehmen damit eine ähnliche Funktion wie ein Hub oder Switch in einem drahtgebundenen Netz (LAN). In der einfachsten Version besteht ein Funknetz aus einem Access Point und mehreren über Funk angeschlossenen Stationen (Basis Service Set, BSS). Auf Anwenderseite ist eine Funknetz Karte für Desktop-Computer bzw. Notebook erforderlich. Zudem gibt es spezielle Geräte wie PDA (Personal Digital Assistant) mit eingebauter Unterstützung für Funknetze.

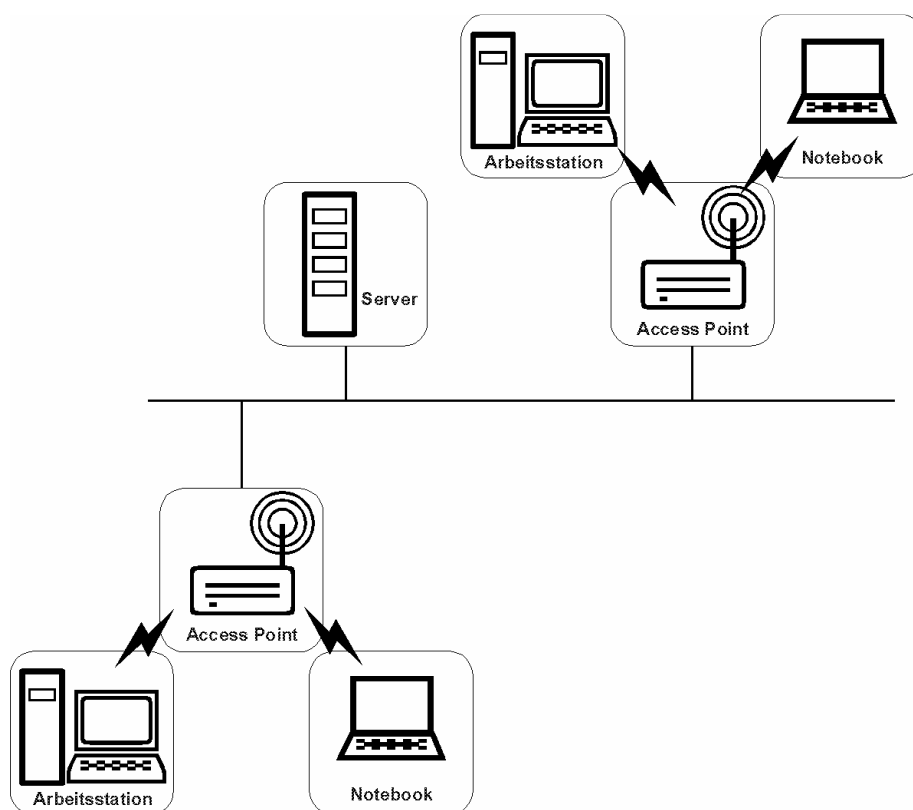


Abbildung 1.3

Funk-Netzwerk im Infrastruktur-Modus: Access Points organisieren die Funk-Verbindungen zu und zwischen den mobilen Rechnern und stellen Zugänge zu einem stationären Netzwerk her

Durch die Kopplung mehrerer BSS lassen sich größere Distanzen abdecken und mit einem Funknetz versorgen. Diese Anordnung wird als Extended Service Set (ESS) bezeichnet und kommt bei der Vernetzung größerer Flächen mit mehreren Gebäuden oder größerer Gebäudekomplexe zum Einsatz. Eine Station kann immer nur einem BSS zugeordnet sein.

Die Größe einer Funkzelle hängt von der maximalen Reichweite einer Funk-Netzkarte und der angeschlossenen Antenne bzw. der Sendeleistung eines Access Points und der Abstrahlcha-

rakteristik seiner Antenne ab. Um eine weitgehend flächendeckende Versorgung zu erreichen, ist ein möglichst dichtes Netz von überlappenden Funkzellen erforderlich. Bewegt sich ein Nutzer, so wird er von Funkzelle zu Funkzelle weiter gereicht, ohne dass die Verbindung zum Netzwerk abbricht. Dieses Wandern der Nutzer wird als Roaming bezeichnet.

Alle Access Points eines ESS zusammen bilden das Distribution System (DS). Der erforderliche Austausch der Informationen zwischen den Access Points erfolgt meist über drahtgebundene Verbindungen.

Das Distribution System muss nach IEEE 802.11 die folgenden Dienste anbieten (Distribution System Services, DSS):

Association: Dieser Dienst sorgt für die Bindung einer Station an einen Access Point. Mit der entsprechenden Information kann der Distribution-Dienst Nachrichten an die richtigen Stationen zustellen. Eine Station darf immer nur zu einem Access Point gehören, ein Access Point kann für mehrere Stationen zuständig sein.

Disassociation: Geht eine Station vom Netz, ruft sie den Disassociation-Dienst auf. Dieser teilt dem DS mit, dass alle Informationen bezüglich dieser Station gelöscht werden sollen. Der Disassociation-Dienst sendet eine Nachricht und erwartet keine Antwort. Er kann weder vom Access Point noch von einer Station abgelehnt werden.

Reassociation: Der Reassociation-Dienst wird von der Station bei einem BSS-Übergang ausgeführt, er sorgt für die Zuordnung der Station zum neuen Access Point.

Distribution: Finden des richtigen Access Points, zu dem eine Nachricht geleitet werden muss, um den Adressaten zu erreichen.

Integration: Organisation der Anbindung an das Festnetz.

Auch die Stationen eines Funk-Netzwerkes müssen bestimmte Dienste anbieten. Hierzu gehören u.a.:

Authentisierung und Deauthentisierung: Die An- und Abmeldung am Access Point kann mit einer Authentisierung verbunden sein, die von der Station angefordert wird (s.a. Kapitel 4).

Verschlüsselung: Jede Station muss in der Lage sein, Nachrichten zu verschlüsseln (s.a. Kapitel 4).

(Literatur zum Aufbau von Funk-Netzwerken: Ala-Laurila et al. 2001, Hills 2001, Kobayashi et al. 2002, Wu et al. 2001; Literatur zur Mobilität in Funk-Netzwerken: Garcia-Macias et al. 2003, Guillouard et al. 2003)

2 Rechtlicher Rahmen für Einrichtung und Betrieb von Funk-Netzwerken

Beim Aufbau und Betrieb von Funk-Netzwerken sind vor allem vier Rechtsbereiche zu beachten:

1. die Vorschriften zur Regulierung der Frequenznutzung
2. die Bestimmungen zur Gerätesicherheit und zur elektromagnetischen Verträglichkeit
3. die gesetzlichen Vorgaben zum Immissionsschutz bzw. zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegenüber elektromagnetischen Feldern
4. die Bestimmungen zum Arbeitsschutz.

Hinzu kommen noch die Bestimmungen zum Datenschutz, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

2.1 Frequenzregulierung

Funk-Netzwerke nach dem Standard IEEE 802.11 werden bisher im 2,4 GHz-ISM (Industrial Scientific and Medical)-Band betrieben. Der Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz ist einer der Frequenzbereiche, die international für Hochfrequenzgeräte in Industrie, Wissenschaft und Medizin freigegeben wurden. Die ISM-Frequenzen werden von verschiedensten Hochfrequenzgeräten und -anlagen genutzt. Die dabei unvermeidbare Aussendung von Störstrahlung macht die Nutzung von ISM-Frequenzen für Funkanwendungen in der Nähe von Hochfrequenzgeräten schwierig. Im 2,4 GHz-Bereich kann es z.B. zu Störungen durch die Leckstrahlung von Mikrowellenherden kommen. Auch Funk-Kopfhörer, Kurzstreckenfunk, Baby-Phone, Fernsteuerung von Spielzeugen und Modellen (außer Flugmodellen), Garagentorsteuerung, Zentralverriegelung, Funk-Mouse oder Funk-Keyboard für PC können Störquellen für WLAN sein. Für den Anwender hat die Nutzung der ISM-Frequenzen den Vorteil, dass die Geräte nicht angemeldet werden müssen und keine Gebühren anfallen. Bei Funkanwendungen darf jedoch eine Sendeleistung von 100 mW EIRP nicht überschritten werden.

Frequenzen für WLAN-Funkanwendungen im 5 GHz-Bereich (5150 MHz – 5350 MHz und 5470 MHz – 5725 MHz) wurden durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (Reg TP) am 13.11.2002 freigegeben. Damit hat die Reg TP die rechtlichen, technischen und betrieblichen Voraussetzungen für deren Nutzung in Deutschland geschaffen. Die neuen Frequenzen können seit diesem Zeitpunkt im Rahmen der Bestimmungen der Allgemeinzuteilung von jedermann lizenz- und gebührenfrei genutzt werden. Der 5 GHz-Frequenzbereich wird auch für andere Funkanwendungen, wie Satellitenfunk, Ortungsfunk und Amateurfunk, genutzt, weshalb auch hier Störungen nicht ausgeschlossen sind. Generell gilt, dass WLANs keinen besonderen Schutz vor Beeinträchtigungen durch in gleichen Frequenzbereichen primär oder sekundär zugewiesene Funkdienste genießen und diese Funkdienste auch nicht stören dürfen. Die maximal zulässige mittlere äquivalente isotrope Strahlungsleistung beträgt im Frequenzbereich 5150 MHz – 5350 MHz 200 mW, im Frequenzbereich 5470 MHz - 5725 MHz ist maximal 1 W (EIRP) zulässig. In der Allgemeinzuteilung von Frequenzen im 5 GHz-

Bereich für WLAN-Anwendungen wird außerdem ein Kanalraster festgelegt und es werden zur Vermeidung von Störungen bei anderen Funkanwendungen und Beeinträchtigungen der WLAN-Funkanwendungen untereinander eine automatische Leistungsregelung (TPC) und ein dynamisches Frequenzwahlverfahren (DFS) gefordert. Ein bestimmter technischer Standard wird nicht verbindlich vorgeschrieben, das heißt es können WLAN nach IEEE 802.11a ebenso realisiert werden wie HIPERLAN/2-Netzwerke.

2.2 Gerätesicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit (FTEG, RTTE-Richtlinie, EMVG)

Das Inverkehrbringen von Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen ist im Gesetz über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen (FTEG) geregelt. Mit dem FTEG wurden die Richtlinie 1999/5/EG des europäischen Parlaments und des Rats über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung ihrer Konformität, die RTTE-Richtlinie (Radio equipment and Telecommunications Terminal Equipment and the mutual recognition of their conformity / Richtlinie über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung ihrer Konformität), in nationales Recht umgesetzt. Mit dem Inkrafttreten des FTEG am 8.2.2001 wurde das früher erforderliche behördliche Zulassungsverfahren für Telekommunikationsendeinrichtungen durch ein System der Konformitätsbewertung durch den Hersteller mit anschließender Konformitätserklärung abgelöst.

Da vor allem im privaten Bereich selbstgebaute Geräte zum Einsatz kommen, ist nicht unwichtig, dass Bausätze und Selbstbauten zum Teil nicht im Anwendungsbereich des FTEG und der RTTE-Richtlinie liegen: Zwar haben Hersteller von Bausätzen, die für die Herstellung eines bestimmten Gerätes oder eines Bauteils, das in üblicher Weise in eine Anlage integriert werden soll, vorgesehen sind, die Übereinstimmung mit den Anforderungen sicher zu stellen. Hierfür ist somit die RTTE-Richtlinie bzw. das FTEG anzuwenden. Bausätze, die vom Hersteller für die Anwendung durch Bastler, Heimwerker oder Amateure und für die Herstellung unterschiedlicher, auch selbst entworfener, Geräte vorgesehen sind, liegen aber außerhalb des Anwendungsbereiches der RTTE-Richtlinie. Die Hersteller derartiger Bausätze sollten jedoch die Käufer durch geeignete Hinweise auf ihre Verpflichtungen zur Einhaltung der Anforderungen der RTTE-Richtlinie aufmerksam machen, um mögliche Störungen des Funkverkehrs zu verhindern.

Damit beim Betrieb elektrischer oder elektronischer Geräte keine anderen Geräte oder Funk- und Telekommunikationsanlagen in ihrer Funktion gestört werden, müssen sie untereinander elektromagnetisch verträglich sein. Mit der Veröffentlichung der EMV-Richtlinie (Richtlinie 89/336/EWG des Rates vom 3.5.1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Elektromagnetische Verträglichkeit) wurden für elektrische Geräte bestimmte Störaussendungs- und Störfestigkeitsanforderungen vorgeschrieben, die in der gesamten EU gelten.

Die EMV- Richtlinie wurde in Deutschland in das 'Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten' (EMVG) umgesetzt. Das EMVG trat am 25.9.1998 in Kraft. Weil mit dem Inkrafttreten des Gesetzes über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen zum 8.2.2001 bestimmte Produkte aus dem Anwendungsbereich des EMVG herausgenommen wurden, hat der Gesetzgeber mit dem FTEG verschiedene Änderungen des EMVG in Kraft gesetzt. Die Reg TP ist die für das EMVG zuständige Ausführungsbehörde.

Das EMVG regelt den Schutz der Funk- und Telekommunikationsdienste sowie den Betrieb elektrischer Geräte untereinander vor elektromagnetischen Störungen. In den Schutzanforderungen wird bestimmt, dass die Geräte keine unzulässigen Störemissionen hervorrufen dürfen und dass sie eine ausreichende Störfestigkeit aufweisen müssen. Erst wenn die Einhaltung der Schutzanforderungen gewährleistet ist, darf ein Gerät in den Verkehr gebracht werden. Zuvor muss das Gerät geprüft und mit dem CE-Kennzeichen versehen werden. Außerdem hat der Hersteller für sein Produkt eine EG-Konformitätserklärung auszufüllen.

2.3 Immissionsschutz (26. BImSchV, BEMFV)

Funk-Netzwerke müssen den allgemeinen Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) genügen, das heißt, dass sie keine Immissionen verursachen dürfen, die "nach Art, Ausmaß und Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen" (§3 BImSchG). Funk-Netzwerke und ihre Komponenten fallen aber nicht unter die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16.12.1996, die explizit den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern regelt. Diese Verordnung gilt zwar auch für die Errichtung und den Betrieb von (ortsfesten) Hochfrequenzanlagen in den WLAN- und HIPERLAN-Frequenzbereichen - allerdings nur wenn die Anlagen gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden und wenn sie eine Sendeleistung von 10 Watt EIRP (Äquivalente Isotrope Strahlungsleistung) oder mehr haben. Letzteres ist bei den Komponenten von Funk-Netzwerken nicht der Fall (s. 5.1). Auch wenn die Sendeleistungen aller Komponenten zu einer 'Anlagenleistung' zusammengefasst würden, dürfte der 10 Watt-EIRP-Wert in der Praxis kaum erreicht werden. Die Beurteilung, ob von Anlagen, die zu elektromagnetischen Immissionen führen, aber nicht unter die 26. BImSchV fallen, schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ausgehen, erfolgt allerdings in der Regel auf der Basis der Empfehlungen der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) und der Strahlenschutzkommission, die auch den Grenzwerten der 26. BImSchV zugrunde liegen. Deshalb ist in Tabelle 2.1 der Grenzwert der 26. BImSchV für den Frequenzbereich oberhalb 2 GHz aufgeführt, in dem Funk-Netzwerke betrieben werden.

Tabelle 2.1

Grenzwert der 26. BImSchV für die elektrische Feldstärke und daraus abgeleiteter Wert für die Leistungsflussdichte für Frequenzen oberhalb 2 GHz

Elektr. Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m²]
61	9,9

Das Nachweisverfahren zur Gewährleistung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern, die durch den Betrieb von Funkseanlagen entstehen, ist in der 'Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder' (BEMFV) vom 20.8.2002 geregelt. Wie die 26. BImSchV gilt diese Verordnung jedoch nur für ortsfeste Sendeanlagen mit einer äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von 10 Watt und mehr.

2.4 Arbeitsschutz (BGV B11)

Beim Aufbau und Betrieb von Funk-Netzwerken in Betrieben sind die einschlägigen berufsgenossenschaftlichen Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zu beachten. Die zulässigen Expositionen für Arbeitnehmer sind in der Unfallverhütungsvorschrift 'Elektromagnetische Felder' (BGV B11) vom 1.10.2001 festgelegt (VBG 2001). In der BGV B11 werden vier Expositionsbereiche definiert:

Expositionsbereich 2	alle Bereiche des Unternehmens, sofern sie nicht den Expositionsbereich 1, dem Bereich erhöhter Exposition oder dem Gefahrbereich zuzuordnen sind
Expositionsbereich 1	kontrollierte Bereiche sowie Bereiche, in denen aufgrund der Betriebsweise oder aufgrund der Aufenthaltsdauer sichergestellt ist, dass eine Exposition oberhalb der zulässigen Werte von Expositionsbereich 2 nur vorübergehend erfolgt
Bereich erhöhter Exposition	kontrollierter Bereich, in dem die Werte des Expositionsbereiches 1 überschritten werden
Gefahrbereich	kontrollierter Bereich, in dem die Werte für Bereiche erhöhter Exposition überschritten werden

Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass für Expositionsbereiche die zulässigen Werte (s. Tab. 2.2) nicht überschritten werden. Dazu hat er

- die Expositionsbereiche festzulegen
- die auftretenden elektromagnetischen Felder zu ermitteln
- die Beurteilung einer Exposition durch Vergleich mit den zulässigen Werten (s. Tab. 2.2) festzulegen.

Ist sichergestellt, dass die für den Expositionsbereich 2 zulässigen Werte nicht überschritten werden, sind Maßnahmen nicht erforderlich. Für Personen mit aktiven oder passiven Körper-

hilfsmitteln, wie Herzschrittmacher, Insulinpumpen und Implantate, sind jedoch besondere Maßnahmen erforderlich, durch die Funktionsstörungen der Körperhilfsmittel oder Schädigungen der Personen verhindert werden.

Für Anlagen und Geräte, deren Felder die zulässigen Werte des Expositionsbereiches 2 überschreiten, hat der Unternehmer Betriebsanweisungen aufzustellen. Diese müssen die für den sicheren Betrieb notwendigen Angaben enthalten und auf die Möglichkeit der Exposition durch elektromagnetische Felder hinweisen. Die Beschäftigten haben die in den Betriebsanweisungen enthaltenen Festlegungen zu befolgen.

Bereiche erhöhter Exposition und Gefahrbereiche sind zu kennzeichnen. Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass in Bereichen erhöhter Exposition nur hierzu befugte Personen tätig werden, wenn

- durch technische oder organisatorische Maßnahmen sichergestellt ist, dass die für Kurzzeit- und Teilkörperexposition geltenden zulässigen Werte nicht überschritten werden, oder
- persönliche Schutzausrüstungen benutzt werden, die eine unzulässige Exposition verhindern.

Gefahrbereiche sind durch dauerhafte Abgrenzungen und Schutzeinrichtungen so zu sichern, dass während des Betriebes Personen nicht hineingreifen, hineingelangen oder sich darin aufhalten können. Personen dürfen in Gefahrbereichen tätig werden, wenn durch geeignete persönliche Schutzausrüstungen eine unzulässige Exposition ausgeschlossen ist.

Funk-Netzwerke werden bisher im 2,4 GHz-ISM-Frequenzband und künftig wohl auch bei Frequenzen über 5 GHz betrieben. Die BGV B11 sieht für alle Frequenzen oberhalb 2 GHz die gleichen zulässigen Werte vor. Diese sind, differenziert nach den verschiedenen Expositionsbereichen in Tabelle 2.2 aufgeführt. Die Werte für den Expositionsbereich 2 entsprechen denen der 26. BImSchV.

Tabelle 2.2

Zulässige Werte für die elektrische Feldstärke und die Leistungsflussdichte für Frequenzen oberhalb 2 GHz an Arbeitsplätzen

Expositionsbereich	Zulässige Werte	
	Elektr. Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W/m²]
Expositionsbereich 2 ¹	61,5	10
Expositionsbereich 1 ¹	137,3	50
Bereich erhöhter Exposition ²	4.472	50.000

¹ Expositionszeiten > 6 Minuten

² Spitzenwerte, Expositionszeiten < 6 Minuten, für längere Expositionszeiten sind die zulässigen Werte expositionszeitabhängig zu ermitteln (s. BGV B11 Anlage 1 Tabelle 9)

3 Einsatzmöglichkeiten und wirtschaftliche Potenziale von Funk-Netzwerken

Funkbasierte Kommunikationssysteme erlangen einen wachsenden Stellenwert, zumal diese Systeme mit dem Handy im Alltag selbstverständlich geworden sind. Die enorme Handy-Nachfrage sowie das stark gestiegene Interesse am Internet-Zugang sind die Ausgangspunkte der Entwicklung von Funk-Netzwerken. Mit WLAN wird die mittlerweile gewohnte Mobilität der Kommunikation um das Internet erweitert. Im Folgenden werden im Kapitel 3.1 die Einsatzmöglichkeiten von Funk-Netzwerken sowie in 3.2 die wirtschaftliche Bedeutung aktuell und in Zukunft dargestellt. In diesem Zusammenhang werden mögliche Konkurrenztechniken (3.2.1) sowie die Erfolgsfaktoren der WLAN-Entwicklung (3.2.2) beschrieben. Abschließend werden die Marktentwicklung und das Marktpotenzial (3.2.3) diskutiert und es wird eine Abschätzung der Auswirkungen der WLAN-Technologie auf Arbeitsmarkt- und Ausbildungssituation in Nordrhein-Westfalen gegeben (s. 3.3)

3.1 Einsatzmöglichkeiten von Funk-Netzwerken und Verbreitung in NRW

3.1.1 Einsatzmöglichkeiten

Abbildung 3.1 gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Funk-Netzwerken, die notwendigen Komponenten, Endgeräte und Software-Produkte für Steuerung, Kontrolle und Sicherheit sowie die angebotenen Dienste. Abbildung 3.1 kann damit auch als Grundlage für Abschätzungen der Wertschöpfung sowie der Auswirkungen auf die Ausbildungs- und Arbeitsplatzsituation dienen (s. 3.3).

Funk-Netzwerke können als öffentliche oder private Netzwerke betrieben werden. Zu den öffentlichen Netzwerken gehören Hot Spot-Netzwerke an Orten mit einem hohen potenziellen Nutzeraufkommen (Flughäfen, Bahnhöfe usw., s. Abbildung 3.1). Funknetzwerke in öffentlich zugänglichen Bereichen bieten dem mobilen Anwender einen Internet-Zugang, mit dem er seine E-Mails abholen, im Netz recherchieren oder sich mit dem Firmennetzwerk verbinden kann. Bei Konferenzen und Meetings stellen Funk-Netzwerke die Infrastruktur für eine Datenkommunikation ohne Verkabelungsaufwand zur Verfügung. Es zeichnet sich ab, dass sich zunächst vor allem für Business-Geräte ein lukrativer Markt entwickelt. Die Nutzer in diesem Segment legen großen Wert auf eine hohe Mobilität, sind aber auch bereit, in mobile Kommunikationsdienstleistungen zu investieren. In Hotels, auf Flughäfen und in Konferenzzentren werden sich Hot Spots als Standard etablieren, um den Anforderungen der Business-Klientel gerecht zu werden. Geringere Hardware-Kosten und günstigere Verbindungsentgelte werden künftig aber wahrscheinlich auch die Nachfrage von Privatpersonen fördern.

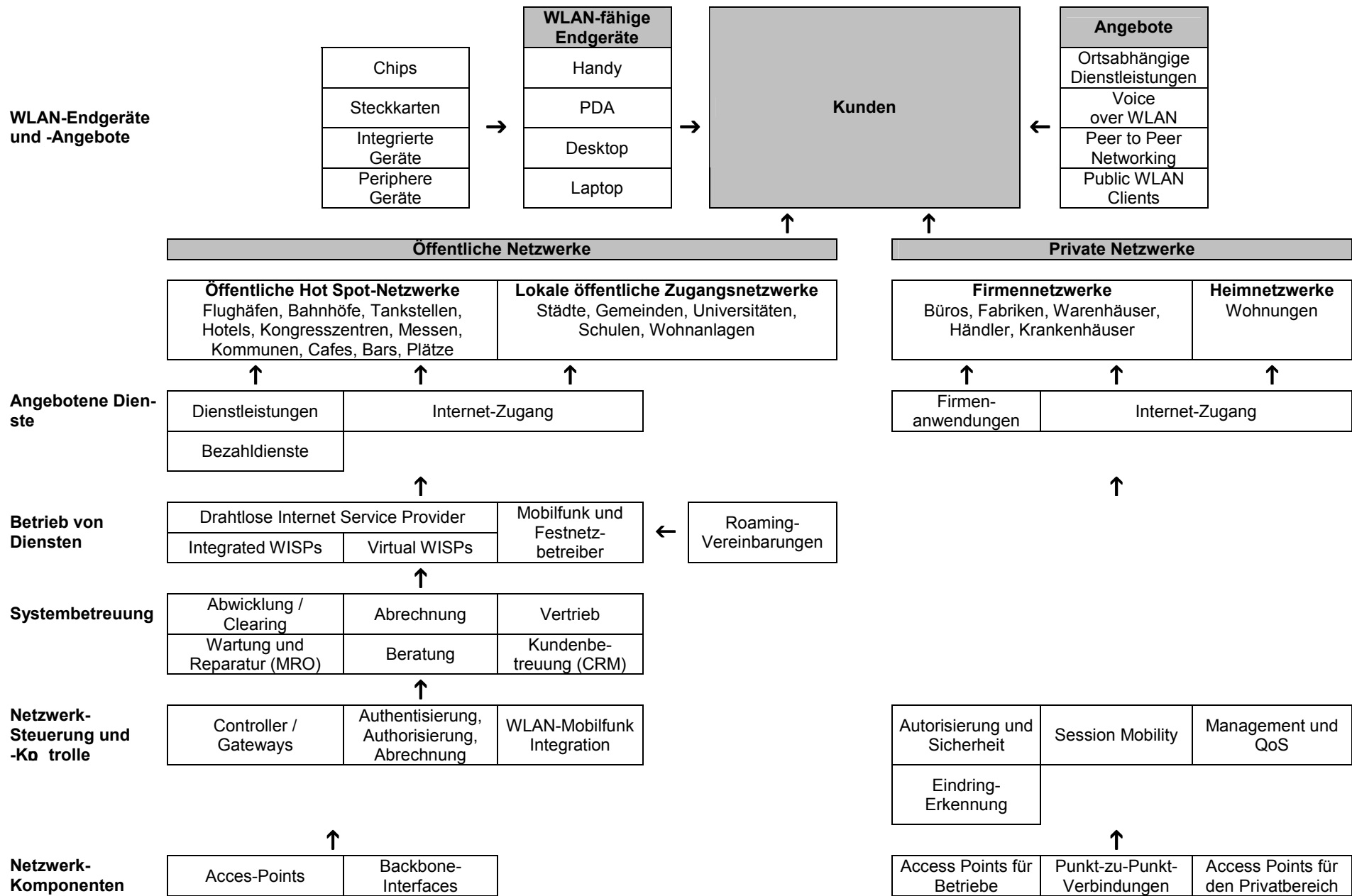


Abbildung 3.1 Wertschöpfungskette von Funk-Netzwerken (nach First Partner 2003)

Beim Zugang zu Funknetzen in Hot Spots sind grundsätzlich zwei Varianten zu unterscheiden (Müller 2002): Gratis-Zugänge und kostenpflichtige Dienste. Bei der kostenlosen Variante genügt es normalerweise, ein mit entsprechender WLAN-Hardware ausgestattetes Notebook oder einen PDA im Versorgungsgebiet des Hot Spots in Betrieb zu nehmen und die Kommunikationseinstellungen auf die Access Points abzustimmen. Die meisten WLAN-Treiber finden den passenden Kanal durch einen Auto-Scan, eine Verschlüsselung kommt bei kostenlosen Hot Spots nur selten zum Einsatz. Kostenlose Funknetz-Zugänge sind noch selten und finden sich vorwiegend in Bars und Restaurants, die den Hot Spot als Kundenservice anbieten. Die Entwicklungen in den USA lassen erwarten, dass über Hot Spots im Gaststättenbereich künftig neben einem drahtlosen Internet-Zugang auch andere Dienstleistungen verstärkt angeboten werden, wie z.B. spezielle Informationen (Börsenkurse, touristische Informationen usw.), Unterhaltungsangebote (Musik, Spiele) oder Chat-Angebote.

In Hotels und Flughäfen werden vorwiegend kostenpflichtige Zugänge angeboten. Die Anmeldung zum Funknetz erfolgt über eine Intranet-Portalseite, die neben dem Internet-Zugang oft eine Reihe zusätzlicher Dienste und lokaler Service-Angebote bereitstellt. Dazu gehören zum Beispiel Veranstaltungskalender, Messführer, Stadtpläne, Buchungsmöglichkeiten bei Airports, Autovermietungen, Ausgeh- und Kulturtipps sowie Restaurantführer.

Für den Internet-Zugang benötigt ein Gast eine so genannte Access Card, die er an der Rezeption oder einem Informationsschalter bekommt. Auf die Access Card ist ein persönlicher Login-Code und ein Passwort aufgedruckt. Erst damit ist ein Zugang zu den Diensten des Hot Spots für eine bestimmte Zeit möglich. Die Zugangskarten gibt es für unterschiedliche Nutzungsdauern. Über seinen Browser ruft der Anwender die Login-Seite des Hotels oder Flughafens auf und gibt die Daten der Access Card ein. Anschließend ist der Netzzugang innerhalb des gesamten Hot-Spot-Versorgungsgebiets für die jeweilige Nutzungsdauer freigeschaltet.

Betreiber der Hot Spots sind in der Regel Service-Dienstleister wie WLAN GmbH, Megabeam Deutschland GmbH, STSN und Global AirNet AG. Sie übernehmen die komplette technische Abwicklung: Die an den einzelnen Access Points des Hot Spots auflaufenden Datenströme werden über eine Festverbindung zum Funknetzbetreiber und von dort ins Internet geleitet. Zentrale Abrechnungsserver übernehmen Benutzerauthentifizierung und Budgetüberwachung. Sie bieten dem Betreiber weit reichende Kontroll- und Steuermöglichkeiten. So lassen sich bestimmte Bandbreiten reservieren, gruppenspezifische Netzwerkdienste freischalten und die Abrechnung für den Benutzer über Access Card, Kreditkarte oder Kundenkarte abwickeln. Über eine Schnittstelle zum Hotelreservierungs- und Abrechnungssystem können die Entgelte für die Hot Spot-Nutzung direkt auf die Zimmerrechnung gebucht werden. Firmen mit hohem Reiseaufkommen können aufgrund der zentralen Abrechnungsarchitektur auch individuelle Rahmenverträge abschließen. Die Anmeldung an den Hot Spots beispielsweise aller kooperierenden Hotels erfolgt mit einem persönlichen Zugangscode, die Abrechnung dann monatlich über das von allen Mitarbeitern verbrauchte Datenvolumen oder die Gesamtnutzungsdauer.

Auch Netzwerke, die von Städten, Gemeinden, Universitäten, Schulen oder in Wohnanlagen betrieben werden, stellen öffentliche Netze dar. Diese Netze werden eingerichtet, um allen berechtigten Nutzern einen kostenlosen oder zumindest kostengünstigen Zugang zum Internet zu ermöglichen.

Zu den privaten Netzwerken zählen zum einen Heim-Netzwerke, die von Privatpersonen in Häusern und Wohnungen (Heim-Netze s. 3.2.3) eingerichtet werden. Das Ziel ist vor allem ein von Anschlüssen an ein Kabelnetz unabhängiger Zugang zum Internet oder der drahtlose Zugriff auf Peripheriegeräte, wie Drucker oder Datenspeicher.

Bei den Firmen-Netzwerken (Unternehmens-Netze s. 3.2.3), die auch als private Netzwerke anzusehen sind, steht die Nutzung des Funk-Netzwerks als ortsunabhängiger Zugang zu Intranet und Internet sowie den Peripheriegeräte im Mittelpunkt. Aber auch im Rahmen der Prozess- und Maschinenüberwachung zeichnen sich Anwendungsmöglichkeiten ab und einige Großunternehmen, wie z.B. Continental, nutzen ihr Funk-Netzwerk zum Betrieb eines eigenen Business-Channels.

3.1.2 Funk-Netzwerke in Bildungseinrichtungen und Hot Spots in Nordrhein-Westfalen

Schulen

In Nordrhein-Westfalen verfügen alle 6405 Schulen (Stand 2003) über einen T-DSL-Anschluss und damit einen schnellen Zugang zum Internet. Düsseldorf baut als erste deutsche Großstadt ein stadtweites Funknetz für die mobile PC-Nutzung mit Hilfe der bestehenden T-DSL-Infrastruktur an 195 Schulen auf. Die Nutzung des Funknetzes wurde in einem Vertrag mit der Telekom-Tochter T-Systems vereinbart, die als Plattform-Betreiber fungiert, und ist für die Schulen und die dienstliche Nutzung durch entsprechend ausgestattete städtische Mitarbeiter kostenlos, für externe Nutzer gebührenpflichtig. Die ersten Access Points werden bis Juni 2004 an 50 Schulen eingerichtet. Zur Verbreitung von Funk-Netzwerken in anderen Städten und Gemeinden liegen keine Informationen vor.

Universitäten

Sieben von 55 Universitäten und Fachhochschulen (rund 13 Prozent) in Nordrhein-Westfalen verfügen über ein Funk-Netzwerk, jedoch zumeist nur an einem Standort:

- Aachen Technische Hochschule (Vorlesungsräume, Kopernikusstrasse)
- Koblenz Universität (Rechenzentrum)
- Paderborn Universität (Rechenzentrum)
- Duisburg Universität (Rechenzentrum)
- Düsseldorf Universität (Rechenzentrum)
- Gelsenkirchen Fachhochschule (Rechenzentrum)
- Münster Universität (mehrere Standorte)

In Deutschland sind insgesamt 34 von 257 Universitäten und Fachhochschulen mit einem Funknetz ausgestattet, das sind ebenfalls rund 13 Prozent.

Hot Spots

Es gibt keine Übersicht über die Zahl und die Verteilung von Hot Spots in Nordrhein-Westfalen. Zudem schreitet die Verbreitung von Funknetz-Zugängen so rasch voran (s. 3.2), dass jede Angabe sehr schnell veraltet wäre. Aktuelle Hinweise auf Orte mit Hot Spots in Deutschland insgesamt bieten die folgenden Internet-Adressen:

- Übersicht über WLAN-Verzeichnisse:
http://web.zdnet.de/mobile/supercenter/wireless/knowhow/200303/internet_mobil_06-wc.html
- 200 Hot Spots:
<http://mobileaccess.de/wlan/index.html?sid=>
- 442 deutsche Hot Spots:
<http://www.wifinder.com/searchresults.php?loc=&add=&city=&st=Any&zip=&country=Germany&tfree=yes&tpaid=yes&protocol=1&x=48&y=8>
- 1.600 Hot Spots mit Routenplaner:
<http://wlan.lycos.de/hotspotSearchForm.php>
- Karte mit Hot-Spots:
www.wi-fihotspotlist.com

3.2 Wirtschaftliche Bedeutung

Der WLAN-Markt ist ein neuer und sehr schnell wachsender Markt. Ablesbar ist dies an den Stückzahlen der für Funk-Netzwerke benötigten Komponenten und an der stark steigenden Zahl der öffentlich nutzbaren Zugänge (Hot Spots) (s. Tabelle 3.8). Diese Zugänge sind zugleich der am stärksten öffentlich wahrgenommene WLAN-Sektor. Weniger wahrgenommen werden die beiden Marktsektoren Unternehmensnetzwerke und Heim-Netze.

3.2.1 Konkurrenz- oder Ergänzungstechnologien

Die weitere Entwicklung des WLAN-Marktes und damit der potenziellen Wirkungen auf die Beschäftigung hängt nicht zuletzt von dem Verhältnis zu anderen drahtlosen Funktechnologien, wie UMTS, Bluetooth und UWB, als potenzielle Konkurrenz ab. Abbildung 3.2 zeigt einen Vergleich der verschiedenen drahtlosen Kommunikations- und Datendienste anhand zweier Leistungsparameter, der Datenübertragungsrate und der geographischen Abdeckung bzw. Reichweite.

3.2.1.1 UMTS

Funk-Netzwerke werden hinsichtlich der Marktentwicklung der UMTS-Technologie in der Literatur unterschiedlich beurteilt. Doch zunächst zu den wesentlichen Unterschieden.

Funk-Netzwerke sind nicht als flächendeckende zellulare Netze gedacht, sondern werden als punktuelle Lösungen für so genannte Hot Spots konzipiert. Sie versorgen nur vergleichsweise kleine Gebiete von 200 bis 300 m Radius funktechnisch, wobei ein Übergang von einer Versorgungszelle zur anderen allenfalls in Schrittgeschwindigkeit möglich ist. Funk-Netzwerke sind für hohe Datenübertragungsraten in stationärem bzw. quasi stationärem Betrieb gedacht. Nutzbare Angebote sind vor allem der funk-gestützte breitbandige Internet- bzw. Intranet-Zugang sowie Bild-, Video- und Musikübertragungen (Kurth 2002).

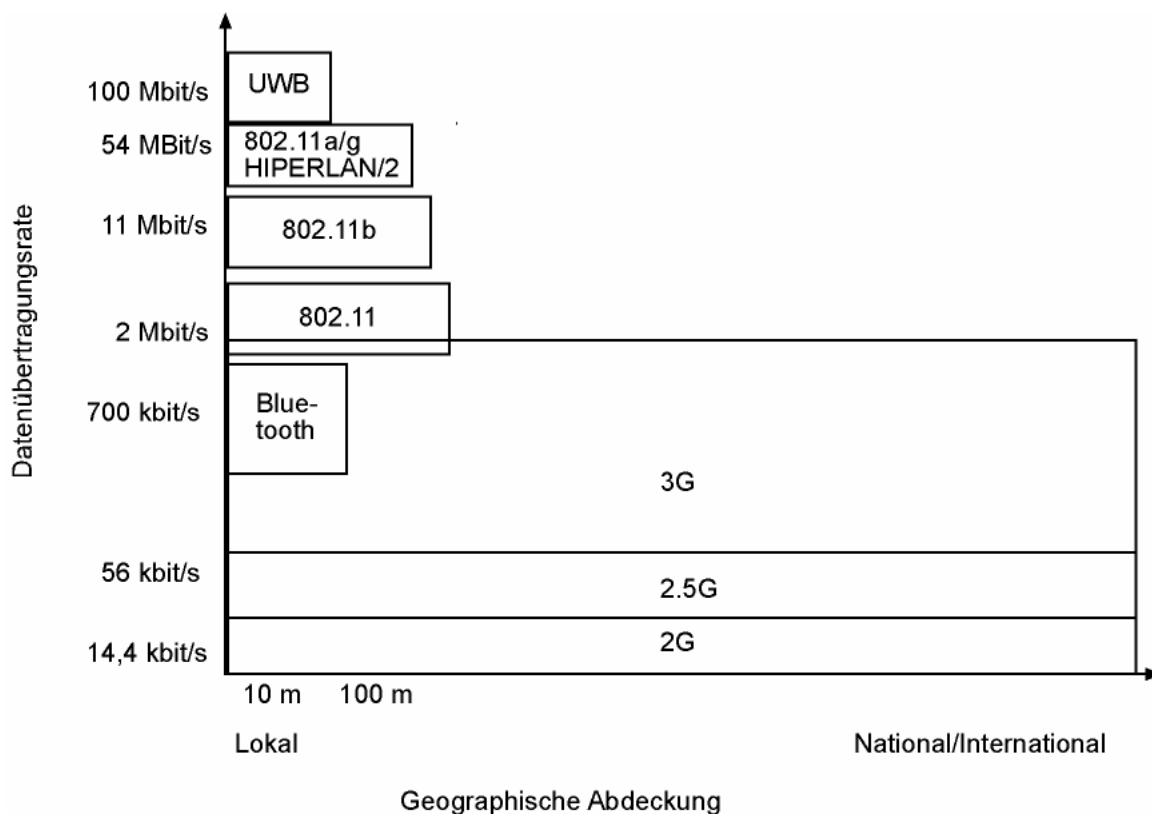


Abbildung 3.2

Datenübertragungsraten und Reichweiten drahtloser Kommunikations- und Datendienste

Neben der Reg TP (Kurth 2002) kommen auch die Mobilfunk-Netzbetreiber sowie das UMTS Forum zu der Position, dass Funk-Netzwerke wegen der Unterschiede in der räumlichen Abdeckung und der Mobilität eine Komplementärtechnologie zu UMTS darstellen. Das Beratungsunternehmen Ovum spricht davon, dass Funk-Netzwerke Teil des übergeordneten Telekommunikationssystems werden müssten, da der Kunde weiterhin ein müheloses Interagieren verschiedener Systeme, wie WLAN und 2G bzw. 3G-Mobilfunk, wünsche (Burness et al. 2003, S. 36). Für diese Auffassungen spricht, dass WLAN einerseits die zeitliche Generationenlücke im Mobilfunk in Richtung der dritten und vierten Generation füllt bzw. einen mobi-

len, schnellen Internet-Zugang in der gewohnten Bildschirm-Qualität ermöglicht (Kurth 2002; Brünen 2001, In-Stat Group 2001 S. 53).

Die vorgenannten Akteure gehen davon aus, dass sich die UMTS- und WLAN-Märkte eher ergänzen und das Zusammenwachsen von Internet-Welt und Mobilfunk-Welt inklusive Bluetooth angestrebt wird, wodurch die jeweiligen Nutzergruppen zu einem einzigen potenziellen Massenmarkt vereinigt werden (Comtesse 2001, eine kurze Übersicht zu den Vor- und Nachteilen findet sich auch in Herbst 2002).

Skeptische Stimmen sehen in WLAN eine Verdrängung von UMTS bzw. eine Gewöhnung an die Übertragungs- und Darstellungsqualität, die den Aufbau von rentablen UMTS-Diensten erschwert, insbesondere wenn auch Sprachübertragung über Funk-Netzwerke möglich ist und Roaming-Abkommen den Wechsel zwischen Funk-Netzen erlauben. Erste Prototypen für Sprachübertragung in Funk-Netzwerken (Voice-over-WLAN, VoWLAN) wurden bereits auf dem Markt vorgestellt, auch Roaming-Abkommen existieren bereits. Daher wird in den Funk-Netzwerken durchaus eine gewisse Konkurrenz zu UMTS gesehen, da sie schon heute wesentlich schneller sind als UMTS jemals sein wird - und das vielfach kostengünstiger.

Ob die WLAN-Investitionen von Mobilfunk-Netzbetreibern eine freiwillige Entscheidung aufgrund sich bietender Marktchancen sind oder eine Strategie, die der Markt diktiert, wird aus den Verlautbarungen der Telekommunikationsunternehmen nicht deutlich. Die Studie des Beratungsunternehmens Analysys empfiehlt beispielsweise den Telekommunikationsunternehmen, unter strategischen Gesichtspunkten die Erweiterung ihres Leistungsspektrums der Funk-Netz-Dienste, um Kunden zu binden. Zudem geht die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post davon aus, dass Notebook-Besitzer sich durch WLAN an eine schnelle Verbindung gewöhnen und so vielleicht auch gerne für UMTS zahlen (FTD 14.3.2003). Somit ist die Investition in WLAN eine Vorbereitung des Kundenstamms auf die Nutzung mobiler Datendienste (LanLine 2003, Weinstein 2002, S. 26, 3gnewsroom 2001, Mittelstandsportal 1.5.2003).

Es ist jedoch umstritten, ob die großen Anbieter von Telekommunikationsleistungen eine Förderungs- oder Verhinderungs- bzw. Verzögerungsstrategie fahren, denn einzelne Meldungen geben die Einschätzung wieder, dass zum Beispiel das Engagement der beiden großen Mobilfunkanbieter T-Mobile und Vodafone D2 sehr schleppend sei. Zwar verfügten diese zusammen über 880 der attraktivsten Hot-Spots in Deutschland, aber nur rund fünf Prozent seien davon freigeschaltet (Gutberlet zitiert in Winter 2003).

Internet-Kommentatoren dieser Meldung bemerken, dass es möglicherweise eine Strategie der Mobilfunkanbieter sei, die interessanten Standorte zu besetzen und nicht zu aktivieren, um den entstehenden WLAN-Markt zu behindern. Damit sollen der UMTS-Markt und die dort getätigten immensen Investitionen geschützt werden. In der Wirtschaftspresse wird diese so genannte 'Landnahme-Strategie' als riskante Vorgehensweise eingeschätzt (FTD 5.5. 2003).

Eine Prognose von Durlacher Research (2001, s. Tab. 3.1) zeigt, dass der datenbezogene Mobilfunk gegenüber dem Sprach-Mobilfunk deutlich an Gewicht zunehmen wird, der Gesamtumsatz jedoch nahezu gleich bleibt. Ob sich die hier auf UMTS bezogenen Gesamtumsätze durch WLAN erhöhen oder ob WLAN einen Teil des ohnehin wenig steigenden Gesamtumsatzes 'abgräbt', bleibt abzuwarten.

Tabelle 3.1

Mobilfunk-Markt in Deutschland (Durlacher Research Ltd. et al. 2001, vgl. auch IT Business News 2003) ARPU = Average revenue per User (Erlös pro Nutzer)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Mobile Anschlüsse (Tsd.)	23.495,0	53.079,0	67.833,0	73.030,0	74.670,0	75.171,0	75.098,7
Umsätze Sprache (Mio. €)	11.129,6	16.214,5	21.559,5	22.085,6	20.802,6	19.101,5	17.059,5
Umsätze Mobiles Internet (Mio. €)	744,0	1.760,7	3.344,6	5.032,5	7.218,4	10.646,4	17.263,0
Umsätze gesamt (Mio. €)	11.873,6	17.975,2	24.904,0	27.118,1	28.021,0	29.747,8	34.322,5
ARPU Sprache (€ pro Monat)		35,3	29,7	26,1	23,5	21,2	18,9
ARPU Daten (€ pro Monat)		3,8	4,6	6,0	8,0	11,8	19,1
ARPU gesamt (€ pro Monat)		39,1	34,3	32,1	31,6	33,1	38,1

Es wird deutlich, dass trotz stark steigendem Internet-Aufkommen die Gesamterlöse pro Nutzer in etwa gleich bleiben. Nur steigende Nutzerzahlen können somit den Gesamterlös steigern. Damit die zusätzliche Nutzungsmöglichkeit von WLAN den UMTS-Markt nicht gefährdet, ist es daher notwendig, die Nutzerzahlen insgesamt zu steigern. Es ergeben sich folgende Fragen:

- Ist es möglich, die Nutzerzahlen beider Systeme zu steigern?
- Welche Nutzerzahl ist bei nur leicht steigenden jährlichen Erlösen pro Nutzer notwendig, um einen ausreichenden Return on Investment beider Systeme zu gewährleisten?
- Wie groß müssen die Nutzerzahl und der jährliche Umsatz pro Nutzer sein, damit sich die Investitionen in beide Systeme rechnen?
- Kann der jährliche Umsatz pro Nutzer durch das Angebot verschiedener Systeme erhöht werden? (vgl. 3.2.2.2)

Die notwendigen Investitionen in Verbindung mit den enormen Lizenzkosten sind das Hauptrisiko der UMTS-Marktentwicklung, da sie ein ausreichendes Return on Investment unwahrscheinlich machen. Dies hat mittlerweile dazu geführt, dass zwei Lizenznehmer in Deutschland aufgegeben haben. Es ist nicht auszuschließen, dass eine weitere Marktkonsolidierung stattfindet (Teltarif 2002).

Zusätzlich zu den hohen Lizenzkosten entsteht ein hoher Aufwand für die Marktbearbeitung, da die UMTS-Anwendungen teilweise erklärungsbedürftig sind. Der Hauptvorteil von WLAN

gegenüber der UMTS-Technik ist das existierende Internet-Angebot, bei UMTS müssen attraktive Angebote erst entwickelt werden. Die Marktentwicklung von UMTS kann nach Schreiber (2002 S. 131) ähnlich der des Festnetz-Internet gesehen werden, wobei der kritische Faktor auch aus einem Vergleich von UMTS mit dem Festnetz-Internet resultiert. Hohe Kosten, umständliche Benutzerführung und Sicherheitsaspekte sowie die Zuverlässigkeit der Systeme und Prozesse stünden einer schnellen Verbreitung der Technik im Weg. Problem des Marketing ist vor allem die unbekannte Erwartungshaltung auf Nutzerseite.

Tabelle 3.2 zeigt die Vor- und Nachteile von UMTS und WLAN im Überblick. Aus den verschiedenen Vor- und Nachteilen der jeweiligen Technologien wird ersichtlich, dass eine Einschätzung der Größe des Marktes sowie des rechtzeitigen Return on Investment aktuell nur sehr schwer möglich ist. Ob es zu einer friedlichen Koexistenz der Systeme oder zu einem Konkurrenzkampf kommt, bleibt daher abzuwarten. Die Hauptunsicherheit ist, ob die Erlöse beider Technologien die Investitionen wieder einspielen.

Tabelle 3.2

Vor- und Nachteile von UMTS und WLAN im Überblick
(Zobel 2001, 3gnewsroom b 24.5.2001)

Mobil-Internet (UMTS)	
Vorteil Unmittelbarer One-Touch-Zugang in Nischenzeiten für den gezielten Zugriff auf Dienste und Einzelinformationen.	Nachteil von WAP-Handys Frühphase der Anwendungen begrenzte Darstellungsmöglichkeiten geringe Akku-Laufzeit niedrige Datenübertragungsraten
WLAN-Internet	
Vorteil Keine Lizenz zur Einrichtung eines Hot Spots notwendig; die dadurch recht geringen Kosten machen es jedermann möglich, einen solchen Internet-Zugang zu errichten.	Nachteil Langwieriger Zugriff für eine längere Nutzungsdauer zum Browsen Gerätepreis, Gerätegröße und -gewicht der Notebooks geringe Hot Spot-Verfügbarkeit

3.2.1.2 Ultrabreitbandtechnik (UltraWideBand – UWB)

Die teilweise als Konkurrenz zu WLAN aufgefasste Ultrabreitbandtechnik wird nach allgemeiner Einschätzung ab 2005/2007 ein Zukunftsmarkt, jedoch im Speziellen zur Vernetzung von Unterhaltungselektronik. Die Vorteile gegenüber WLAN sind eine weitaus höhere Datenübertragungsraten sowie eine bessere Abhörsicherheit. Vor allem der letzte Punkt wird als Argument dafür gesehen, dass diese Technik möglicherweise vermehrt im Unternehmenssektor Anwendung findet, was den WLAN-Markt einschränken würde (Eetimes 23.5.2003, UWB-Teleservice 2002).

Das Beratungsunternehmen West Technology Research Solutions (WTRS) weist auf das große Potenzial von UWB hin und geht davon aus, dass diese Technik eine ernsthafte Konkurrenz für herkömmliche Netzwerke darstellt (Cellular-News 11.7.2003). Eine Studie von Abi-Research (2.12.2003) geht davon aus, dass UWB die nächste Generation von drahtloser Kommunikation sein wird.

3.2.1.3 Bluetooth

Die WLAN-Technologie (IEEE 802.11 oder WiFi) verfügt im Vergleich zur Bluetooth-Technik über eine weit höhere Datenübertragungsrate und deckt eine größere Fläche ab (im Innenraum bis zu 50 m) als Bluetooth mit einer üblichen Fläche von bis zu 10 m. Außerdem weisen Buttery und Sago (2003) darauf hin, dass Bluetooth nicht als Konkurrenzprodukt zu WLAN entwickelt wurde, sondern zur drahtlosen Verbindung von Computern und Peripherie.

Auch der derzeit noch schwierige Parallelbetrieb von WLAN und Bluetooth Daten- und Sprachkommunikation (Komplettlösungen z.B. von USI und Texas Instruments) ist und wird durch neu auf dem Markt erhältliche Software vermieden. Die nahtlose Verschmelzung von GSM/GPRS- oder CDMA-Mobilfunk mit Bluetooth und WLAN wird von Texas Instruments mit dem WANDA-Konzept ermöglicht. "Ein entsprechend ausgestatteter PDA könnte zum Telefonieren per Mobilfunk bei gleichzeitiger Nutzung eines Bluetooth-Headsets auch den Download von neuen Emails bewältigen. Dabei sollen Sprach- und Datenkommunikation so aufeinander abgestimmt werden, dass es zu keinen Qualitätseinschränkungen kommt." (Golem 17.6.2003). Bluetooth ist insgesamt als Ergänzung und nicht als Konkurrenz zu WLAN zu sehen.

3.2.2 Erfolgsfaktoren

3.2.2.1 Internet-Nutzung

Außerhalb des Equipment- und Provider-Marktes bietet der Ausbau von Funk-Netzwerken nur eingeschränkte neue Marktmöglichkeiten, da der Service-Markt mit dem Internet bereits existiert und sehr ausdifferenziert ist. Die mobile Internet-Nutzung wird im Wesentlichen zu einer räumlichen Verlagerung von Geschäftsprozessen führen, so wird eCommerce zu mCommerce. Neue Applikationen, wie sie im mCommerce der UMTS-Nutzung nötig werden, sind bei der WLAN-Technik nur begrenzt zu erwarten.

Eine Studie von Heinrich (2001) führt eine Reihe von möglichen Internet-Nutzungen an, die Marktpotenziale für WLAN bieten. Bei möglichen Mehrfachnennungen wollten in dieser Umfrage immerhin 81 Prozent der befragten Personen aus der Wirtschaft Nachrichten wie Email unterwegs abrufen, 72 Prozent wollten mobil ERP-Funktionen (Enterprise Resource Planning: Rechnungswesen, Auftragsbearbeitung, Stammdatenverwaltung, Module für eCommerce, die Projektverwaltung und Leistungsverrechnung, Aufbau und Betrieb von Intranets und Websites) nutzen. 68 Prozent der Business-Nutzer würden Intranet-Infos wie Unternehmens-News

gerne mobil zur Verfügung haben, gefolgt von Web-Informationen wie Börsenkurse, Fahrpläne usw. (57 Prozent). Eine relativ hohe Nutzung mit 44 Prozent würde auch der Online-Zugriff auf sonstige Datenbanken erfahren.

Diese Studie wurde im Hinblick auf UMTS-Anforderungen durchgeführt, zeigt aber allgemein, dass es eine Vielzahl von Anwendungen gibt, die mobil gefragt sind. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass der bereits aktuell mit einem Notebook ausgestattete Unternehmensmitarbeiter durchaus eine interessante Klientel darstellt. Zudem wurden in weiteren Umfragen Aspekte extrahiert, die eigentlich eher die Freizeitnutzung betreffen und die im Markt der 'Notebook-Träger' auf eine große Nachfrage treffen. Denn wie die Erfahrung zeigt, werden Notebooks gerne als Entspannungsmittel benutzt, so dass neben dem Off-Line-Kartenspiel in Zukunft Online-Angebote genutzt werden, beispielsweise Video-on-demand (Ritzer 2001).

Die Anforderungen der Kunden an WAP/UMTS zeigen, dass WLAN nicht in allen Punkten der UMTS-Technik überlegen ist, denn einfache Bedienung (zu großes und schweres Endgerät bei WLAN) und Sicherheit rangieren bei den Nutzern noch vor den Gebühren, so eine Studie von der Unternehmensberatung Arthur D. Little. Dafür glänzt WLAN bei der Übertragungsgeschwindigkeit, den Darstellungsmöglichkeiten und attraktiven Anwendungen aufgrund der vorhandenen Internet-Angebote (Graeve 2001).

Dass mobile Internet-Angebote - auch in der 'Handy-Nutzung' - einen Markt darstellen, zeigen die Erfahrungen mit dem japanischen iMode-Dienst, der in vielen Quellen als erfolgreiches Marktbeispiel für UMTS-Technik genannt wird. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass die Marktbedingungen seitens der Nachfrage in Japan nicht mit denen Europas vergleichbar sind: Insbesondere die hohe Technik-Affinität der Japaner wird als Unterschied angeführt. Der iMode-Dienst verzeichnete ein Wachstum der Nutzerzahlen von 25 Mio. in 2001 auf fast 40 Mio. im Oktober 2003. Die Erweiterung des Dienstes FOMA (Freedom of multimedia access = 3G), die im Oktober 2001 stattfand, hatte bereits zwei Jahre nach der Einführung eine Nutzerzahl von 1,34 Mio. Der japanische UMTS-Testmarkt zeigt abermals die hohe Akzeptanz von Entertainment-Angeboten (64 Prozent). An zweiter Stelle liegt die Nutzung von Nachrichten mit 19 Prozent der befragten Nutzer (Harmer 2003, S. 176, NTTDocomo 2003, Weinstein 2002).

3.2.2.2 Zahlungsbereitschaft

Ein wichtiger Faktor der Marktentwicklung von mobilen Diensten ist speziell beim sehr preissensiblen deutschen Kunden die Zahlungsbereitschaft der Nutzer. Zu diesem Thema gibt es daher eine Vielzahl von Studien, die insbesondere vor einigen Jahren zur Boomzeit der UMTS-Debatte angefertigt wurden.

Der Faktor Zahlungsbereitschaft wird für die Marktentwicklung zudem wichtiger, weil seit dem Einbruch der Werbeeinnahmen aus der Online-Werbung viele Internet-Dienstleister über die Einführung von Nutzerentgelten für bislang kostenlose Dienste nachdenken. Kos-

tenpflichtige Informationsinhalte und –services rücken stärker in den Mittelpunkt zukünftiger Geschäftsmodelle. Eine Reihe von Unternehmen, wie Der Spiegel, die FAZ oder die Financial Times Deutschland, bieten bereits seit längerem kostenpflichtige Premium-Dienstleistungen an. Um die Akzeptanz der Umwandlung von vormalig kostenlos nutzbaren Seiten zu ermitteln, wurden eine Reihe von Zahlungsbereitschaftsanalysen durchgeführt.

Das Ergebnis einer internetrepräsentativen Umfrage von FORSA im Auftrag der Zeitschrift ONLINE TODAY, die unter 1011 Internet-Nutzern ab 14 Jahren durchgeführt wurde, ist eindeutig. Die erstaunliche Zahl von rund 40 Prozent der Nutzer ist bereit, für Online-Inhalte zu zahlen, oder nutzen bereits Bezahl-Contents. Schon jetzt zahlt gut jeder Zehnte (11 Prozent) für bestimmte Internet-Inhalte oder -Dienstleistungen und 28 Prozent sind bereit, dies zu tun (Mittelstandsportal 1.4.2002).

Eine Studie der Kölner Online-Marktforschung Smart-Research GmbH (2003) mit 1000 Internet-Nutzern ermittelte, dass 2/3 der Internetnutzer bereit sind, für Web-Inhalte zu bezahlen. Am höchsten ist die Zahlungsbereitschaft bei Online-Spielen bzw. Spieleplattformen (37 Prozent), gefolgt von Musikdiensten (35 Prozent), Videodiensten (31 Prozent) und Informationsdiensten (31 Prozent).

Die durchschnittliche monatliche Zahlungsbereitschaft liegt bei rund 20 €, so eine in 2001 veröffentlichte Studie des Hamburger Online-Marktforschungsinstitut Earsandeyes, in der 1004 Internet-User zwischen 16 und 59 Jahren befragt wurden (Golem 21.8.2001).

Tabelle 3.3
Zahlungsbereitschaft (Golem 21.8.2001)

Hohe Zahlungsbereitschaft	Geringe Zahlungsbereitschaft
38 Prozent für Emails	8 Prozent für Verbraucher-Portale
35 Prozent für Archiv-Recherchen	7 Prozent für Kulturseiten
33 Prozent für Software-Download	6 Prozent für Sportinformationen
32 Prozent für Musik-Download	2 Prozent für Klatsch und Tratsch
30 Prozent für Bank- bzw. Aktiengeschäfte	

Von den bislang wiedergegeben Ergebnissen weicht eine IZV6-Studie der Universität Karlsruhe mit Unterstützung von Mummert Consulting ab, die ebenfalls das Zahlungsverhalten im Internet untersuchte. Kostenpflichtige Downloads im Internet stießen bei den Nutzern immer noch auf Skepsis:

- 53 Prozent der Befragten befürchten fehlerhafte oder viren-verseuchte Daten,
- 49 Prozent halten Reklamationen von Downloads für schwierig,
- 49 Prozent zweifeln an der Vertrauenswürdigkeit des Anbieters,
- 39 Prozent der Nutzer haben Angst vor Hackern,
- 37 Prozent dauert der Download zu lange,
- 17 Prozent der Nutzer finden keine geeigneten Bezahlverfahren beziehungsweise halten fehlerhafte Abrechnungen für möglich,

- 8 Prozent scheuen den Aufwand der Zahlungsabwicklung (Ecofis-Gruppe 8.7.2003).

Eine Studie von ForceNine Consulting (2003) kommt auf der Basis einer Befragung von 3000 Internet- und Handy-Nutzern zu der generellen Aussage: Das Konsumenteninteresse an drahtloser Anbindung ans Internet ist sehr hoch. Daraus wird in dieser Studie der Schluss gezogen, dass die nachfolgenden UMTS-Generationen es schwer hätten, mit dann vorhandenen Diensten zu konkurrieren. Allerdings sei die Zahlungsbereitschaft gering (ca. 1 \$ pro Stunde).

Neben der Zahlungsbereitschaft stellt das verfügbare Budget eine deutliche Restriktion dar. Insbesondere die Zielgruppe der Jugendlichen ist vergleichsweise zahlungsbereit, aber schon mit der aktuellen Handy-Nutzung häufig finanziell überfordert. Dies zeigen Daten zum Problem der Überschuldung bei Jugendlichen (ZDNet 7.6.2002, Deutschlandradio 20.7.2003). Daraus folgt, dass eine mobile Nutzung des Internets bei Jugendlichen nur über einen kostenlosen Zugang vermittelbar ist.

Die Zahlungsbereitschaft für den Zugang ins Internet und damit auch die Verdienstmöglichkeiten für Dienste-Anbieter und Provider könnte zudem großflächig 'unterwandert' werden, wenn es sich allgemein durchsetzen sollte, dass ganze Städte WLAN-Netze einrichten, so dass eine Struktur ähnlich dem Mobilfunk entsteht. Eine flächendeckende Versorgung des Stadtgebietes entsteht beispielsweise aktuell in Düsseldorf auf Initiative der Stadtverwaltung. Dort werden mit Unterstützung eines Mobilfunk-Anbieters alle Schulen mit WLAN-Access Points ausgestattet (Stadt Düsseldorf 16.6.2003).

Auch Unternehmen, wie die Telekom-Tochter T-Com (Festnetz), haben einen ersten Vorstoß unternommen, WLAN kostenlos anzubieten, aber hiermit harsche Kritik von der Konzernzentrale geerntet. Gleichwohl zeigt sich hier ein Trend in Richtung einer kostenlosen WLAN-Nutzung, zumal Privatpersonen nach dem Vorbild amerikanischer Kostenlosvereine diese Möglichkeit offerieren. Die private Nutzung wird sich auch über günstig von Cafes und Restaurants angebotene Zugänge verbreiten (FTD, 14.3.2003 und 19.5.2003).

Die mit teilweise hohen Zugangsgebühren ausgestatteten Hot Spots bedienen vor allem die so genannten First-User, das sind in erster Linie Menschen aus der Zielgruppe Wirtschaft und die so genannten Early-Adopters, die neue Techniken bereitwillig annehmen. Für 30 Minuten drahtlosen Internet-Zugang veranschlagt Vodafone Gebühren von 3,95 €; für 9,95 € sind zwei Stunden Internet-Nutzung möglich. Für einen kompletten WLAN-Tag (24 Stunden) erhebt Vodafone Gebühren von 24,95 €. Alle genannten Preise gelten für in Deutschland befindliche WLAN-Hot-Spots, im Ausland sind Preise von 5,95 € für 30 Minuten, für zwei Stunden 12,95 € und für einen ganzen Tag 29,95 € zu bezahlen (Golem 11.3.2003). Die zahlungskräftigen und zahlungsbereiten Gruppen bereiten den Massenmarkt, denn mit steigender Nutzerzahl sinken die Nutzerpreise und der Markt öffnet sich in der Folge für die Masse der weniger kaufkräftigen Konsumenten.

3.2.3 Entwicklung der WLAN-Märkte

Insgesamt ist die Abschätzung der wirtschaftlichen Perspektive von WLAN sehr schwierig. Einerseits ist der Markt sehr jung und er unterliegt andererseits einer Reihe von Rahmenbedingungen, die derzeit ebenfalls nur sehr schwer abschätzbar sind. Ein Beispiel für die schwierige Abschätzung des Markt-Potenzials ist die Marktgeschichte der SMS-Nutzung. Entgegen den Erwartungen der Marketingspezialisten und Marktforscher wurde dieses eigentlich als Nachrichtensystem für Servicezwecke entwickelte System zu einem Renner mit hoher Akzeptanz als Lifestyle-Kommunikationsmittel. Eine in der Telekom-Presse (25.8.2003) zitierte Studie der Unternehmensberatung Gartner Dataquest nennt einen jährlichen westeuropäischen Umsatz mit SMS, MMS, Email etc. von rund 16,5 Mrd. Dollar; darunter hält der SMS-Dienst den Löwenanteil.

Übereinstimmend wird in den Abschätzungen der Beratungsbranche und den beteiligten Unternehmen trotz hemmender Faktoren für die nähere Zukunft (bis ca. 2007) ein starkes Wachstum der WLAN-Branche vorausgesagt. Und diese Wachstumsprognosen haben eine hohe Glaubwürdigkeit, da die Internet-Euphorie seit dem Platzen der New Economy-Blase in Pragmatismus und Realismus übergegangen ist. Heute prägen wirtschaftliches Denken und detaillierte Business-Pläne den Markt. Aber auch in der Einschätzung des WLAN-Marktes sind 'Hype-Stimmungen' zu verzeichnen: Einige Artikel sprechen denn auch von einem drohenden Platzen der WLAN-Blase (Gallagher 2003, Kane & Yen 2002).

Dass die Existenz einer WLAN-Blase möglich ist, zeigen die großen Differenzen in den Marktprognosen hinsichtlich der Nutzer- und Umsatzzahlen. Der mögliche Verlauf der Marktsättigungskurve von WLAN ist daher aktuell nicht abschätzbar.

Die bisherige und zukünftige Entwicklung des WLAN-Marktes ist darüber hinaus auch an der Zahl der benötigten Komponenten und Endgeräten ablesbar. Dies sind Personal Digital Assistant (PDA), Smartphone, Notebook und die WLAN-Infrastruktur. Ein weiteres Unterkapitel geht auf das enorme Wachstum der Hot Spots ein, danach folgen weltweite und europäische Marktprognosen.

3.2.3.1 Entwicklung der Märkte für WLAN-Geräte und -Sicherheitstechnologien

PDA und Smartphone

Der Negativtrend beim Verkauf von PDAs setzte sich laut einer Studie des Marktforschungsunternehmens IDC auch im ersten Quartal 2003 fort. Laut IDC wurden in dieser Zeit weltweit 2,45 Mio. PDAs verkauft - rund 21,3 Prozent weniger als die 3,16 Mio. vor einem Jahr. Bereits im vergangenen Jahr war der Umsatz um mehr als neun Prozent eingebrochen. Die Marktforscher von IDC gehen davon aus, dass Smartphones - Handys mit PDA-Funktionen -

dem klassischen Handcomputer langsam aber sicher den Rang ablaufen (Heise-Newsticker 24.4.2003).

Dem britischen Marktforschungsunternehmen Canals zufolge überflügeln die Smartphones in 2003 den Verkauf von Handhelds. Ursache dafür ist, dass es für den Händler einfacher sei, ein Smartphone als ein PDA zu verkaufen, denn Smartphones werden von den Kunden als Mobiltelefone mit Zusatzfunktionen wahrgenommen. Nach Einschätzung der Canals-Marktforscher wird der Absatz der Smartphones in diesem Jahr in den Regionen Europa, Naher Osten und Afrika auf 3,3 Mio. Stück steigen. PDAs, mit oder ohne Mobilfunk-Fähigkeit, sollen in diesen Regionen zusammen nur auf 2,8 Mio. Einheiten kommen (PC-Welt 26.3.2003, vgl. auch Information-Week 19.10.2003).

Notebooks

Das vergleichsweise schnelle Wachstum des WLAN-Marktes wird auf die steigende Verfügbarkeit von Notebooks und PDAs zurückgeführt. Hinweise auf den Nutzungsgrad und damit die Annahme von WLAN durch den Kunden geben somit die Verkaufszahlen für Notebooks, speziell derjenigen Geräte, die über eine Einsteckmöglichkeit für eine WLAN-Karte oder eine integrierte Funk-Netz Karte verfügen. In 2001 wurden über 20 Prozent der Notebooks und PDAs für Business-Use mit WLAN-Technologie ausgestattet. Für 2007 wird eine Ausstattungsrate von 90 Prozent vorhergesagt (Rolfe 2002).

Eine Studie des Marktforschungsunternehmens IDC (2003) ergab, dass die Zahl der Notebook-Verkäufe in der so genannten EMEA-Region (Europe, Middle East, Africa) im dritten Quartal 2003 gegenüber dem Vorjahr um 51 Prozent stieg. Das ist vor allem auf den Preisverfall und den heftigen Kampf um Marktanteile zurückzuführen. Der durchschnittliche Gerätepreis sank um 25 Prozent, so dass die Hersteller am hohen Absatzvolumen umsatzbezogen weniger stark partizipieren konnten.

Tabelle 3.4

Konsumelektronik-Markt in Deutschland (Auswahl, gfu/GfK 18.4.2003)

	Stückzahlen [Tsd.]			Umsätze [Mio. €]		
	2001	2002	Veränderung 2001-2002 Prozent	2001	2002	Veränderung 2001-2002 Prozent
Unterhaltungselektronik gesamt				9.400	9.257	-1,5
Mobiltelefone	13.165	11.585	-12,0	2.014	1.332	-33,9
Telekommunikation ge- samt				2.901	2.210	-23,8
Home PC´s	4.010	3.340	-16,7	4.264	3.384	-20,6
Notebooks	720	1.060	+47,2	1.429	2.274	+59,1
Konsumelektronik				20.392	19.306	-5,3

Über die Notebook-Verkaufszahlen in Deutschland herrscht hingegen keine Einigkeit, da einige Marktforschungsunternehmen weder Direktgeschäfte (Versender wie Dell) noch Lebensmittelketten-Aktionen (z.B. Aldi) berücksichtigt. Insgesamt lag der Absatz allein im zweiten Quartal 2003 bei rund 550.000 Geräten (Heise-Newsticker 1.9.2003).

Der stark gestiegene Notebook-Absatz und der fallende PC-Absatz resultieren vermutlich aus der hohen erreichten Leistungsfähigkeit der Notebooks bei günstigem Preis sowie der möglichen Mobilitätssteigerung und Internet-Nutzung. Diese Faktoren führen dazu, dass im Gegensatz zur bisherigen Business-Nutzung von Notebooks die Verbreitung in Privathaushalten stark steigt und weiter steigen wird. Hierbei ist auch der Aspekt der geringen Größe des Endgerätes (geringer Platzbedarf, geringe Beeinträchtigung der Raumästhetik) ein wichtiger Aspekt sowie die Möglichkeit, den Computer in allen Räumen nutzen zu können.

WLAN-Komponenten und -Infrastruktur

Die Branchenexperten IC Insights gehen davon aus, dass WLAN ein Standard-Feature in vielen elektronischen Systemen, wie Notebooks, Desktops, PDAs und anderen Consumer Geräten, wird. Das wird mit als Grund dafür gesehen, dass der Absatz von IEEE 802.11-Chipsets in 2003 um 80 Prozent auf 35 Mio. Einheiten anwächst. Den Marktforschern zufolge tragen die wachsende Popularität, die Standardisierungsbemühungen, fallende Herstellungskosten, verbesserte Integration und Produktivitätssteigerungen bei der Herstellung zum Siegeszug der IEEE 802.11-basierten Produkte bei. Ende 2002 stellten bereits mehr als 50 Firmen Schaltkreise für WLAN-Applikationen her. Obwohl der Markt Platz für viele Chip-Hersteller habe, schätzen die Experten, dass es auf dem Markt zu einem harten Wettbewerbskampf kommen wird (ZDNet 7.3.2003).

Allerdings wächst der Markt für die derzeitigen Produktionskapazitäten zu schnell. In Taiwan, wo ein Großteil der weltweiten WLAN Komponenten produziert werden, kommen die Hersteller nicht nach (WCM-online 27.8.2003).

Tabelle 3.5

Weltweite Entwicklung des Marktes für WLAN Hardware (VDC 2002)

	2001 [Mio. US-\$]	2002 [Mio. US-\$]	2003 [Mio. US-\$]	2004 [Mio. US-\$]	2005 [Mio. US-\$]	CAGR Prozent
Network Interface Cards (NICs)	437,2	477,2	621,3	927,1	1284,8	30,9
Access Points	305,4	358,6	538,8	686,1	737,6	24,7
Gateways	88,6	112,9	153,4	158,6	162,6	16,4
Bridges	91,9	101,7	112,9	134,2	199,0	21,3
Summe	923,1	1.050,4	1.426,3	1.906,0	2.384,0	26,8

CAGR = Compound annual growth rate (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate)

Sicherheitstechnologien

Der europäische Markt für Sicherheitstechnologien für die Datenübertragung im Internet boomt vor allem durch das gestiegene Sicherheitsbewusstsein im eCommerce. Auch die Sicherheitstechnik für WLAN wird diesen Markt weiter beflügeln, zumal erkannt worden ist, dass hier einer der wesentlichen Ablehnungsgründe bezüglich der Nutzung von WLAN lauern könnte. Es wird befürchtet, dass insbesondere der sehr kritische deutsche Kunde auf Meldungen wie mangelnde Sicherheit mit Abstinenz reagiert (Government Computing 2003).

Tabelle 3.6

Der europäische Markt der Sicherheitstechnologien für die Datenübertragung im Internet. Umsätze in Europa - Prognose bis 2006 (in Mrd. \$) (aboutIT 13.12.2000)

Jahr	Umsätze [Mrd. \$]	Umsatz- wachstumsrate [Prozent]
2000	0,46	--
2001	0,83	78,7
2002	1,37	65,4
2003	2,16	57,7
2004	3,14	45,2
2005	4,27	35,7
2006	5,33	24,9

3.2.3.2 Räumliche Entwicklung der WLAN-Märkte

Weltweiter WLAN-Markt

Für den weltweiten Markt von WLAN-Produkten werden in einigen Analysen immense Wachstumsraten prognostiziert. Bis 2007, so das Beratungsunternehmen Gartner Dataquest, werden die Endnutzer-Ausgaben bezüglich WLAN-Equipment rund 3,9 Mrd. \$ erreichen (Rolfe 2002). Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2001 bis 2007 wird in einer anderen Veröffentlichung mit 42 Prozent angegeben (Burness et al. 2003). Als Ursache wird die einfache Nutzbarkeit von WLAN genannt: "The ease of use of the technology has been key in the explosion of use."

Die Financial Times Deutschland (14.3.2003) vermerkt für 2002 einen weltweiten Umsatz mit WLAN-Hardware von 2,2 Mrd. \$. Dies entspricht einem Wachstum von 23 Prozent. Unternehmenskunden orderten 65 Prozent mehr Sende- und Empfangstechnik als im Vorjahr, Endverbraucher sogar mehr als doppelt so viel. Als Motor des Booms werden vor allem die gesunkenen Preise gesehen.

Eine Studie von IDC (2002 a, b) beziffert das durchschnittliche jährliche Wachstum des weltweiten Marktes für Wireless- und Mobilfunk-Infrastruktur mit 15 Prozent bis 2006. Dieser

Markt erreicht nach Einschätzung von IDC im Jahr 2006 eine Größe von 37,42 Mrd. \$, wobei der Schlüsselfaktor in den öffentlichen WirelessLAN gesehen wird.

Im Teilmarkt WLAN-Geräte wurde weltweit ein Umsatz von rund 1,45 Mrd. \$ erzielt. Bis 2006 soll dieser Markt auf 3,72 Mrd. \$ wachsen, so das Marktforschungsinstitut IDC, wobei sich Funk-Netzwerke insbesondere im privaten Bereich und in kleinen Büroumgebungen durchsetzen werden. IDC spricht in seiner Untersuchung von einer 'durchschlagenden Technologie'. IDC geht davon aus, dass die WLAN-Technik einen vergleichbaren Erfolg beim Netzwerk haben, wie seinerzeit die Einführung der kabellosen Home-Handys bei der Telekommunikation (IDC 2002 a, b).

Einer Untersuchung von Frost & Sullivan (2003) zufolge lag der weltweite Markt mit Wireless Networking Produkten im Jahr 2002 bei rund 1,5 Mrd. \$. Das Beratungsunternehmen sieht in WLAN vor allem einen Bedarf für kleine und mittelständische Unternehmen, denen die drahtlosen Netzwerke ein enormes Potenzial zur Kosteneinsparung sowie wertvolle Flexibilität böten (Treiber-Forum 11.3.2003).

Abbildung 3.3 zeigt einen kontinuierlichen und sich erst 2006 langsam abflachenden Anstieg der Zahl der WLAN-Geräte bei sinkenden Erlösen pro Gerät.

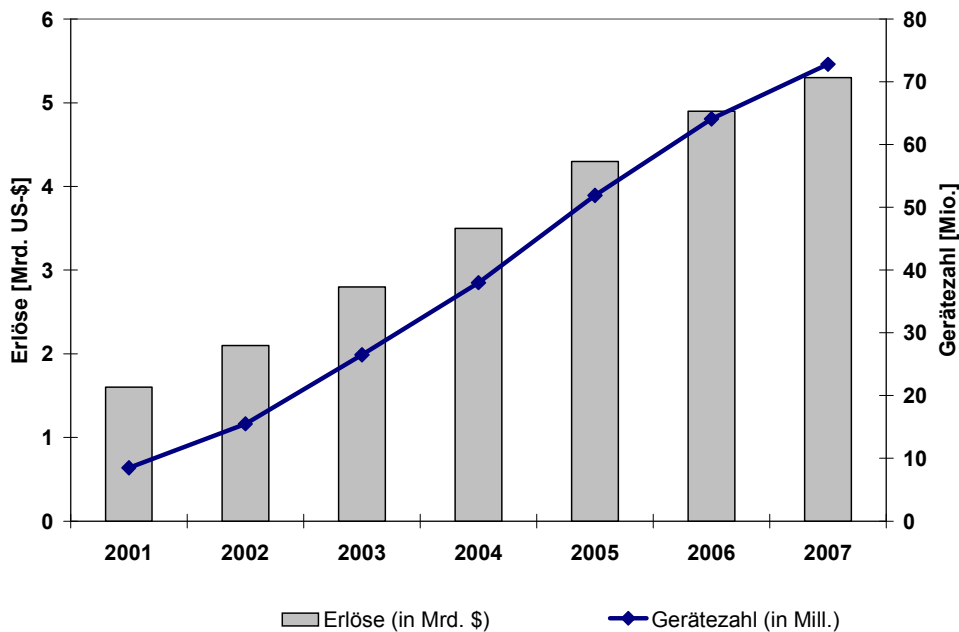


Abbildung 3.3
Weltweite Erlöse und Geräteabsatz in der WLAN-Branche (First Partner 2003)

Europäischer WLAN-Markt

Eine Studie der Unternehmensberatung Frost & Sullivan (ZDNet 23.4.2002) prognostiziert einen Boom im europäischen WLAN-Markt. Das Marktvolumen klettert demnach von 294 Mio. € (261 Mio. \$) in 2002 auf rund 1099 Mio. € (976 Mio. \$) in 2006. Ausgelöst werde dieser Boom der IEEE 802.11-Technologie vor allem durch die sinkenden Kosten und die hohe Nachfrage für kabellose Netzwerkzugänge. Im Blick der Marktforscher stand dabei das Funktechnik-Produktspektrum Access Points, Notebooks, PCs, PDAs und Gateways. Aufgrund sinkender Preise in den Breitbanddiensten und zunehmender privater Nachfrage dürfte der Hauptanteil des Wachstums auf Gateway-Produkte entfallen, so die Studie. Erwartet wird ein kontinuierlicher Umstieg von IEEE 802.11b auf IEEE 802.11g (2,4 GHz, 20 MBit/s) und IEEE 802.11a (5 GHz, 54 MBit/s). Aufgrund dieser Entwicklung wird das stärkste Wachstum für kombinierte 2,4-5 GHz-Lösungen erwartet. Mittel- bis langfristig werde der Trend zur 5 GHz-Technologie gehen. Diese Leistungssteigerung ermögliche eine größere Bandbreite, Skalierbarkeit und zusätzliche Quality of Service-Fähigkeiten, was sich weiterhin positiv auf die Nachfrage auswirke.

Tabelle 3.7

Entwicklung des europäischen Markts für WLAN-Produkte (ZDNet 23.4.2002)

Jahr	Umsätze [Mio. \$]	Wachstumsrate [Prozent]
2001	260,75	79,3
2002	368,78	41,4
2003	521,33	41,4
2004	719,98	38,1
2005	841,45	16,9
2006	975,70	16,0

Eine wichtige Rolle sollen in Zukunft die Netzbetreiber spielen, die durch die Verbindung von Breitband- und WLAN-Technologie interessante Lösungen anbieten können. Durch den Markteintritt einer Reihe von Billiganbietern wird es zu einem wachsenden Preiskampf kommen, der jedoch die Akzeptanz aufgrund der sinkenden Nutzungskosten erhöht. Hemmschuh hinsichtlich der Akzeptanz sind die Sicherheitsfrage und die konkurrierenden Standards, so die Untersuchung (ZDNet 23.4.2002).

Deutscher WLAN-Markt

Marktstudien speziell für Deutschland existieren nicht. Der deutsche Markt ist jedoch bezüglich Handy- und Internet-Nutzung der führende europäische Markt.

3.2.3.3 Entwicklung der WLAN-Märkte nach Anwendungsbereichen

Hot Spots

In einer Pressemitteilung der Unternehmensberatung Berlecon Research (Berlecon 2003) wird das größte Potenzial von Public WLAN bei privaten Nutzern gesehen. Der Studie, für die 1000 Internetnutzer befragt wurden, zufolge werden in 2005 1,2 Mio. Kunden häufig Public WLAN nutzen. Überwiegend auf Business-Kunden ausgerichtete Geschäftsmodelle und Marketingstrategien werden lediglich für einige wenige Akteure profitabel sein. Berlecon Research sieht bei den großen Telekommunikationsunternehmen die besten Voraussetzungen, den Consumer-Bereich anzusprechen. "Denn von den in 2005 erwarteten 9 Mio. Nutzern WLAN-fähiger Notebooks sind nur 1,4 Mio. rein geschäftliche Anwender."

Berlecon Research zufolge verfügen derzeit 4,6 Mio. Internetnutzer über WLAN-fähige Notebooks, wovon 0,5 Mio. häufig und weitere 0,8 Mio. gelegentlich an Hot Spots drahtlos ins Internet gehen. Auf dieser Basis rechnet Berlecon Research bis zum Jahr 2005 mit knapp 1,2 Mio. häufigen und 2 Mio. Gelegenheitsnutzern (www.de.internet.com 10.3.2003, IDC 16.5.2003).

Die steigende Nachfrage trifft auf eine wachsende Zahl von Hot Spots. Das teltarif-WLAN-Barometer zählte im Oktober 2003 in Deutschland eine Zahl von 780 Hot Spots, die durch professionelle Anbieter aktiv geschaltet sind. Zusammen mit den öffentlich zugänglichen privaten Hot Spots kommt teltarif auf eine Zahl von ungefähr 1500 Online-Hot Spots. Damit sei Deutschland führend in Europa (Winter 2003).

Tabelle 3.8
Hot Spots in Deutschland (Stand: 15.10.2003, Winter 2003)

Art des Hot-Spots	Online	Gesamt
Hotels	375	635
Gastronomiebetriebe	145	253
Bürogebäude	42	45
Universitäten	32	32
Freigelände/Hotzone	23	23
Flughäfen	19	21
Häfen/Marina	10	10
Shops/Läden	10	10
Autobahnraststätten	9	9
Messegelände	7	7
Bahnhöfe	5	10
Gesamt	780	1.068

Der WLAN-Spezialist Portel zählt aktuell rund 400 aktive Hot Spots in Deutschland und kommt auf eine vertraglich vergebene Zahl von 1000 Hot Spots. Bis Jahresende 2003 sollen

mehr als 1500 Hot Spots fertig gestellt werden. Innerhalb eines Jahres hätte sich damit die Zahl der Hot Spots in Deutschland vervierfacht. Als Ursache für den starken Anstieg geben die Marktforscher vor allem den Einstieg von Vodafone D2 und T-Mobile in den Markt an. So verfüge Vodafone bereits über Kooperationsverträge mit der Lufthansa und den mehr als 350 Accor- und Dorint-Hotels für Deutschland. Der größte Auftrag von T-Mobile betrifft die Ausstattung der über 2000 Starbucks-Cafés, vornehmlich in den USA (3sat 14.3.2003).

Eine amerikanische Studie der Unternehmensberatung Forward Concepts's erwartet ein deutliches Nachlassen des Booms in 2004. Ab 2005 wird jedoch das rasche Wachstum fortgesetzt. Für das Jahr 2007 spricht dieser Report von optimistischen 530.000 Hot Spots in den USA. In Europa wird sogar eine Zahl von 800.000 Hot Spots für das Jahr 2007 angenommen. Für Asien pendeln die prognostizierten Zahlen zwischen 1 und 4 Mio. öffentlichen Internet-Zugängen.

Andere Unternehmensberatungen sehen hingegen ein fortlaufendes Wachstum ohne einen Einbruch in 2004, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 3.9

Öffentlich zugängliche WLAN Hot Spots weltweit (Gartner Dataquest 30.6.2003)

Ort	2001	2002	2003	2004	2005
Flughäfen	85	152	292	378	423
Hotels	569	2.274	11.687	22.021	23.663
Einzelhandel	474	11.109	50.287	82.149	85.567
Besucherzone von Unternehmen	84	624	1.762	3.708	5.413
Bahnhöfe und Häfen	-	88	623	2.143	3.887
Hot Spots von Kommunen	2	266	5.637	20.561	30.659
Andere	-	240	790	1.526	2.156
Gesamtmarkt	1.214	14.752	71.079	132.486	151.768

Deutlich geringere Zahlen werden von der IT-Beratung Analysys (GB) prognostiziert: Die Zahl von 1400 öffentlichen Hot Spots im Jahr 2002 wird in Europa bis 2007 nur auf 30.000 steigen. Die Erlöse in Europa werden Analysys zufolge von 98,8 Mio. € auf 5,0 Mrd. € in 2007 steigen. Für die USA wird ein Wachstum von 22,5 Mio. auf 2,8 Mrd. \$ in 2007 prognostiziert (Cellular-News 10.3.2003).

Das amerikanische Beratungsunternehmen IDC zählte in 2002 1000 Public WLANs in Westeuropa, eine Zahl, die bis zum Jahr 2007 auf mehr als 32.500 öffentliche Hot Spots wachsen soll. Die Zahl der Hot Spot-Besucher in Westeuropa im Jahr 2007 wird von IDC auf 7,8 Mio. geschätzt (IDC 16.5.2003).

Es wird deutlich, welche Prognosedifferenzen und damit Unsicherheiten in den Studien zu Tage treten. Dass die Realität vermutlich unter den Höchstzahlen liegen wird, wird von eini-

gen Unternehmensberatungen vertreten, die vor einem 'Platzen der WLAN-Blase' warnen. Als Gründe für eine Euphorie-Warnung werden angegeben:

- zu geringe Ausstattung mit Notebooks in West-Europa,
- nicht alle Notebook-Besitzer haben ein Interesse an öffentlichen WLANs,
- die Preise für die Nutzung von öffentlichen Hot Spots seien zu hoch,
- zu wenige öffentliche Internet-Zugänge,
- ungelöste internationale Roaming-Probleme und
- Sicherheitsbedenken.

(Heise-Newsticker 20.6.2003, Forrester Research 19.6.2003, The Economist 28.6.2003)

Vor dem Hintergrund der dargestellten Prognosen können jedoch alle aufgeführten Gründe in der 'Euphorie-Warnung' entkräftet werden: Die Zahl der Notebooks steigt stark, das Interesse wird mit sinkenden Zugangskosten und steigender Zahl von Hot Spots wachsen und auch die Lösung der Roaming- und Sicherheitsprobleme ist eine Frage der Zeit.

Unternehmens-WLAN

Funk-Netzwerke bieten alle Vorzüge verkabelter lokaler Daten-Netze: schnellen Austausch von Daten und Nachrichten, gemeinsame Nutzung teurer Ressourcen, wie Drucker oder Speicher, komfortablen Zugriff auf Email und Zugang ins Internet.

Der Einsatz von WLAN in Unternehmen ist abhängig von der Möglichkeit, die Investitionen in einem angemessenen Zeitraum zu amortisieren. Da dieser Zeitraum aufgrund der geringen Investitionen kurz ist, hat sich die Nachfrage in kurzer Zeit vervielfacht (Kane & Yen 2002, Karbstein 2003). So kommt beispielsweise eine Studie der WirelessLAN Alliance zu dem Ergebnis, dass sich der Einsatz der drahtlosen Technik im Durchschnitt in acht bis zehn Monaten rechnet (Return on Investment) (Kartes 2002).

Kostenvorteile gegenüber draht-gebundenen Netzen ergeben sich speziell bei Um- oder Ausbau, da keine kostspieligen Bauarbeiten notwendig sind. Zudem müssen Gebäude nicht baulich verändert werden, was insbesondere bei Vorgaben des Denkmalschutzes ein positiver Faktor ist. Außerdem wird die Nachnutzung alter Bürobauten möglich, deren Sanierung aufgrund der notwendigen Kabelverlegungen vielfach an den Kosten scheitert. Ein guter Teil des Büroleerstandes in Deutschland resultiert daraus, dass die alten Gebäude nicht oder nur sehr kostenintensiv für moderne Büronutzungen verwendbar sind.

Mehr als 40 Prozent der deutschen Unternehmen setzen mittlerweile auf Mobile Computing, wobei insbesondere das persönliche Informationsmanagement im Vordergrund steht und Back-Office-Applikationen nur wenig nachgefragt werden. Ein ausgereiftes Informationsmanagement-System auf WLAN-Basis existiert zum Beispiel im Daimler Chrysler-Werk, Sindelfingen. Dort wird die Bewegung von rund 6000 Autos am Tag über drahtlose Technik abgewickelt (Network World 9.5.2003).

Die Einsatzbereiche von WLAN liegen neben der Vernetzung der Computer im Unternehmen (innerbetriebliche Kommunikation) insbesondere im Flottenmanagement, in der Steuerung von Außendiensten sowie in der Fernüberwachung von Produktionsanlagen. Auch der selbständige Datenaustausch zwischen einzelnen Produktionseinheiten (Industrie-Funk) ist ein sich entwickelnder WLAN-Markt, wobei noch die Hürden Interoperabilität, Standardisierung und Datensicherheit genommen werden müssen (Produktion 12.6.2003).

Das Hauptwachstum im Absatz von WLAN-Hardware stammt einer US-Studie von ForceNine Consulting zufolge nicht aus Großunternehmen und der öffentlichen Verwaltung, sondern aus Haushalten und dem so genannten SOHO-Sektor (small-office, home-office entities). Für die nähere Zukunft sieht ForceNine Consult eine gesteigerte Nachfrage vor allem aus dem Krankenhaus-Sektor und aus öffentlichen Verwaltungen. In den Unternehmen wird die Nachfrage verstärkt aus der Handelslogistik stammen, da mit derartigen Funksystemen die komplette Lieferkette kostengünstig überwacht und gesteuert werden kann (Book & Roscoe 2003).

Heim-WLAN

Zu den Potenzialen im Bereich Heim-Netze mittels WLAN gibt es nur sehr wenige Hinweise. In erster Linie wird ein WLAN als Mittel zur kompletten Vernetzung der gesamten Haus-Elektronik gesehen, wobei Konkurrenzsysteme seit Jahren auf dem Markt sind. Diese vernetzen beispielsweise die Hauselektronik mittels Datenübertragung über die Stromleitung und lassen sich vom Handy fernsteuern. Die Vorteile von WLAN im Haus oder in der Wohnung sind die Möglichkeit zur Einbindung von Unterhaltungselektronik, eine günstige und ohne Bauarbeiten mögliche Installation sowie hohe Datenübertragungsraten. Die wachsende Verfügbarkeit WLAN-fähiger Notebooks in den Haushalten eröffnet weitere Nutzungsmöglichkeiten.

Dass die Vernetzung der Haustechnik ein Markt ist, zeigt eine Umfrage der CEA (Consumer Electronics Association, s. Tabelle 3.10).

Tabelle 3.10

Anwendungen für Haustechnik-Vernetzung

(nach Rauch 2001, in diesem Artikel werden auch weitere Studien von Datamonitor, dem Marktforschungsinstitut Mori und der Cahners In-Stat-Group zusammengefasst)

Anwendung	Anteil der Befragten
Ausschalten nicht benutzter Lichtquellen	72 Prozent
Hinweis auf laufende TV-Sendungen gemäß Interessenprofil	48 Prozent
Benachrichtigung am Arbeitsplatz über eintreffende Lieferungen oder Personen	42 Prozent
Hinweis auf Lebensmittelbedarf durch den Kühlschrank	37 Prozent
Hinweis, dass die Waschmaschine ihre Arbeit beendet hat	37 Prozent

Die Steuerung sämtlicher Haus- und Computertechnik inklusive der Unterhaltungselektronik ist jedoch ein schwieriges Unterfangen, da die Klientel keinen Ehrgeiz aufbringt, sich technische Kompetenz für die Bedienung komplexer Programme anzueignen. Die Industrie versucht dem mit möglichst einfachen Steuerungs-Geräten zu begegnen, die auf bekannten Geräten und Funktionen aufbaut: So sollen Bilder der digitalen Kamera und des Handys auf dem Fernseher verfügbar werden sowie aus dem Internet heruntergeladene Musik-Titel auf der Stereoanlage (Wendeln 13.11.2003).

Die Unternehmensberatung IDC fand heraus, dass Heimanwender LANs und WLANs aufgrund von Problemen bei der Installation, der Sicherheit und dem Datenschutz kritisch gegenüber stehen. Trotzdem wird die Nachfrage nach Heim-Netzwerken weiter steigen. Bis Ende 2007 werden rund zehn Prozent der Haushalte über ein Heimnetz verfügen, davon die Hälfte mit einem WLAN (IDC 13.8.2003).

Die Entwicklung hängt jedoch auch an der Diskussion um die von Endgeräten und Access Points hervorgerufenen elektromagnetischen Felder im Zusammenhang mit potenziellen gesundheitlichen Wirkungen (zu der Thematik 'Elektrosmog' vgl. Büllingen 2003, Binder & Keller 2003).

3.3 Wirtschaftliches Potenzial von Funk-Netzwerken in Nordrhein-Westfalen

Studien bezüglich der Arbeitsmarkt- und Ausbildungswirkungen von WLAN existieren nicht. Darüber hinaus ist es nicht möglich, aus den von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post veröffentlichten Arbeitsmarktdaten der Telekommunikationsbranche einen Bezug zu den Beschäftigungswirkungen von Funknetzen herzustellen. Hinweise zur Einordnung der Marktentwicklung und potenzieller Arbeitsmarkteffekte lassen sich jedoch aus der Entwicklung der Telekommunikationsbranche insgesamt ableiten.

In Deutschland gibt es aktuell 2.129 Unternehmen im Telekommunikationsmarkt. Damit hat sich die Zahl der Unternehmen in Deutschland seit der Liberalisierung des Marktes in 1998 nahezu verdoppelt (1998 = 1103) (Reg TP 31.10.2003).

Trotz weiter steigender Umsätze sank die Beschäftigtenzahl im Telekommunikationsdienstleistungsmarkt zum Ende des Jahres 2002 gegenüber dem Vorjahr um 5 Prozent auf 230.100 (s. Tabellen 3.11 und 3.12). Die weitaus größte Zahl der Beschäftigten hat allein das Unternehmen Telekom Inland mit 178.600, während alle anderen Wettbewerber zusammen nur 51.500 Beschäftigte verzeichnen. Zum ersten Mal seit der Liberalisierung des Marktes in 1998 gab es damit einen signifikanten Beschäftigungsrückgang. Die absolute Zahl der Beschäftigten liegt aber immer noch über der in den Boomjahren 1998/1999. Der Abbau fand mehrheitlich im Festnetz statt, der Mobilfunk hatte einen deutlich geringeren Abbau zu verkraften. Die Deutsche Telekom (DT AG und inländische Tochtergesellschaften) hielt annähernd ihre Mitarbeiterzahl von 178.600, hat jedoch angekündigt, in den Jahren 2003 bis 2005 rund 40.000 Stellen in Deutschland abzubauen.

Ende des Jahres 2002 hatten die lizenzierten Wettbewerber im Festnetz insgesamt 22.700 Mitarbeiter und die lizenzierten Netzbetreiber im Mobilfunkdienst 24.300 Mitarbeiter. Mit den Beschäftigten bei den Mobilfunk-Providern (7200) entfielen auf den Mobilfunkmarkt (Mobilfunkdienst) insgesamt 31.500 Personen. Ohne die Beschäftigtenanteile der Deutschen Telekom waren in diesem Markt 22.400 Menschen tätig (Reg TP 31.10.2003).

Tabelle 3.11

Umsatzentwicklung der Netzbetreiber im Mobilfunkdienst 1995-2002 (Mio. €) (Reg TP 31.10.2003)

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
3.800	5.200	6.600	8.500	12.300	16.800	17.600	18.400

Die Umsätze setzen sich aus Umsätzen mit Endkunden, Umsätzen mit Mobilfunk-Service-Providern und Umsätzen mit Carriern zusammen.

Tabelle 3.12

Beschäftigtenentwicklung im Mobilfunkdienst (Reg TP 31.10.2003)

	1998	1999	2000	2001	2002
Lizenznehmer Mobilfunkdienst	18.600	21.800	26.700	27.800	24.300
Mobilfunk Service Provider	5.800	6.300	8.100	10.100	7.200
Ingesamt	24.400	28.100	34.800	37.900	31.500

Tabelle 3.13

Teilnehmerentwicklung und Penetrationsrate im Mobilfunkdienst 1992-2002 (Reg TP 31.10.2003)

Die Angaben enthalten bis zum Jahr 2000 auch die analogen C-Netz-Teilnehmer. Zum 31.12.2000 wurde das C-Netz abgeschaltet.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Teilnehmer (Tsd.)	953	1768	2482	3764	5556	8276	13914	23446	48202	56245	59200
Penetrations- rate (Prozent)	1,2	2,2	3,0	4,6	6,8	10,1	17,0	28,5	58,6	68,2	71,1

Das Schrumpfen der Beschäftigtenzahlen seit 2001 ist in der Entwicklung der Teilnehmerzahl und der Penetrationsrate nicht sichtbar. Ähnlich der Umsätze gibt es hier ein weiteres Wachstum.

Die bundesdeutschen Beschäftigtenzahlen sprechen eine eindeutige Sprache, ein weiteres Wachstum der Beschäftigtenzahlen in der Telekommunikationsbranche ist - bei aller Vorsicht - zunächst nicht zu erwarten. Dies zeigt auch der Hinweis aus dem nur leicht steigenden Erlös pro Nutzer, der vor dem Hintergrund steigender Produktivität eher eine Stagnation der Beschäftigten wahrscheinlich macht. Die wachsende Zahlungsbereitschaft für Internet-Content gibt dagegen Hoffnung auf höhere Umsätze pro Nutzer und damit mögliche Arbeitsplatzgewinne.

3.3.1 WLAN-Beschäftigte in NRW

Eine Anfrage bei der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post ergab, dass eine Aufgliederung der jährlich erhobenen Beschäftigtenzahlen nach Bundesländern nicht möglich ist und zudem die Zahl der Beschäftigten nach dem Gesamtunternehmen abgefragt würde. Zudem wird die Beschäftigtenzahl nur am Sitz des Unternehmens erfasst, was keine Rückschlüsse auf bundeslandspezifische Beschäftigtenzahlen zulässt. Darüber hinaus gibt es keine getrennte Erhebung der Beschäftigtenzahl nach Techniken wie Mobilfunk oder WLAN.

Tabelle 3.14 zeigt die Einschätzungen seitens des Projektteams hinsichtlich der Wirksamkeit des WLAN-Ausbaus auf Arbeits- und Ausbildungsplätze. Im Saldo wird die Zahl der durch WLAN neu geschaffenen Arbeitsplätze vergleichsweise gering sein und es kann sicher als Erfolg angesehen werden, wenn die bestehenden Arbeitsplatzzahlen in der Telekommunikationsbranche in der Größenordnung erhalten bleiben.

Tabelle 3.14

Auswirkungen der Planung, Einrichtung und des Betriebs von Funk-Netzwerken auf die Ausbildungs- und Arbeitsplatzsituation

+, o, - positiver, kein, negativer Effekt auf Ausbildungsplätze und Beschäftigung
absolut/im Vergleich mit kabel-gebundenen Netzen

Beschäftigungsbereich	Ausbildungsplätze	Arbeitsplätze	Bemerkung
Produktion Netzwerkkomponenten und Endgeräte	o/o	o/o	Die Produktion erfolgt vor allem in Asien und Nordamerika
Softwareentwicklung	o/(+)	(+)/(+)	Bereich mit nur sehr wenigen Ausbildungsplätzen
Entwicklung spez. Anwendungen / Dienstleistungen	?/+	+/+	
Handel	o/o	o/o	
Beratung und Planung	(+)/(+)	+/+	
Installation (Elektrohandwerk)	o/-	o/-	Die Verlegung von Kabeln entfällt
Installation (Bauhandwerk)	-/-	-/-	Wanddurchbrüche usw. sind nicht erforderlich
Systembetreuung	(+)/(+)	+/+	
Wartung und Reparatur	?/?	o/o	
UMTS-Dienstleistungen	-	-	Konkurrenz durch vorhandene Internet-Angebote
DVD/CD Branche	-	-	Video-on-demand, Music-on-demand
Unternehmen insgesamt	-	-	Rationalisierung, Maschine Maschine-Kommunikation

Zudem führt der Ausbau von WLAN in anderen Branchen zu zumeist negativen Beschäftigungswirkungen, da vor allem in den Unternehmen Rationalisierungseffekte erwartet wer-

den. Außerdem ist zu erwarten, dass eine Zahl von Dienstleistungen durch die Online-Möglichkeit wenn nicht ersetzt, so doch zumindest deutlich im Umfang beschnitten wird.

Reicht trotz wachsenden WLAN-Marktes das Return on Investment nicht aus oder wird dieser Markt so lukrativ, dass Großunternehmen durch Übernahme und Aufkäufe von kleinen und mittleren Unternehmen in den Markt eintreten, so sind aufgrund der Rationalisierungseffekte Arbeitsplatzverluste zu erwarten. Ähnliches gilt für eine potenzielle Marktberreinigung bei Nicht-Eintreten der günstigen Marktprognosen.

Abhilfe hinsichtlich Daten zur Arbeitsmarkt- und Ausbildungsplatzsituation kann nur eine Primärerhebung bei den in Nordrhein-Westfalen ansässigen Unternehmen bzw. Unternehmensteilen schaffen. Wobei angemerkt werden muss, dass die Unternehmen sicher Schwierigkeiten mit der personengenauen Ermittlung von Tätigkeiten im Zusammenhang mit WLAN haben werden, es sei denn, die Unternehmen sind ausschließlich in diesem Sektor tätig.

3.3.2 WLAN-Unternehmen in NRW

In Nordrhein-Westfalen haben neben den beiden großen Playern am Mobilfunkmarkt, Vodafone in Düsseldorf und die Telekom in Bonn, 416 Telekommunikationsanbieter ihren Sitz (2003), das sind rund 20 Prozent der Anbieter in Deutschland. Damit verfügt Nordrhein-Westfalen über die weitaus größte Zahl von Anbietern in einem Bundesland. Bayern folgt mit 320, Hessen mit 238, Baden-Württemberg mit 211 Anbietern (Reg TP 31.10.2003).

Die Ermittlung dieser Unternehmen für eine Umfrage zu den Beschäftigungswirkungen der Branche in Nordrhein-Westfalen könnte über die RegTP erfolgen oder aus einer Analyse von Messekatalogen und anderen Adressdatenbanken, beispielsweise der Unternehmensverbände.

4 Zugriffs- und Datensicherheit in Funk-Netzwerken

Der Zugriff auf übertragene Daten ist bei Kabeln relativ einfach zu regeln: Wer keinen Zugriff auf das Kabel hat, kann in der Regel nicht ohne erheblichen Aufwand auf die darüber übertragenen Daten zugreifen. Werden für die Datenübertragung Funkwellen benutzt, entsteht das Problem, dass diese nicht an Gebäude- und Grundstücksgrenzen halt machen. Dieses Problem besteht nicht nur bei Funk-Netzwerken, sondern im Prinzip bei jeder Form der Datenübertragung per Funk. Bei Funk-Netzwerken ist das Risiko des Zugriffs Unberechtigter auf private, betriebliche oder behördliche Daten nur wesentlich höher, denn

- Funk-Netzwerke können mit einfachen Mitteln – es reicht ein Notebook mit WLAN-Karte – 'angezapft' werden;
- die Daten liegen in elektronischer Form vor und sind daher leicht zu speichern und zu filtern bzw. zu durchsuchen.

Unter dem Begriff Sicherheit werden im Zusammenhang mit Netzwerken, die folgenden Eigenschaften zusammengefasst (Roth 2002 S. 291ff):

- Vertraulichkeit (engl.: *Privacy*): Informationen sind nur für die gewünschten Kommunikationspartner zugänglich. Unbefugte dürfen keinen lesenden Zugriff auf Daten erhalten.
- Authentizität (engl.: *Authenticity*): Jeder Kommunikationspartner kann zweifelsfrei feststellen, ob eine Kommunikation tatsächlich mit dem gewünschten Partner aufgebaut wurde. Fremde Personen können sich nicht als Partner ausgeben.
- Autorisation (engl.: *Authorization*): Der Zugriff auf bestimmte Netzwerkressourcen wird nur für einen bestimmten Personenkreis zugelassen. Eine Autorisierung setzt eine Authentifizierung voraus.
- Integrität (engl.: *Integrity*): Unberechtigte Manipulationen von Daten (Entfernen, Verändern) sind unmöglich bzw. Veränderungen durch Dritte werden erkannt.

Das heißt, es geht nicht nur um die Sicherheit von Daten gegen unbefugte Aneignung oder Veränderung durch Dritte, sondern auch um den Schutz gegen unberechtigte Zugriffe auf Netzwerkressourcen. Zu Letzterem zählt auch der unberechtigte Zugriff auf das Internet. Durch die unberechtigte Internet-Nutzung entstehen nicht nur Kosten, sondern alle - möglicherweise strafbaren - Handlungen im Internet fallen im Zweifel auf den Anschlussinhaber zurück (Dornseif et al. 2002).

Ein Angreifer muss, um auf ein Netzwerk zugreifen zu können, dessen Namen (Service Set Identifier, SSID), der als Passwort fungiert, kennen. Diesen zu ermitteln, ist allerdings kein größeres Problem, da die Basisstationen eines WLAN-Netzes 10mal pro Sekunde ein so genanntes Beacon-Signal aussenden, das neben anderen Informationen über das Netz auch den Namen und die Adresse des Netzes beziehungsweise der Basisstation enthält. Da diese Adressen herstellerabhängig vergeben werden, lässt sich anhand der Adresse auch der Hersteller des Access Points ermitteln. Außerdem enthält das Beacon-Signal auch Informationen darüber, ob Verschlüsselung verwendet, welcher Kanal genutzt und welche Geschwindigkeiten unterstützt werden.

Durch die Konfiguration von Access Points und zugehörigen Netzen als 'versteckt' (closed network access control, hidden SSID bzw. no broadcast SSID) kann erreicht werden, dass die Access Points in den Beacon-Signalen nicht ihren SSID senden. Ein wirksamer Schutz ist dadurch allerdings nicht gegeben, da der Netzname in zahlreichen Steuerpaketen übertragen wird und somit von jedem, der in der Lage ist, Datenkommunikation zwischen Access Points und Computern zu empfangen, ermittelt werden kann. Auch die drei im Standard IEEE 802.11 für WLAN vorgesehenen Sicherheitskonzepte bieten nur begrenzten Schutz (Roth 2002 S.323ff, Dornseif et al. 2003, s.a. Ganz et al. 2000, Lu et al. 2003):

1. Hinterlegung von Zugriffslisten bei einem Access Point

Der Access Point akzeptiert nur Pakete von Sendern, deren Medium Access Control- (MAC-) Adresse in der Zugriffsliste eingetragen ist. Bei größeren Netzen kann der Aufwand zur Pflege der Zugriffslisten allerdings erheblich sein. Moderne WLAN-Karten erlauben es zudem, die MAC-Adresse zu verändern. Ein Angreifer muss daher lediglich eine gültige Adresse (durch Beobachten der Kommunikation oder durch automatisiertes Ausprobieren aller möglichen Adressen eines Herstellers) ermitteln und kann dann, indem er diese Adresse benutzt, auf das Funk-Netzwerk zugreifen.

2. Hinterlegung eines gemeinsamen Kennworts bei allen Access Points und Stationen

Eine Station kann danach jede andere Station authentifizieren, das heißt es werden nur Stationen als Kommunikationspartner akzeptiert, die im Besitz des Kennworts sind. Allerdings hat ein Fehler im Protokolldesign zur Folge, dass jeder, der die erfolgreiche Authentifizierung eines anderen Computers bei einer Basisstation beobachtet, selbst eine solche ohne Kenntnis des Passwortes vortäuschen kann. Dazu werden praktisch nur zwei Datenpakete, die bei der erfolgreichen Authentifizierung eines anderen Rechners mitgeschnitten wurden, mathematisch verknüpft, um gültige neue Authentifizierungsdaten zu erhalten. Bei Open System-Konfigurationen wird eine Authentifizierung ohnehin nicht durchgeführt.

3. Verschlüsselung aller Pakete durch Stationen und Access Points

Die Verschlüsselung der Nutzdaten ist als optionaler Schutz vorgesehen. Der WLAN-Standard definiert hierfür ein Verschlüsselungsprotokoll namens WEP (Wired Equivalent Privacy), das für drahtlose Netze die gleiche Sicherheit bieten soll, wie sie in drahtgebundenen Netzen gegeben ist (zur Funktionsweise von WEP s. z.B. Roth 2002 S. 324f, Müller 2002). Die WEP-Verschlüsselung weist jedoch erhebliche Sicherheitslücken auf und es sind mittlerweile Programme verfügbar, die diese Lücken systematisch ausnutzen (Roth 2002 S. 326). Möglichkeiten, die Verschlüsselung zu 'knacken' und auf Daten zuzugreifen, sind z.B. (Dornseif et al. 2003, s.a. Müller 2002):

- Schlüssel zurückrechnen: Durch das Mitschneiden von verschlüsselten Datenpaketen kann der verwendete Schlüssel berechnet werden. Mit diesem Schlüssel können dann sowohl sämtliche mitgeschnittene Kommunikation entschlüsselt als auch vom Angreifer Daten über das Funknetz verschickt werden.

- Wörterbuch Attacke: Durch Mitschneiden einer größeren Menge verschlüsselter Datenpakete können einzelne Datenpakete dekodiert werden, ohne dass der Schlüssel bekannt sein muss.

- Paket Modifikation: Bits in Datenpaketen können gekippt werden. Damit sind, soweit Struktur oder Inhalt des verschlüsselten Datenpakets zumindest teilweise bekannt sind, gezielte Modifikationen an den verschlüsselten Daten möglich, ohne dass der Schlüssel bekannt sein müsste.

- Paket Erstellung: Wenn von einem Paket der verschlüsselte und unverschlüsselte Inhalt bekannt sind – wie es beispielsweise bei den Authentication Request und Authentication Reply Paketen der Fall ist – dann kann daraus ein beliebig langes verschlüsseltes Paket erstellt werden. Das so entstandene Paket lässt sich in jedes beliebige andere verschlüsselte und gültige Paket umwandeln.

- Brute Force Attack: Aufgrund von Fehlern in der Schlüsselerzeugung bestehen gute Chancen, den Schlüssel durch Ausprobieren zu erraten. Bei den Implementierungen einiger Hersteller reichen wenige Minuten des Ausprobierens.

- Replay Attack: Es sind mehrere Angriffe veröffentlicht, die sich zu Nutze machen, dass bei WEP das Verschlüsseln einer bereits verschlüsselten Nachricht zu einer entschlüsselten Nachricht führt. So kann man eine verschlüsselte Nachricht aus der Luft mitschneiden und dann von außen erneut über die Basisstation in das Funknetz senden. Die Basisstation wird eine erneute Verschlüsselung versuchen, mit dem Erfolg, dass sie die Daten unverschlüsselt sendet.

- Evil Twin: Es wird eine zweite Basisstation mit gleichem Namen aber größerer Sendeleistung installiert. Die meisten Stationen werden nun die zweite Basisstation nutzen. Wenn die zweite Basisstation ohne Verschlüsselung betrieben wird, schalten die Stationen oftmals automatisch die Nutzung der Verschlüsselung ab. Somit erhält ein Angreifer nicht nur Zugriff auf unverschlüsselte Daten, sondern kann auch mittels einer so genannten Man-in-the-Middle Attack die nun über seine Basisstation laufenden Daten beliebig verfälschen und damit ggf. weitere Sicherheitsmechanismen aushebeln.

Die im Standard IEEE 802.11 für WLAN vorgesehenen Sicherheitskonzepte bieten also nur einen begrenzten Schutz gegen gezieltes Eindringen in Funk-Netzwerke und das Ausspähen von Daten. Aber selbst die zur Verfügung stehenden Sicherungen werden von vielen Netzbetreibern nicht genutzt, wie eine Untersuchung von Dornseif et al. (2002) zeigt. In einem Pre-Test gelang es ihnen, allein mit handelsüblichen Notebooks, WLAN-Karten und mitgelieferten Programmen Funk-Netzwerke zu orten. In der eigentlichen Untersuchung, die sich auf das Stadtgebiet von Bonn und Teile des Stadtgebiets von Köln erstreckte, kam zur Arbeitserleichterung frei verfügbare Software zum Einsatz, die das Protokollieren von Netzwerkinformationen und das Zurücksetzen des Netzwerknamens vollautomatisch erledigen. In der Hacker-Szene kursieren diverse Programme für Funknetze, wie zum Beispiel, *WEPcrack* oder das WLAN-Suchwerkzeug *Network Stumbler*, die beim sogenannten *War Driving* - dem Aufspüren und Anzapfen schlecht oder nicht geschützter Funknetze - eingesetzt werden (Müller 2002). In den USA hat sich das War Driving schon zu einem richtigen 'Volkssport' entwickelt. Durch Kreidezeichen an Hauswänden oder auf der Straße werden nachfolgende Hacker auf die Existenz eines offenen Netzes hingewiesen (*War Chalking*).

Die von Dornseif et al. (2002) verwendeten Programme protokollierten zusätzlich mit Hilfe eines externen GPS Empfängers die aktuelle Position der erkannten Netzwerke und die von

Software für Endanwender in aller Regel ausgefilterten Netze mit *hidden SSID*. Mit der Software wurden jeweils nur passiv die Existenz und die Sicherheitskonfiguration der Netzwerke anhand von Steuerdaten festgestellt. Verschlüsselte oder unverschlüsselte Nutzdaten wurden nicht gesammelt.

Um ein ganzes Stadtgebiet zu erfassen, wurden die Messungen vom Auto aus vorgenommen. Eine zuverlässige Erkennung von Netzwerken erwies sich bis zu Geschwindigkeiten von 65 km/h als möglich. Um dem Abschirmungseffekt der Autokarosserie entgegenzuwirken wurde eine handelsübliche Auto-Außenantenne mit 7 dB Verstärkung verwendet. Mit dieser Antenne konnten von sechs bekannten Netzen vier erfasst werden. Im Stadtgebiet von Bonn wurden bei Messfahrten in den frühen Morgen- und den späten Abendstunden insgesamt 157 Netzwerke geortet. Wenn man davon ausgeht, dass allgemein 'nur' 2/3 der Funk-Netzwerke erkannt werden, ergibt sich eine Gesamtzahl von 235 Funk-Netzwerken. Allerdings sind dabei nur die Netzwerke berücksichtigt, die auch außerhalb der üblichen Bürozeiten betrieben werden. Bei Stichproben in Köln wurden noch einmal 125 Funk-Netzwerke entdeckt.

Von den insgesamt 282 georteten Netzwerken wurde die überwiegende Zahl im Infrastruktur-Modus betrieben, nur 11 (ca. 4 Prozent) waren Ad hoc-Netze. Weniger als die Hälfte nutzten die Sicherheitsfunktionen des WLAN-Standards: 78 Netze (ca. 28 Prozent) nutzten WEP-Verschlüsselung und 59 (ca. 21 Prozent) waren versteckt (hidden SSID). Von Letzteren waren bis auf ein Netz alle beim gleichen Netzbetreiber angesiedelt. Von 30 Prozent der Netze wurden erkennbar die von den verschiedenen Herstellern voreingestellten Namen verwendet.

Dornseif et al. (2002) fassen die Ergebnisse ihrer Untersuchung wie folgt zusammen:

- Es ist unmöglich, mit den heute auf dem Massenmarkt erhältlichen Systemen ein angriffssicheres Funk-Netzwerk zu betreiben.
- Funk-Netzwerke haben eine nicht unbedeutende Verbreitung und werden anscheinend überwiegend ohne Verschlüsselung und andere Sicherheitsmechanismen betrieben.

Die Sicherheit eines Funknetzes kann jedoch durch einige vorbeugende Maßnahmen deutlich erhöht werden (Müller 2002):

1. Ändern voreingestellten Standardpasswörter
2. Verwendung der WEP-Verschlüsselung
Mit dem Einsatz von WEP wird durch die Verschlüsselung zumindest eine gewisse Barriere errichtet, die Gelegenheitshacker abhält. Um die Verschlüsselung zu knacken, muss ein Lauscher die in seinem Empfangsbereich laufenden Übertragungen hinreichend lange mitschneiden und alle Datenpakete sammeln. Erst dann kann er den WEP-Schlüssel anhand statistischer Verfahren errechnen. Ein Einbruch lässt sich also nicht verhindern, sondern nur erschweren und hinauszögern. Hardware, die 128-Bit Verschlüsselung ermöglicht, ist vorzuziehen, da der Rechenaufwand für das Herausfinden des Schlüssels steigt.
3. Regelmäßiges Wechseln des WEP-Schlüssels

4. Ändern des Namens des Access Points (SSID)
Die meisten Access Points senden ihre SSID im Broadcast-Modus und es ist deshalb leicht, diese auszuspionieren. Durch Umbenennen der SSID werden zumindest zufällige Anmeldungen verhindert.
5. Deaktivierung des SSID-Broadcasts am Access Point (Closed-System-Modus).
6. Filterung der Media Access Control-(MAC-) Adressen
Viele Access Points speichern die zugelassenen MAC-Adressen in einer Liste, die vom Administrator einmal erstellt und dann gepflegt wird. Nur zugelassene MAC-Adressen dürfen sich an den Basisstationen anmelden. Zwar können auch MAC-Adressen gefälscht werden, doch muss ein Hacker dazu mindestens eine echte MAC-Adresse kennen.
7. Positionierung des Access Points vor der Firewall
Access Points sollten außerhalb der Firewall aufgestellt werden, damit die Zugriffskontrolle der Firewall auf das interne Netzwerk erhalten bleibt.
8. Kontrolle der Anmeldeprotokolle (Logfiles)
Die vom Access Point mitgeschriebenen Anmeldeprotokolle sollten regelmäßig auf unbekannte MAC-Adressen hin kontrolliert werden. Eine nicht autorisierte MAC-Adresse kann der Hinweis auf einen Einbruchversuch sein.
9. Verwendung eines Intrusion-Detection-Systems
Zur Beobachtung des Netzwerks auf verdächtige Aktivitäten kann ein so genanntes Intrusion Detection-System eingesetzt werden.
10. Verwendung von Authentisierungsverfahren
Einige Access Points verwenden zur Zugriffssteuerung Authentisierungsverfahren, wie zum Beispiel RADIUS. Jeder Benutzer mit Zugriff auf den Access Point wird in einer Zugriffskontroll-Liste gespeichert, die auf dem RADIUS-Server abgelegt ist.
11. Datenverschlüsselung durch Virtual Private Network (VPN)
In besonders schutzbedürftigen Bereichen, die mit sensiblen Daten hantieren, wie Steuerberaterbüros, Anwaltskanzleien, Arztpraxen, aber auch in größeren Unternehmen und Forschungseinrichtungen empfiehlt sich die zusätzliche Verschlüsselung aller Daten durch ein Virtual Private Network. Diese verschlüsseln die Kommunikation zwischen VPN-Server und VPN-Clients.

5 Immissionen und gesundheitliche Risiken beim Betrieb von Funk-Netzwerken

Funk-Netzwerke werden mit elektromagnetischen Feldern im Mikrowellenbereich betrieben. Expositionen durch hohe Mikrowellen-Intensitäten können zu thermischen Schädigungen des Organismus führen. Diese Wirkungen sind wissenschaftlich eindeutig nachgewiesen und die Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung und die Bestimmungen zum Arbeitsschutz sind so ausgelegt, dass sie akute Gesundheitsschäden durch den thermischen Effekt verhindern. Wissenschaftlich noch nicht eindeutig geklärt ist die Frage, ob und welche gesundheitlichen Auswirkungen hochfrequente elektromagnetische Felder mit Intensitäten unterhalb der Schwellen für thermische Schädigungen haben können. Dieser Frage wird im Abschnitt 5.2 nachgegangen. Dort wird ein Überblick über den derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis gegeben. Außerdem werden die Ergebnisse einer Auswertung der vorliegenden epidemiologischen und experimentellen Studien im Hinblick auf die niedrigsten Expositionswerte dargestellt, bei denen Hinweise auf gesundheitlich relevante Effekte gefunden wurden. Im Abschnitt 5.1 werden zunächst die Ergebnisse von Messungen der Immissionen in Funk-Netzwerken bzw. der Felder von einzelnen Funk-Netzwerk-Komponenten vorgestellt.

5.1 Elektromagnetische Immissionen in Funk-Netzwerken

5.1.1 Emissionen der Komponenten von Funk-Netzwerken

Drahtlose Netzwerke nach dem IEEE 802.11-Basisstandard nutzen das ISM-Frequenzband um 2,4 GHz. Für IEEE 802.11a- und HIPERLAN-Netzwerke steht der ISM-Frequenzbereich oberhalb von 5 GHz zur Verfügung. Die in Deutschland für Funk-Netzwerke freigegebenen Frequenzbereiche und die maximal zulässigen Strahlungsleistungen unter Berücksichtigung des Antennengewinns (EIRP) sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Tabelle 5.1

Frequenzbereiche und maximale Sendeleistungen für Funk-Netzwerke in Deutschland

Frequenzband	Frequenzbereich	Maximale Strahlungsleistung (EIRP)	Bemerkung
2,4 GHz	2400 - 2483,5 MHz	100 mW	
5 GHz	5150 - 5350 MHz	200 mW	bezogen auf eine Bandbreite von 20 MHz
	5470 - 5725 MHz	1 W	bezogen auf eine Bandbreite von 20 MHz

Bei Funk-Netzwerken sind zwei Hauptkomponenten und zwei Emissionssituationen zu unterscheiden:

Access Point

Ruhezustand

Der Access Point sendet im Ruhezustand alle 1/10 Sekunde ein Erkennungssignal aus, d.h. das Erkennungssignal ist mit einer Frequenz von 10 Hz pulsmoduliert. Dieses so genannte Bakensignal hat eine Länge von 0,46 ms. Im Ruhebetrieb beträgt die mittlere Leistung daher etwa 1/217 der maximalen Sendeleistung (s. Abb. 5.1).

Sendebetrieb

Die Datenübertragung erfolgt in einzelnen Datenpaketen bzw. durch eine Folge von Funkpulsen. Die Frequenz der Funkpulse steigt mit zunehmender Menge der zu übertragenden Daten. Bei Vollaustattung des Systems erfolgt praktisch ein kontinuierlicher Sendebetrieb. Die Spitzenintensität der Datenpulse entspricht der Höhe der Bakensignale (s. Abb. 5.1).

Endgerät

Ruhezustand

Funk-Netzwerkkarten-Treiber, die über eine Stromsparfunktion verfügen, deaktivieren die Karte, so lange kein Zugriff auf das Funk-Netzwerk erfolgt (schlafender Zustand, Sleep Mode). Wenn eine Übertragung ansteht, wird die Funk-Hardware wieder aktiviert. Begibt sich eine Station in den schlafenden Zustand, werden alle an diese Station gerichteten Datenpakete vom Datenversender zwischengespeichert. Um den Empfang der Daten zu ermöglichen, muss sich die Station regelmäßig aus dem schlafenden Zustand in den wachen Zustand begeben und die zwischengespeicherten Datenpakete abholen.

Im Infrastruktur-Mode ist das regelmäßiger 'Erwachen' an die Aussendung der Bakensignale des Access Points gekoppelt. Da der Station bei der Anmeldung bzw. mit früher empfangenen Bakensignalen des Access Points auch Informationen zur Zeit-Synchronisation im Netzwerk übermittelt wurden, kann sie berechnen, wann der Zeitpunkt für ein Bakensignal gekommen ist, und sich in den Wachzustand begeben. Im Bakensignal sind u.a. neben dem Zeit-Synchronisationssignal alle Stationen verzeichnet, für die der Access Point Datenpakete zwischengespeichert hat. Diese müssen so lange aktiv bleiben, bis diese Daten zugestellt wurden.

In Ad hoc-Netzwerken ist die Zeit-Synchronisation etwas komplizierter, da es keine ausgezeichnete Station gibt. Die Stationen versenden ebenfalls Bakensignale. Steht die Aussendung eines Bakensignals an, horcht die Station das Medium ab und bewirbt sich um dessen Nutzung (s. 1.1.1). Da immer nur eine Station Zugriff auf das Medium erhält, kann auch nur diese ein Bakensignal versenden und übernimmt damit die Zeit-Synchronisation. Der Schlaf-/Wachzustand-Wechsel verläuft dann wie oben beschrieben. In einem Ad hoc-Netzwerk sendet immer nur eine Station ein Signal, das nur der Organisation des Netzwerks und nicht der eigentlichen Datenübertragung dient. Dies muss nicht, kann jedoch immer dieselbe Station sein.

Sendebetrieb

Die Zeitstruktur des abgestrahlten Funksignals entspricht dem des Access Points im Datenübertragungsbetrieb: Bei kleinen Datenraten oder wenn der Access Point auch andere Teilnehmergeräte bedienen muss, erfolgt eine gepulste Übertragung; bei hoher Datenrate wird ein permanentes Sendesignal ausgesandt.

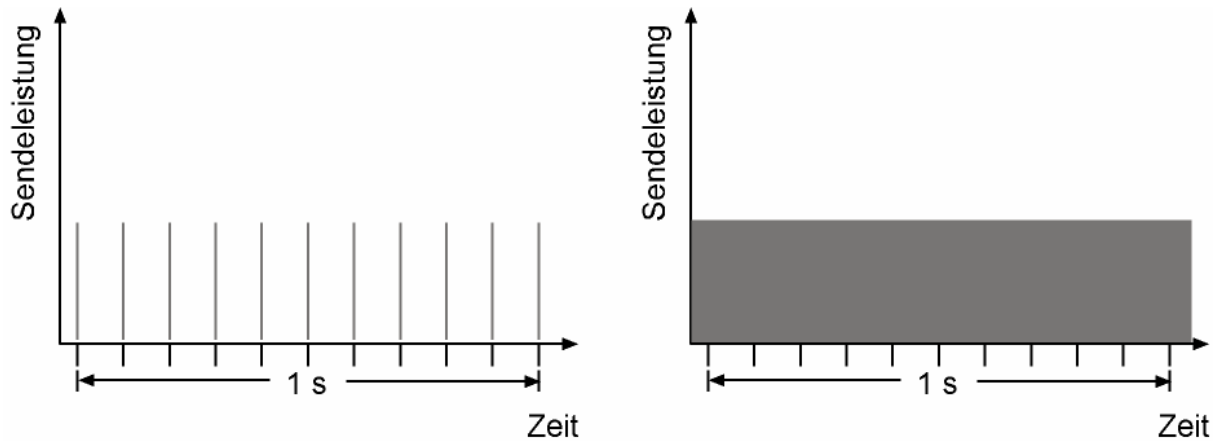


Abbildung 5.1
Zeitstruktur der Emissionen eines Access Points a) nur Aussendung des Bakensignals b) Volllast-Sendebetrieb

Die elektrische Feldstärke bzw. die Leistungsflussdichte der abgestrahlten Funksignale hängt nicht nur von der Sendeleistung und der Auslastung des Systems, sondern auch von dem Gewinn der verwendeten Antennen ab.

5.1.2 Elektromagnetische Immissionen in Funk-Netzwerken

Bei der Beurteilung der Immissionen durch Funk-Netzwerke sind zwei Situationen zu unterscheiden:

- A. Nutzung funk-verbundener Endgeräte
- B. Aufenthalt im Abdeckungsbereich eines Funk-Netzwerks

Systematische und verallgemeinerbare Untersuchungen liegen bisher für keine der Situationen vor (s. Empfehlungen Kap. 7). Zu einer ersten Orientierung können jedoch die Ergebnisse exemplarischer Messungen herangezogen werden, bei denen einzelne Geräte vermessen oder die Immissionen an verschiedenen Punkten in den Versorgungsbereichen von Funk-Netzwerken erfasst wurden.

A Nutzung funk-verbundener Endgeräte

In Abbildung 5.2 sind die Ergebnisse verschiedener Messungen an Funk-Netzwerkkarten von Notebooks bzw. an separaten Antennen auf Computer-Monitoren dargestellt (Klostermann 1999, nova 2001, Neitzke & Voigt 2003). Die Abbildung zeigt die Bandbreite der Messwerte in Abhängigkeit des Abstands zwischen Messsonde und Netzwerkkarte bzw. Sendeanenne. In einem typischen Arbeitsabstand von 50 cm werden Werte bis fast $0,1 \text{ W/m}^2$ erreicht.

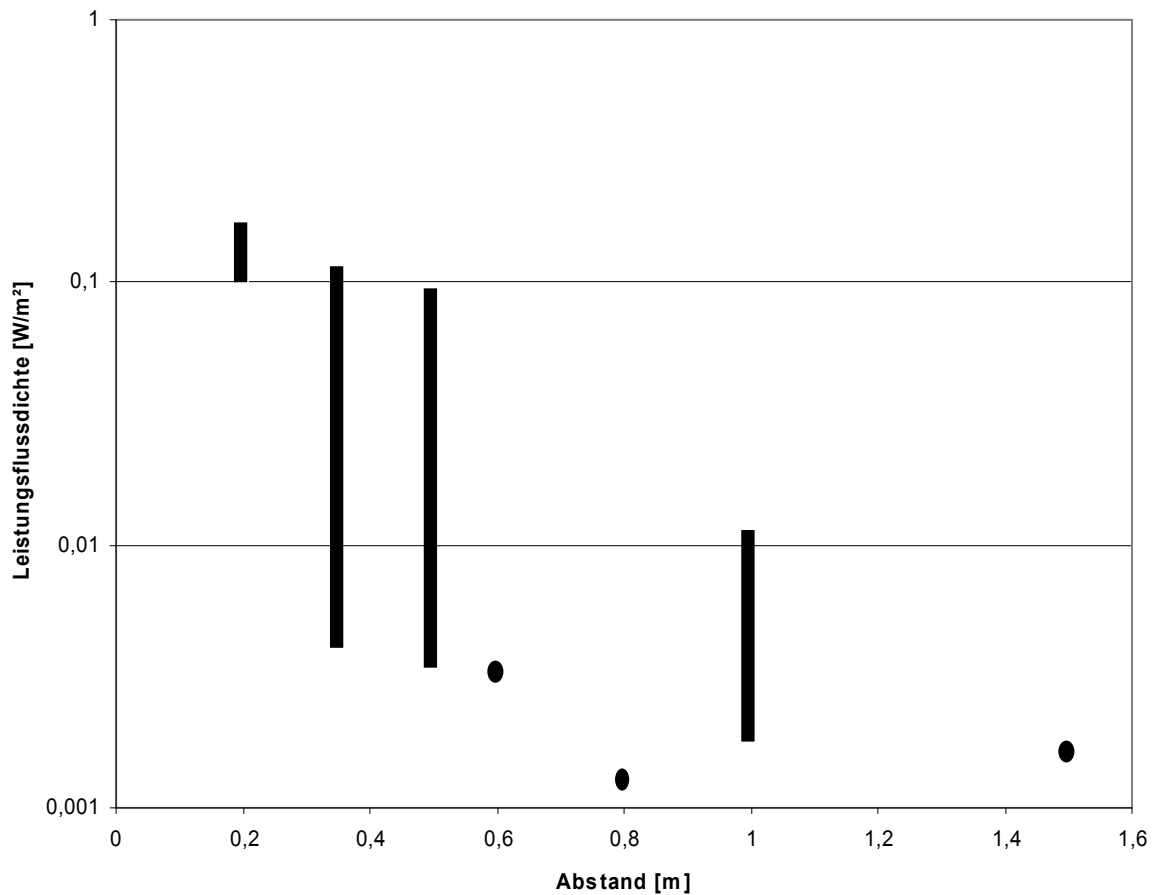


Abbildung 5.2

Ergebnisse von Messungen an Notebooks mit Funk-Netzwerkkarten und Computern mit WLAN-Antennen auf dem Bildschirm

Punkte: Einzelmessungen

Balken: Bereiche von Messwerten

B Aufenthalt im Abdeckungsbereich eines Funk-Netzwerks

Abbildung 5.3 zeigt die Ergebnisse verschiedener Messungen (Nova-Institut 2001, Öko-Test 2002, 2003, Neitzke & Voigt 2003) im Bereich so genannter Hot Spots (Universitätscampus, Marktplatz, Hotel, Flughafen, Bibliothek, Museum) bzw. an einzelnen Access Points. Dargestellt ist wiederum die Bandbreite der Messwerte als Funktion des Abstands, hier zwischen der Messsonde und dem nächsten lokalisierten Access Point. Bei sehr geringen Abständen ($< 1 \text{ m}$) werden Leistungsfussdichten bis $0,1 \text{ W/m}^2$ erreicht.

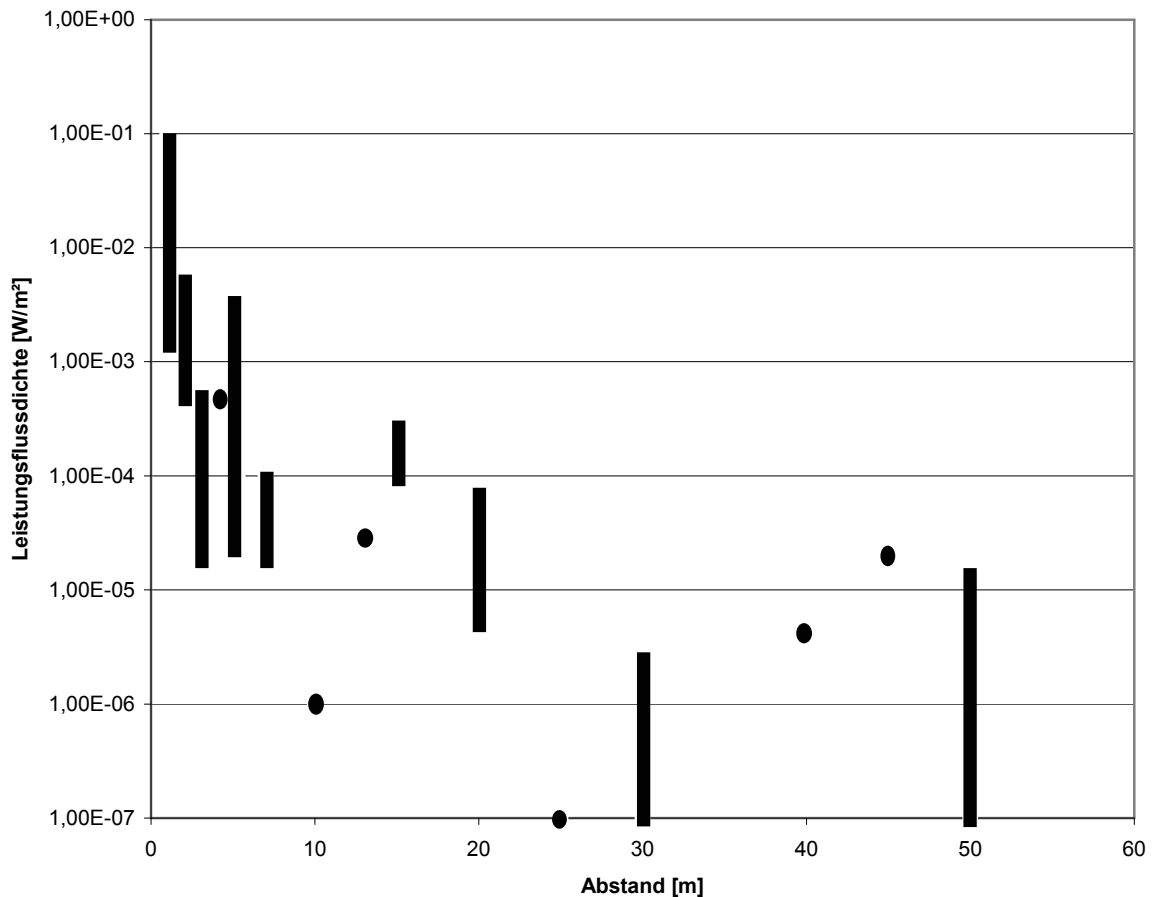


Abbildung 5.3
 Ergebnisse von Messungen in der Umgebung von Access Points
 Punkte: Einzelmessungen
 Balken: Bereiche von Messwerten

Die Schwankungsbreiten der Messwerte in der Umgebung von Access Points sind zum einen darauf zurückzuführen, dass die Untersuchungen an unterschiedlichen Anlagen durchgeführt wurden. Untersuchungen in Innenräumen zeigen zum anderen, dass die Größe der Räume und vor allem die verwendeten Baumaterialien sowie die Wand-, Decken- und Bodenbeschichtungen einen erheblichen Einfluss auf die Feldverteilung in Räumen haben (s. z.B. Maeda et al. 1999). Auch die Anwesenheit von Personen und Einrichtungsgegenständen beeinflusst die Feldverteilung.

Die in den Abbildungen 5.2 und 5.3 zusammengestellten Messwerte können nur zur groben Orientierung dienen, da bisher insbesondere systematische Untersuchungen zu den Immissionssituationen in den Abdeckungsbereichen von Funk-Netzwerken unterschiedlicher Zweckbestimmung fehlen (s.a. 6.2). Bei den vorliegenden Messergebnissen kann wahrscheinlich davon ausgegangen werden, dass die untersuchten Funk-Netzwerkkomponenten die zulässigen EIRP-Werte nicht überschritten. Es werden aber insbesondere über den Internet-Handel auch so genannte Booster zur Erhöhung der Sendeleistung auf einige Watt und Richtanten-

nen mit einem Antennengewinn von 24 dB (Verstärkungsfaktor 250) und mehr angeboten. Bei einer ungünstigen Position einer Person zu der Hauptabstrahlrichtung ist mit Expositionen deutlich über den in den exemplarischen Messungen ermittelten Werten zu rechnen. Das Problem wird dadurch verschärft, dass für WLAN-Komponenten keine Lizenzpflicht besteht und die Regulierungsbehörde für Telekommunikation lediglich den Markt beobachtet, aber keine gezielten Kontrollen durchführt (Boll 2003).

5.1.3 Vergleich der Immissionen in Funk-Netzwerken mit anderen HF-Immissionen

In Tabelle 5.2 sind die maximalen Leistungsflussdichten, die nach den vorliegenden Messergebnissen in typischen Expositionsabständen von einer Funk-Netzwerkkarte bzw. einer WLAN-Antenne am Endgerät und in 2 m Abstand von einem Access Point erreicht werden, den Leistungsflussdichten gegenübergestellt, die von DECT-Telefonen und ihren Basisstationen, Mobilfunk-Handys und Mobilfunk-Basisstationen in der Umgebung des Immissionsorts verursacht werden

Tabelle 5.2

Leistungsflussdichten von Anlagen und Geräten in Wohnungen und Büros bzw. von Mobilfunkanlagen in der Umgebung (Peak-Werte)

Gerät/Anlage	Frequenz (-bereich) [MHz]	Abstand [m]	Leistungsflussdichte [W/m ²]
Funk-Netzwerkkarte	2400,0 bis 2483,5	0,5	0,1
Access Point	2400,0 bis 2483,5	2,0	0,01
DECT-Telefon ¹	1880 bis 1900	0,1	1,0
DECT-Basisstation ¹	1880 bis 1900	1,0	0,02
Mobilfunk-Handy, D-Netz ²	890 bis 915	0,1	12,5 bis 42,5
Mobilfunk-Basisstation ³	935 bis 960 1805 bis 1880	versch.	0,00001 bis 0,1

¹ Neitzke & Voigt 2003 (aus Messungen bei größeren Abständen extrapoliert)

² Neitzke & Voigt 2003, Wuschek 2003 (aus Messungen bei größeren Abständen extrapoliert)

³ Bornkessel et al. 2002, Neitzke & Voigt 2002, Neitzke et al. 2003

Die Expositionen durch Funk-Netzwerkkomponenten liegen deutlich unter denen durch Mobilfunk-Handys und DECT-Telefone, zumal letztere bei den tatsächlichen Nutzungsabständen noch höher sind als die in Tabelle 5.2 angegebenen Werte. Die Expositionen durch Funk-Netzwerkkarten können allerdings höher sein als die durch Mobilfunk- und DECT-Basisstationen.

Für Bluetooth-Endgeräte liegen keine Immissionsdaten vor. Die Leistungsflussdichten von körpernah betriebenen Endgeräten der Sendeklasse 1 dürften aber deutlich unter denen der WLAN-Endgeräte liegen, da sie mit maximal 2,5 mW senden - im Vergleich zu 100 mW bei WLAN-Komponenten. Bei Bluetooth-Endgeräten der Klasse 2 ist allerdings ebenfalls eine

Sendeleistung von maximal 100 mW möglich, was zu ähnlichen Immissionen wie bei WLAN-Endgeräten führen dürfte.

5.1.4 Immissionsminderung durch Funk-Netzwerktechnologien

Die Einrichtung von Funk-Netzwerken anstelle draht-gebundener Netzwerke führt zu einer Erhöhung der Hochfrequenzimmissionen im Abdeckungsbereich des Funk-Netzwerks. Allerdings könnten Funk-Netzwerke auch dazu beitragen, Expositionen zu verringern, da die Sendeleistung bei WLAN mit 100 mW im Vergleich mit Mobiltelefonen relativ gering ist. Die Expositionen dürften daher beim Surfen im Internet in einem WLAN-Hot Spot deutlich geringer sein als beim Zugang über UMTS. Auch bei Sprachverbindungen (Voice over WLAN) wäre theoretisch eine Expositionsminderung im Vergleich mit dem klassischen Mobiltelefon möglich.

5.2 Biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Das folgende Unterkapitel basiert auf der Auswertung des ECOLOG-Instituts von Arbeiten, die in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht wurden und den anerkannten Qualitätskriterien an wissenschaftliche Publikationen genügen (Hennies et al. 2000). Andere Arbeiten wurden nur ausnahmsweise und nur dann berücksichtigt, wenn sie den wissenschaftlichen Qualitätskriterien genügen und wichtige Hinweise zur Beurteilung der biologischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder enthalten. Vor dem Hintergrund, dass die Existenz thermischer Effekte allgemein akzeptiert ist, werden zudem vor allem Arbeiten aufgeführt, in denen Effekte und Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der von der ICNIRP (1998) angegebenen Schwellen für thermische Wirkungen (Spezifische Absorptionsrate Ganzkörperexposition: 0,08 W/kg, Spezifische Absorptionsrate Teilkörperexposition: 2 W/kg) untersucht wurden.

Hochfrequenzstrahlung umfasst den Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz. Entsprechend der Vielfalt der Emittenden, wie Mobilfunk-, Radio- und Fernsehsender, Mobiltelefone und Radaranlagen, ist auch die Charakteristik der Strahlung sehr unterschiedlich, z.B. bezüglich der Frequenz, Polarisation und Modulation. Über die Relevanz dieser Eigenschaften in Bezug auf die biologischen bzw. gesundheitlichen Effekte ist bisher keine abschließende Aussage möglich. Im Folgenden werden vor allem Arbeiten zu den Auswirkungen von Feldern im Frequenzbereich von 100 MHz bis 10 GHz ohne besondere Berücksichtigung weiterer Charakteristika ausgewertet.

Die Darstellung des Forschungsstandes zu den verschiedenen gesundheitsbezogenen Wirkungen gibt zunächst einen Überblick über entsprechende Arbeiten und geht anschließend auf einzelne Arbeiten ein, die für die Bestimmung der relevanten Expositionshöhe von Bedeutung sind. In den sich anschließenden Schlussfolgerungen werden die summarischen Bewertungen des Forschungsstandes durch das ECOLOG-Institut und die Strahlenschutz-

kommission (SSK) dargestellt. Anzumerken ist, dass die Bewertung der SSK (1999, 2001) weitgehend mit der der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (1998) übereinstimmt. Im Abschnitt 5.3 werden die vorliegenden Forschungsergebnisse in Bezug auf die für die verschiedenen Effekte relevanten Expositionshöhen ausgewertet und mit den in Abschnitt 5.1 vorgestellten Ergebnissen der Messungen der Felder in Funknetzwerken verglichen.

Während die ICNIRP nur zwei Kategorien für die wissenschaftliche Evidenz kennt, nämlich den wissenschaftlichen Nachweis, in der Definition, die auch von der SSK benutzt wird (s.u.), und den fehlenden Nachweis, setzt sich in der europäischen Grenzwert- und Vorsorgediskussion mehr und mehr eine differenziertere Bewertung durch (Neitzke et al. 2001, Rösli et al. 2003, SSK 2001, Wiedemann et al. 2000). Eine Vereinheitlichung der Klassifizierungsschemata ist bisher nicht gelungen. Im Folgenden werden deshalb auch Begriffe aus zwei Klassifizierungsschemata, nämlich dem der SSK und dem des ECOLOG-Instituts, verwendet. Die Definitionen der Kategorien zur Klassifizierung der wissenschaftlichen Evidenz sind in Tabelle 5.3 zusammengestellt. Auf die zum Teil unterschiedlichen Bewertungen durch SSK und ECOLOG-Institut wird im Folgenden jeweils hingewiesen.

Tabelle 5.3
Kategorien zur Klassifizierung der wissenschaftlichen Evidenz

Evidenz-Kategorien des ECOLOG-Instituts	
Nachweis	Es liegen übereinstimmende Ergebnisse identischer Untersuchungen vor.
Konsistente Hinweise	Es liegen (starke) Hinweise aus unterschiedlichen Untersuchungsansätzen zum gleichen Endpunkt vor.
Starker Hinweis	Es liegen übereinstimmende Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vor.
Hinweis	Es liegen ähnliche Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vor.
Schwacher Hinweis	Es liegen einzelne Untersuchungsergebnisse vor.
Evidenz-Kategorien der Strahlenschutzkommission	
Nachweis	Wissenschaftlich nachgewiesen ist ein Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern, wenn wissenschaftliche Studien voneinander unabhängiger Forschungsgruppen diesen Zusammenhang reproduzierbar zeigen und das wissenschaftliche Gesamtbild das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs stützt.
Wissenschaftlich begründeter Verdacht	Ein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf einen Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern liegt vor, wenn die Ergebnisse bestätigter wissenschaftlicher Untersuchungen einen Zusammenhang zeigen, aber die Gesamtheit der wissenschaftlichen Untersuchungen das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs nicht ausreichend stützt. Das Ausmaß des wissenschaftlichen Verdachts richtet sich nach der Anzahl und der Konsistenz der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeiten.
Wissenschaftlicher Hinweis	Ein wissenschaftlicher Hinweis liegt vor, wenn einzelne Untersuchungen, die auf einen Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern hinweisen, nicht durch voneinander unabhängige Untersuchungen bestätigt sind und durch das wissenschaftliche Gesamtbild nicht gestützt werden.

5.2.1 Kanzerogene Wirkung

Stand der Forschung

Es liegen mehrere *epidemiologische Studien* vor, bei denen ein erhöhtes Leukämie- und Lymphomrisiko von Personengruppen mit Expositionen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern festgestellt wurde (s. z.B. Dolk et al. 1997 a, Hocking et al. 1996, Michelozzi et al. 2002). Hinweise auf ein kanzerogenes Potential von hochfrequenten Feldern geben auch epidemiologische Untersuchungen, die eine Zunahme von Tumoren im Kopfbereich im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen feststellten (s. z.B. Auvinen 2002, Hardell et al. 2002, 2003 a, b, Muscat et al. 2002, Stang et al. 2001, s. jedoch auch Inskip et al. 2001, Muscat et al. 2000, Warren 2003), sowie Arbeiten, die erhöhte Risiken für unterschiedliche Krebserkrankungen, wie Hodenkrebs (Davis & Mostofi 1993), Melanome (Hallberg und Johansson 2002), Hirntumoren (Grayson 1996) oder Brustkrebs (Törnqvist et al. 1991) infolge von Hochfrequenzbelastungen am Arbeitsplätzen ermittelten. Es gibt jedoch auch Arbeiten, die diese Befunde nicht bestätigen (s. z.B. Cook et al. 2003, Dolk et al. 1997 b, Johansen et al. 2001, Morgan et al. 2000).

Der epidemiologischen Studie von Hocking et al. (1996) zufolge wurden Zunahmen der Leukämie-Inzidenz in allen Altersgruppen und der Leukämie-Mortalität bei Kindern (0-14 Jahre) in einer Bevölkerungsgruppe festgestellt, deren Exposition im Mittel bei $0,04 \text{ W/m}^2$ lag, mit Minimalwerten von $0,01 \text{ W/m}^2$ und Maximalwerten von $0,4 \text{ W/m}^2$. In den meisten anderen epidemiologischen Studien wurden die Expositionen lediglich anhand von Abständen zu Sendeanlagen, geschätzten Expositionen an Arbeitsplätzen oder Nutzungsdauern von emittierenden Geräten klassifiziert. Die überwiegende Mehrzahl dieser Studien deutet ebenfalls auf ein erhöhtes Krebsrisiko durch Hochfrequenz-Expositionen, es fehlen jedoch meist Angaben zu den relevanten Intensitäten.

Weitere Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder geben *tierexperimentelle Arbeiten* (s. z.B. Chou et al. 1992, Repacholi et al. 1997, Vijayalaxmi et al. 1997a/1998, s. jedoch auch Salford et al. 1993 a). Hier finden sich auch Hinweise auf tumorpromovierende Effekte bei präinitiierten Tumoren (s. z.B. Szmigielski et al. 1982, s. jedoch auch Wu et al. 1994).

Von Repacholi et al. (1997) wurde bei transgenen Mäusen, die Feldern mit Frequenzen und Modulationen des GSM 900 Mobilfunks und Leistungsflussdichten von $2,6$ bis 13 W/m^2 ausgesetzt waren, eine Zunahme von Lymphdrüsenkrebs festgestellt. Die mittleren Ganzkörper-SAR-Werte lagen zwischen $0,13$ und $1,4 \text{ W/kg}$. Da sich die Versuchstiere frei bewegen konnten, war der momentane SAR-Wert nicht nur von ihrem Körpergewicht abhängig, sondern auch von ihrer jeweiligen Ausrichtung zum elektromagnetischen Feld. Kurzzeitig konnten daher SAR-Werte von minimal $0,008$ bis maximal $4,2 \text{ W/kg}$ auftreten. Die von Utteridge et al. (2002) durchgeführte Replikationsstudie, die zu anderen Ergebnissen kommt, hat aufgrund erheblicher methodischer Mängel nur eine geringe Aussagekraft (s. Goldstein et al. 2003 a, b, Kundi 2003, Lerchl 2003).

Da bei Belastungen, die zu gentoxischen Wirkungen führen, eine kanzerogene Wirkung nicht ausgeschlossen werden kann, sind bei der Bewertung des kanzerogenen Potenzials hochfrequenter elektromagnetischer Felder auch die Ergebnisse zu Veränderungen am Erbgut zu berücksichtigen. Diese Ergebnisse hat das ECOLOG-Institut bereits im Jahr 2000 als konsistente Hinweise gewertet (s. 5.2.7a). Auch die Beeinflussungen der Genexpression und insbesondere die Aktivierung von Stress-Proteinen (s. 5.2.7b) sind zu berücksichtigen, da diese Effekte eine Rolle bei der Kanzerogenese spielen können. Allerdings kann man aus dem Auftreten der genannten Effekte nicht unmittelbar auf eine Zunahme des Krebsrisikos schließen.

Schlussfolgerung

Basierend auf den epidemiologischen Untersuchungen zum Krebsrisiko in hochfrequenz-exponierten Bevölkerungsgruppen und auf Untersuchungen zur Krebsrate bei hochfrequenz-exponierten Versuchstieren ist nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand eine Zunahme des Krebsrisikos bei Leistungsflussdichten deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte nicht ausgeschlossen. Aufgrund des noch nicht geklärten Einflusses von gentoxischen Wirkungen sowie Veränderungen der Genexpression bzw. Enzymaktivität auf das Krebsrisiko wurden die entsprechenden Ergebnisse bei den o.g. Werten nicht berücksichtigt.

Das ECOLOG-Institut bewertet die Ergebnisse der epidemiologischen Studien als Hinweise auf ein erhöhtes Leukämie- und Lymphomrisiko durch Hochfrequenz-Exposition. Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung werden auch in den Ergebnissen einiger Tierexperimente gesehen.

Die Strahlenschutzkommission sieht nur in den vorliegenden In vitro-Untersuchungen an Zellen sowie in Tierexperimenten (Lymphome) bei SAR-Teilkörperwerten von 2 W/kg Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung. Die Ergebnisse von In vivo-Untersuchungen zur Krebsentstehung und -promotion sowie von epidemiologischen Untersuchungen bedeuten dagegen aus Sicht der SSK keine Hinweise auf eine krebsauslösende oder -fördernde Wirkung.

5.2.2 Beeinflussung des Immunsystems

Stand der Forschung

In einigen In vivo-Experimenten an Hamstern, Mäusen und Ratten wurden Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Immunsystem festgestellt (s. Zusammenfassung in Hennies et al. 2000). Es liegen aber nur wenige Ergebnisse aus Untersuchungen vor, in denen mit Intensitäten gearbeitet wurde, bei denen eine thermische Wirkung ausgeschlossen werden kann (s. z.B. Fesenko et al. 1999, Nakamura et al. 1997, Novoselova et al. 1999).

Fesenko et al. (1999) und Novoselova et al. (1999) stellten in Experimenten an Ratten, die allerdings Frequenzen von 8,15 bis 18 GHz ausgesetzt waren, Einflüsse auf das Immunsys-

tem bei mittleren Leistungsflussdichten von $0,01 \text{ W/m}^2$ (SAR-Werte von $0,002$ bis $0,005 \text{ W/kg}$) fest.

Biologische Effekte, die für das Immunsystem von Bedeutung sind, wurden auch in einigen In vitro-Experimenten nachgewiesen, die vor allem mit Lymphozyten durchgeführt wurden (s. z.B. Dabrowski et al. 2003, Lyle et al. 1983, Maes et al. 1995, 1996, s. jedoch auch: Chagnaud & Veyret 1999).

Schlussfolgerung

Aufgrund der Ergebnisse aus Tierexperimenten erscheinen Störungen des Immunsystems bei Leistungsflussdichten unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte nicht ausgeschlossen.

Das ECOLOG-Institut wertet die derzeit bekannten Untersuchungsergebnisse als Hinweise auf mögliche Beeinträchtigungen des Immunsystems.

Die SSK bewertet die vorliegenden Untersuchungsergebnisse als Hinweise auf Wirkungen unterhalb des Basisgrenzwerts von $0,08 \text{ W/kg}$.

5.2.3 Beeinflussung der Fortpflanzung

Stand der Forschung

Es liegen wenige epidemiologische Untersuchungen vor, in denen Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Fortpflanzungsfähigkeit, den Schwangerschaftsverlauf und die Embryonalentwicklung festgestellt wurden (s.a. Zusammenfassung in Hennies et al. 2000). Die in der Regel beruflich bedingten Expositionen wurden dabei allerdings nicht quantifiziert. Sie dürften jedoch deutlich über denen gelegen haben, die beim Einsatz von WLAN vorkommen können.

Untersucht wurden: Verminderte Fertilität (s. z.B. Lancranjan et al. 1975, Weyandt et al. 1996), irreguläre Schwangerschaftsverläufe (s. z.B. Larsen et al. 1991 a, Ouellet-Hellstrom und Stewart 1993) sowie Schäden und/oder Auffälligkeiten bei den Kindern (s. z.B. Larsen 1991, Lerman et al. 2001).

Die meisten experimentellen Untersuchungen zu Infertilität und teratogenen Wirkungen wurden bei relativ hohen Intensitäten durchgeführt (s. Zusammenfassung in Hennies et al. 2000), so dass thermische Effekte nicht ausgeschlossen werden können. Untersucht wurden Auswirkungen auf die Fertilität beim Tier (s. z.B. Magras & Xenos 1997) sowie Schäden und/oder Auffälligkeiten beim Nachwuchs (s. z.B. Cobb et al. 2000, Dasdag et al. 1999, 2000, s. jedoch auch: Bornhausen & Scheingraber 2000).

Magras und Xenos (1997) berichten zwar über eine deutliche Abnahme der Fortpflanzungsfähigkeit von Mäusen bei sehr niedrigen Leistungsflussdichten ($0,00168 - 0,01053 \text{ W/m}^2$), diese Untersuchung weist jedoch erhebliche methodische Schwächen auf, so dass eine Wiederholung des Experiments unbedingt erforderlich ist.

Schlussfolgerung

Einzelne Untersuchungen am Tier deuten auf Schäden bzw. Auffälligkeiten bei den Nachkommen bei SAR-Werten in der Größenordnung der gesetzlichen Grenzwerte.

Belastbare Hinweise auf Fortpflanzungsstörungen beim Menschen wie beim Tier gibt es bisher nur für Expositionen oberhalb der gültigen Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung.

Das ECOLOG-Institut bewertet die Ergebnisse der vorliegenden wissenschaftlichen Studien als Hinweise auf eine Verminderung der Fertilität sowie eine Zunahme irregulärer Schwangerschaftsverläufe und Schäden bzw. Auffälligkeiten bei Kindern von Frauen mit beruflich bedingten Hochfrequenz-Expositionen.

Die Strahlenschutzkommission sieht in den vorliegenden Forschungsergebnissen keine Hinweise auf Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder mit Intensitäten unterhalb der geltenden Grenzwerte auf die Fortpflanzung.

5.2.4 Beeinflussung des Nervensystems

Stand der Forschung

Es liegt eine Reihe von Untersuchungen zur *Veränderung der Gehirnaktivität* vor. Festgestellt wurden u.a. Veränderungen im EEG im Schlafzustand (Borbély et al. 1999, Huber et al. 2000 u. 2003, Lebedeva et al. 2001, s. jedoch auch: Wagner et al. 1998, 2000). Beobachtet wurde vor allem eine höhere Aktivität im alpha-Band. Die Veränderungen des Schlaf-EEG waren verbunden mit Veränderungen bei den Schlafphasen.

Auch die spontanen Potenziale im Wachzustand zeigten Veränderungen (Croft et al. 2002, Lebedeva et al. 2000, Reiser et al. 1995, s. jedoch auch: Hietanen et al. 2000). In zahlreichen Arbeiten wurden zudem Veränderungen der ereignisbezogenen Hirnpotenziale, die als Reaktion auf audio- oder visuelle Reize oder bei kognitiven Tests gemessen werden, beschrieben. Es zeigten sich erhöhte Leistungsdichten, die wiederum vor allem das alpha-Band betrafen (Croft et al. 2002, Jech et al. 2001, Koivisto 2000 a, b, Krause et al. 2000 a, b, s. jedoch auch: Koivisto et al. 2001, Lee et al. 2001).

Huber et al. (2002) beobachteten nach 30-minütiger Exposition gegenüber pulsmodulierten Hochfrequenzfeldern (Trägerfrequenz 900 MHz, Spezifische Absorptionsrate 1 W/kg) auf der Expositionsseite Beeinflussungen der Durchblutung von Regionen der Gehirnrinde, die eine

wichtige Funktion für das Arbeitsgedächtnis haben, sowie Veränderungen der Gehirnaktivität im Wachzustand und des Schlaf-EEG während des Non-REM-Schlafs.

In dem Experiment von Jech et al. (2001) wurden Veränderungen der Gehirnaktivität bereits bei einem SAR-Wert von 0,06 W/kg festgestellt.

Die gesundheitliche Relevanz von Veränderungen der Gehirnaktivität im Wach- und Schlafzustand ist unklar. Auch die Auswirkungen regelmäßiger Beeinflussungen der Gehirnaktivität infolge häufiger oder permanenter Expositionen, wie sie bei der weiteren Verbreitung von Wireless Local Area Networks zu erwarten sind, sind bisher nicht bekannt.

Auswirkungen auf *kognitive Funktionen* am Menschen, die sich z.B. in Veränderungen der Informationsverarbeitung und der Reaktionszeiten äußern, konnten ebenfalls nachgewiesen werden (s. z.B. Edelstyn & Oldershaw 2002, Jech et al. 2001, Koivisto et al. 2000 a, b, Lass et al. 2002, Preece et al. 1999, Zwamborn et al. 2003, s. jedoch auch: Haarala 2003).

Zwamborn et al. (2003) stellten bei Versuchspersonen für den Frequenzbereich von 800 MHz bis 2100 MHz bereits bei SAR-Werten von 0,000064 W/kg bis 0,000078 W/kg eine Beeinflussung der kognitiven Leistungen fest.

Auch in *Tierversuchen* zeigten sich Beeinflussungen der Gehirnaktivität (s. z.B. Raslear et al. 1993, Thuróczy et al. 1994, Vorobyov et al. 1997) sowie der Lern- bzw. Leistungsfähigkeit und des Verhaltens (s. z.B. Löscher & Käs 1998, Mickley et al. 1994, Mickley & Cobb 1998, Raslear et al. 1993, Wang & Lai 2000, s. jedoch auch: Dubreuil et al. 2002, Sienkiewicz et al. 2000).

In Experimenten von Beason und Semm (2002) wurden bei einem SAR-Wert von 0,05 W/kg Veränderungen der neuronalen Aktivität bei den Versuchstieren festgestellt. Ähnliche Effekte zeigten sich *in vitro* an Hippocampus-Präparaten von Ratten (Tattersall et al. 2001). Es ist noch zu untersuchen, ob die Ergebnisse auf andere Säugetiere und den Menschen übertragen werden können. Die Untersuchungsergebnisse sind jedoch als Hinweise auf eine potenzielle Beeinflussung des Nervensystems auch des Menschen zu werten. Die gesundheitlichen Auswirkungen solcher Beeinflussungen sind unklar. Tattersall et al. (2001) gehen jedoch davon aus, dass Felder, welche die Aktivität von Neuronen im Gehirn *in vitro* beeinflussen, auch Veränderungen des Verhaltens *in vivo* verursachen können und verweisen auf entsprechende Experimente.

Ein weiterer in diesem Zusammenhang relevanter Forschungsbereich sind die Untersuchungen zur Durchlässigkeit der *Blut-Hirn-Schranke*. Die Blut-Hirn-Schranke wirkt als selektive Sperre für schädliche Stoffe zwischen Blut und Gehirn. Es ist bekannt, dass ihre Durchlässigkeit durch Giftstoffe, Fieber und hohe Temperaturen sowie im Bereich mancher Hirntumoren gesteigert sein kann. Erhöhte Durchlässigkeiten der Blut-Hirn-Schranke für Fremdstoffe bei sub-thermischen Intensitäten wurden u.a. in den folgenden Untersuchungen nachgewiesen:

Persson et al. 1992, 1997, Salford et al. 1993 b, 1994, 2003, s. jedoch auch: Fritze et al. 1997, Tsurita et al. 2000.

Salford et al. (2003) wiesen in Experimenten an Ratten nach, dass bereits SAR-Werte von 0,002 W/kg (915 MHz, pulsmoduliert 217 Hz) eine höhere Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Albumin bewirken. Zudem beobachteten sie eine deutliche und statistisch signifikante Zunahme der Schäden an Nervenzellen mit wachsender Bestrahlungsintensität. Die neuronalen Schäden werden von den Autoren auf das Eindringen von Albumin in das Gehirn zurückgeführt. Andere Autoren (Oscar & Hawkins 1977, Persson et al. 1997) gehen davon aus, dass bei einer Zunahme der Durchlässigkeit für das relativ große Albumin-Molekül die Blut-Hirn-Schranke auch für kleinere und möglicherweise toxische Moleküle durchlässiger wird.

Die neuropathologische Relevanz einer erhöhten Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke wird von einigen Autoren als nicht sehr hoch eingeschätzt (s. z.B. Hossmann & Hermann 2003), da sie verglichen mit den Auswirkungen anderer Noxen gering sei und relativ schnell wieder verschwinde. Problematisch könnte aber eine chronische Störung als Folge dauernder oder sehr häufiger Expositionen sein.

Schlussfolgerung

Insgesamt können die Beeinflussungen der Gehirnaktivität und der kognitiven Funktionen beim Menschen bei SAR-Werten 0,5 W/kg als belegt gelten. In einzelnen Experimenten wurden Effekte schon bei einem Zehntel bis zu einem Zehntausendstel dieses Wertes nachgewiesen (s. z.B. Jech et al. 2001, Zwamborn et al. 2003).

In der ECOLOG-Klassifizierung werden die vorliegenden Forschungsergebnisse aus Experimenten am Menschen und am Tier als konsistente Hinweise auf Beeinflussungen der Gehirnfunktionen und der kognitiven Funktionen bei Intensitäten unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte bewertet. Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen werden vom ECOLOG-Institut im Hinblick auf die Veränderungen der Gehirnaktivitäten während des Schlafs kritischer bewertet als von der SSK. Auch wenn in einzelnen Experimenten Hochfrequenzexpositionen zu einer Verbesserung von Leistungsparametern, z.B. der Reaktionszeit (vgl. Preece et al. 1999), führen, bewertet das ECOLOG-Institut die Gesamtheit der Ergebnisse zu Beeinflussungen kognitiver Funktionen kritisch.

Die Strahlenschutzkommission wertet die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zu Veränderungen des Schlaf-EEG beim Menschen, zu Beeinflussungen kognitiver Funktionen und zu Verhaltensänderungen bei exponierten Versuchstieren als wissenschaftliche Hinweise auf eine mögliche Beeinflussung physiologischer Prozesse bei Mensch und Tier. Die Ergebnisse zur Durchblutung des Gehirns und zu neuronalen Aktivitäten unter Hochfrequenzexposition werden von der SSK nicht bewertet.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke werden vom ECOLOG-Institut in Übereinstimmung mit der Klassifizierung durch die SSK als wissenschaftliche Hinweise auf eine physiologische Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder gewertet.

5.2.5 Befindlichkeitsstörungen und Elektrosensibilität

Stand der Forschung

Befindlichkeitsstörungen, wie Müdigkeit, Schwindelgefühl, Kopfschmerzen, Hautbrennen sowie veränderte Schlafqualität, bei hochfrequenzexponierten Personen wurden u.a. in den folgenden Untersuchungen festgestellt: Altpeter et al. 1995, Frick et al. 2002, Hutter et al. 2002, Kimata 2002, Kundi 2001, Navarro et al. 2003, Oftedal et al. 2000, Sandström et al. 2001, Santini et al. 2002 a, b, 2003 a, b, Wilén et al. 2003, Zhao et al. 1994, Zwamborn et al. 2003, s. jedoch auch: Herr et al. 2003.

In der Nachbarschaft von Mobilfunk-Basisstationen ermittelten Santini et al. (2003 b) bis zu einem Abstand von 300 m ein signifikant höheres Auftreten von Beschwerden, wobei einige der Beschwerden nur in unmittelbarer Nachbarschaft (bis zu 10 m Abstand) auftraten. Angaben zur Expositionshöhe liegen nicht vor.

In einer Pilotstudie in Österreich (s. Kundi 2001, Hutter et al. 2002) wurden in den Wohnungen von Anwohnern von Mobilfunkanlagen Werte zwischen 0,0001 und 0,025 W/m² für die Gesamtheit aller Hochfrequenzfelder und zwischen 0,00004 und 0,0074 W/m² für den Mobilfunk gemessen. Für Personen mit Expositionen über 0,002 W/m² ergab sich eine Zunahme der Stärke von Herz-Kreislauf-Beschwerden. Diese Arbeit deutet zudem auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung hin.

Navarro et al. (2003) ermittelten in den Wohnungen der Anwohner von Mobilfunkanlagen Werte zwischen 0,1 und 0,01 W/m² und stellten ebenfalls eine mögliche Dosisabhängigkeit der Stärke der Beschwerden fest.

Wilén et al. (2003) ziehen aus den Ergebnissen ihrer epidemiologischen Untersuchung den Schluss, dass SAR-Werte von mehr als 0,5 W/kg und lange Expositionszeiten das Auftreten verschiedener subjektiver Symptome begünstigen.

Zwamborn et al. (2003) stellten bei Versuchspersonen für den Frequenzbereich von 800 MHz bis 2100 MHz bereits bei SAR-Werten von 0,000064 bis 0,000078 W/kg neben der Beeinflussung der kognitiven Leistungen auch Störungen des Wohlbefindens fest.

Für Übersichten zum Auftreten und den Symptomen der elektromagnetischen Hypersensibilität s. Bergqvist & Vogel 1997, Germann 2002, Hillert et al. 2002, Levallois et al. 2002, Ruppe et al. 1999, Ziskin 2002, s. jedoch auch: Hietanen et al. 2002.

In den Untersuchungen zur Elektrosensibilität bzw. zur elektromagnetischen Hypersensitivität fehlen quantitative Angaben zur Exposition, mit Ausnahme weniger Laboruntersuchungen. Letztere lieferten für den Hochfrequenzbereich bisher allerdings noch keine auswertbaren Ergebnisse.

Schlussfolgerung

Das ECOLOG-Institut kommt zu dem Schluss, dass es deutliche Hinweise für das Auftreten von Befindlichkeitsstörungen als Folge von häufigen oder lang andauernden Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder gibt. Hierbei werden die vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse bei Expositionen von 0,5 W/kg und mehr, als starke Hinweise auf eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens bei einigen Personengruppen bewertet.

Hinweise auf Auswirkungen von niedrigeren Intensitäten geben bisher zwei Studien (Zwamborn et al. 2003, Kundi 2001, Hutter et al. 2002), von denen eine eine Pilotstudie ist (s. Kundi 2001, Hutter et al. 2002). Unter Beachtung dieser Studien muss davon ausgegangen werden, dass bestimmte Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen bei Expositionen von 0,002 W/m² nicht auszuschließen sind.

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der Veränderungen der Tiefschlaf- und REM-Phasen des Schlafes werden vom ECOLOG-Institut kritischer bewertet als von der SSK.

Es ist beim derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand nicht möglich, den Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Expositionen und elektrosensiblen Reaktionen zu bewerten, Schwellen für diese Reaktionen anzugeben oder gar in Empfehlungen für Vorsorgewerte umzusetzen.

In der Stellungnahme der Strahlenschutzkommission werden lediglich die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zu Veränderungen im Schlaf-EEG bei exponierten freiwilligen Probanden bewertet. Die SSK stuft diese Ergebnisse als wissenschaftliche Hinweise auf eine Beeinflussung ein. Auf das Problem der Elektrosensibilität geht die SSK nur im Zusammenhang mit niederfrequenten Feldern ein.

5.2.6 Beeinflussung des Hormonsystems

Stand der Forschung

Die meisten das Hormonsystem betreffenden Arbeiten wurden zum Melatonin- und zum Stresshormon-Haushalt durchgeführt. Epidemiologische Untersuchungen am Menschen, sowie experimentelle Untersuchungen an Menschen und Tieren zu Melatonin untersuchen vor allem die Beeinflussung durch eine Handy-Exposition (s. z.B. Burch et al. 2002, Jarupat et al. 2003, s. jedoch auch: Heikkinen et al. 1999).

In der Arbeit von Jarupat et al. (2003) führten SAR-Werte von 0,453-0,680 W/kg zu einer statistisch signifikanten Abnahme der nächtlichen Melatonin-Sekretion.

Auswirkungen auf den Stresshormon-Haushalt des Menschen wurden u.a. in den folgenden Untersuchungen nachgewiesen: De Seze et al. 1998, Mann et al. 1998, Vangelova et al. 2002, s. jedoch auch: Braune et al. 2002, Radon et al. 2001.

Mann et al. (1998) wiesen Auswirkungen elektromagnetischer Felder mit einer Frequenz von 900 MHz und der 217 Hz-Pulsmodulation des GSM-Mobilfunks auf die Ausschüttung von Stresshormonen beim Menschen für Leistungsflussdichten von 0,2 W/m² nach.

Auch in tierexperimentellen Studien wurden Auswirkungen auf den Stresshormon-Haushalt nachgewiesen (s. z.B. Chou et al. 1992, Imaida et al. 1998 a, b, s. jedoch auch: Stagg et al. 2001, Toler et al. 1988, Vollrath et al. 1997).

Imaida et al. (1998 a) stellten bei Ratten eine vermehrte Ausschüttung von Stresshormonen durch ein 929 MHz-Feld bei mittleren Ganzkörper-SAR-Werten von 0,58 bis 0,8 W/kg fest.

Schlussfolgerung

Das ECOLOG-Institut kommt nach der Auswertung der Untersuchungen an Mensch und Tier zu dem Schluss, dass es zwar nur schwache Hinweise auf Störungen des Melatonin-Haushalts aber konsistente Hinweise auf Beeinflussungen des Stresshormon-Haushalts durch hochfrequente elektromagnetische Felder mit Intensitäten unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte gibt.

Die Strahlenschutzkommission sieht in den vorliegenden Untersuchungsergebnissen noch keine relevanten Hinweise auf eine Beeinflussung des Hormonhaushalts.

5.2.7 Beeinflussung zellulärer Eigenschaften und Prozesse

Es gibt ein breites Spektrum an zellulären Eigenschaften und Prozessen, deren Beeinflussung durch hochfrequente elektromagnetische Felder untersucht wurde. Im Folgenden werden nur solche betrachtet, für die Ergebnisse aus einer größeren Zahl von Untersuchungen vorliegen. Hierzu zählen:

- Gentoxische Effekte
- Veränderungen bei der Genexpression, insbesondere bei der Aktivierung von (Stress-) Proteinen
- Auswirkungen auf die Zellproliferation
- Beeinflussung der Steuerung zellulärer Prozesse insbesondere durch Veränderungen im Calcium-Ionen-Haushalt.

5.2.7.1 **Gentoxische Effekte**

Stand der Forschung

Als gentoxische Wirkungen wurden u.a. untersucht:

- DNA-Strangbrüche
- Chromosomen-Aberrationen
- Mikrokernbildung
- Zell-Transformationen (Umwandlung normaler in maligne Zellen).

Eine mögliche Folge genetischer Defekte kann die Entstehung eines Tumors sein (s. 5.2.1). Aus der Beobachtung gentoxischer Effekte, insbesondere wenn diese nur in In vitro-Untersuchungen festgestellt werden, kann aber nicht auf eine zwangsläufige Erhöhung des Krebsrisikos geschlossen werden. Lebende Organismen verfügen über eine Reihe von Reparaturmechanismen und Schutzfunktionen, mit denen Schäden an der DNA behoben oder 'entartete' Zellen neutralisiert werden können. In der chemischen Toxikologie werden Erhöhungen der Mutationsrate, wie auch der Chromosomenaberrations- und der Mikrokernbildungsrate als Hinweise auf eine potenzielle kanzerogene Wirkung gewertet (Görlitz 2001).

Im Zusammenhang mit Hochfrequenzexpositionen ergab sich bisher Folgendes:

- Zunahme von *Chromosomenschäden* bzw. eine verstärkte Mikrokern-Bildung bei beruflich exponierten Menschen (s. z.B. Garaj-Vrhovac 1999, Lalic et al. 2001, Maes et al. 1995), in Tierexperimenten (s. z.B. Balode 1996, Trosic et al. 2002, Zhang et al. 2002, s. jedoch auch: Saunders et al. 1988, Vijayalaxmi et al. 1997 a/1998 (Erratum), 1999, 2001 c, 2003), in vitro bei primären oder permanenten Zellkulturen (s. z.B. Fucic et al. 1992, Maes et al. 1993, 1995, 1996, 1997, Mashevich et al. 2003, Tice et al. 2002, s. jedoch auch: Antonopoulos et al. 1997, Gos et al. 2000, Maes et al. 2001, Roti Roti et al. 2001, Vijayalaxmi et al. 1997 b, 1999, 2001 a, b);
- Hinweise auf *DNA-Strangbrüche* bei In vivo-Untersuchungen (s. z.B. Lai & Singh 1995, 1996, 1997, Lai et al. 1997, Sarkar et al. 1994, s. jedoch auch: Malyapa et al. 1998) und bei In vitro-Tests (s. z.B. Sagripanti & Swicord 1986, s. jedoch auch: Malyapa et al. 1997 a, b, McNamee et al. 2002 a, b, 2003, Miyakoshi et al. 2002, Vijayalaxmi et al. 2000);
- Beeinflussungen der *Zell-Transformation* (s. z.B. Balcer-Kubiczek & Harrison 1991, s. jedoch auch: Roti Roti et al. 2001).

Vijayalaxmi et al. (1997 a/1998) ermittelten bei in vivo-Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern mit einer Frequenz von 2450 MHz und einem SAR-Wert von 1 W/kg eine statistisch signifikante Zunahme der Mikrokernbildung bei Mäusen.

In einer Freiland-Untersuchung an Rindern (Balode 1996) wurde eine Zunahme der Mikrokern-Rate bei mittleren Leistungsflussdichten von 3,2 W/m² beobachtet.

Von Lai und Singh (1995) wurde eine Zunahme der DNA-Strangbrüche bei einem SAR-Wert von 0,6 W/kg festgestellt.

Erste Untersuchungsergebnisse des derzeit laufenden EU-Forschungsprogramms REFLEX unterstützen den Verdacht nicht-thermischer gentoxischer Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Adlkofer und Dertinger 2002, Adlkofer 2003).

Schlussfolgerung

In verschiedenen experimentellen Arbeiten wurde eine Zunahme von Chromosomen-Schäden, der Mikrokern-Bildungsrate und von DNA-Strangbrüchen bei SAR-Werten zwischen 0,5 und 1,0 W/kg festgestellt.

Das ECOLOG-Institut bewertet die vorliegenden Ergebnisse von Studien in exponierten Bevölkerungsgruppen, von In vivo-Untersuchungen an Säugetieren und In vitro-Untersuchungen zu Chromosomenaberrationen und zur Mikrokernbildung als konsistente Hinweise auf ein gentoxisches Potential hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei nicht-thermischen Intensitäten. Bisher gibt es allerdings nur sehr schwache Hinweise auf gentoxische Wirkungen bei Leistungsflussdichten unterhalb der geltenden Grenzwerte.

Die Strahlenschutzkommission bewertet die Ergebnisse der bis Mitte 2001 vorliegenden In vitro-Untersuchungen an krebsrelevanten Modellen als Hinweise auf eine krebsbeeinflussende Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei Leistungsflussdichten, die zu SAR-Werten in der Größenordnung des Teilkörper-Basisgrenzwerts von 2,0 W/kg führen.

5.2.7.2 Beeinflussung der Gen-Expression und Aktivierung von Hitzeschock-Proteinen

Stand der Forschung

Unterschiedliche Genprodukte helfen Zellen, auf Stress durch physikalische oder chemische Noxen zu reagieren. Einflüsse auf die Expression verschiedener Gene wurden in den folgenden Arbeiten nachgewiesen: Dutta et al. 1992, Fritze et al. 1997, Goswami et al. 1999, Pacini et al. 2002, Paulraj & Behari 2002, s. jedoch auch: Chagnaud & Veyret 1999, Li et al. 1999.

Mit der Messung der Niveaus von Stressproteinen kann zum einen direkt nachgewiesen werden, ob Zellen Stress ausgesetzt waren, zum anderen kann anhand eines Anstiegs einiger dieser Proteine (z.B. TP53) indirekt auf DNA-Schäden geschlossen werden (Li et al. 1999). Hitzeschock-Proteine spielen eine wichtige Rolle bei der Regulierung zellulärer Prozesse, deren Störung im Zusammenhang mit der Entwicklung von Krebs bedeutsam ist, wie die Vermehrungsrate oder die Differenzierung von Zellen. Für die meisten Klassen von Tumoren werden daher auch veränderte Ausbildungen von Hitzeschock-Proteinen beobachtet. Ein hohes Niveau an Hitzeschock-Proteinen korreliert zudem mit einem schnelleren Fortschreiten der Erkrankung. Die Ergebnisse einiger Experimente deuten darauf hin, dass der Zusammenhang zwischen den Hitzeschock-Proteinen und der Onkogenese nicht nur korrelativ son-

dern kausal ist: Hitzeschock-Proteine sind bei der Transformation von Zellen in maligne Phänotypen wirksam, sie behindern das Absterben geschädigter Zellen, und sie können das Tumorbildungspotential von Krebszellen erhöhen, indem sie diese resistent gegen die Abtötung durch das Immunsystem machen, sie verstärken die Metastasierung und erhöhen die Widerstandskraft von Tumorzellen gegen chemotherapeutische Mittel (French et al. 2000). Wenn eine chronische Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder zu einer verstärkten Aktivierung von Hitzeschock-Proteinen führt, wie es nach den Ergebnissen einiger Experimente der Fall zu sein scheint, kann dies möglicherweise die Anfälligkeit für Krebs erhöhen (French et al. 2000).

Eine verstärkte Aktivierung von Hitzeschock-Proteinen bei nicht-thermischen Intensitäten wurde in mehreren Untersuchungen beobachtet (s. z.B. de Pomerai et al. 2000, 2002, Fritze et al. 1997, Kwee et al. 2001, Leszczynski et al. 2002, Shallom et al. 2002, s. jedoch auch: Cleary et al. 1997).

De Pomerai et al. (2000) wiesen an Nematoden nach, dass sich bei einer Frequenz von 750 MHz und einem SAR-Wert von 0,001 W/kg die Expression von Hitzeschock-Proteinen in exponierten Tieren im Vergleich zur nicht-exponierten Kontrollgruppe vervierfachte.

Diese Beobachtungen wurden im Rahmen des laufenden REFLEX-Programms bestätigt (Adlkofer & Dertinger 2002, Adlkofer 2003).

Schlussfolgerung

Eine verstärkte Aktivierung von Hitzeschock-Proteinen wurde bei SAR-Werten von 0,001 W/kg festgestellt).

Das ECOLOG-Institut ordnet die vorliegenden Befunde als konsistente Hinweise auf einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gen-Expression ein.

Die bis zum Jahr 2001 vorliegenden Ergebnisse werden von der Strahlenschutzkommission als Hinweise auf eine Aktivierung krebsrelevanter Proteine gewertet.

5.2.7.3 Beeinflussung der Zellproliferation

Stand der Forschung

Noxen können auch dann eine kanzerogene Wirkung haben, wenn sie selbst keine Veränderungen an der Erbinformation verursachen, also nicht tumor-initiierend wirken können. Wenn eine Noxe das Wachstum maligner Zellen fördert, erhöht sie die Ausbreitungstendenz und den Malignitätsgrad eines Tumors. Je stärker sich bösartige Zellen vermehren, desto weniger wirksam sind körpereigene Schutzmechanismen. Untersuchungen zur Zell-Vermehrung (Proliferation) können daher Hinweise auf ein kanzerogenes Potential einer Noxe geben.

Eine verstärkte Zellproliferation bei nicht-thermischen Leistungsflussdichten wurde in den folgenden Untersuchungen festgestellt: Cleary et al. 1990 a, b, Grospietsch et al. 1995, Kwee & Raskmark 1998, 1999, Pacini et al. 2002, Stagg et al. 1997, s. jedoch auch: French et al. 1997, Gos et al. 1997, van Dorp et al. 1998.

In einzelnen Experimenten (Kwee & Raskmark 1998) wurden Effekte auch noch bei einem SAR-Wert von 0,00002 W/kg und einer Expositionszeit von 30-40 Minuten beobachtet.

In der Arbeit von Stagg et al. (1997) wurde bei Gliom-Zellen bei einem SAR-Wert von 0,0059 W/kg eine Zunahme der Zell-Proliferation festgestellt.

In der Untersuchung von French et al. (1997) wurde bei niedrigen Leistungsflussdichten dagegen eine Hemmung der Proliferation von menschlichen Astrozytom-Zellen ermittelt.

Schlussfolgerung

Eine Verstärkung der Zell-Proliferation zeigt sich ab Leistungsflussdichten von 0,1 W/m². Wenn sich die von einzelnen Autoren berichteten Effekte bestätigen, scheint dies sogar schon ab 0,001 W/m² möglich zu sein.

Vom ECOLOG-Institut werden die vorliegenden Untersuchungsergebnisse als starke Hinweise auf eine verstärkte Zell-Proliferation unter dem Einfluss sehr schwacher elektromagnetischer Felder gewertet.

Die Ergebnisse der In vitro-Untersuchungen zur Zell-Proliferation werden im Bericht der Strahlenschutzkommission nicht bewertet.

5.2.7.4 Beeinflussung des Calcium-Ionen-Haushalts

Stand der Forschung

Calcium-Ionen spielen eine zentrale Rolle bei der Steuerung zahlreicher biochemischer Prozesse in der Zelle und bei der Weiterleitung von Nervenimpulsen und ihrer Umsetzung in Aktionen von Muskelzellen. Es ist bekannt, dass toxische Umweltchemikalien Calcium-Ionen-gesteuerte Signalprozesse beeinflussen können, was zu Störungen verschiedener Zellfunktionen bis hin zum Zelltod führen kann (Kass & Orrenius 1999).

In Untersuchungen, die überwiegend in den 80er Jahren durchgeführt wurden, konnte ein Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Calcium-Ionen-Gleichgewicht in der Zelle nachgewiesen werden. Die Effekte traten allerdings nur bei gepulsten Feldern in schmalen Fenstern der Pulsfolgefrequenz auf. In neueren Experimenten mit z.T. empfindlicheren Untersuchungsmethoden konnte oftmals kein Einfluss auf den Calcium-Ionen-

Transport durch die Zellmembran festgestellt werden (s. z.B. Adey et al. 1982, Bawin et al. 1975, 1978, Blackman et al. 1980, Dutta et al. 1984, 1989, Lin-Liu & Adey 1982, Wolke et al. 1996, s. jedoch auch: Cranfield et al. 2001, Linz et al. 1999, Merritt et al. 1982).

In der Arbeit von Dutta et al. (1989) wurde bei SAR-Werten von 0,005 bis 0,1 W/kg eine statistisch signifikante Zunahme des Calcium-Ionen-Efflux festgestellt. Die Trägerfrequenz lag allerdings mit 147 MHz unterhalb des hier betrachteten Frequenzbereichs.

Wolke et al. (1996) haben für alle Modulationsfrequenzen eine niedrigere intrazelluläre Konzentration an Calcium-Ionen gemessen, die aber nur für die Kombination 900 MHz/50 Hz statistisch signifikant war.

Schlussfolgerung

Auswirkungen auf den Calcium-Ionen-Haushalt wurden in einzelnen In vitro-Untersuchungen bei SAR-Werten unterhalb des Basisgrenzwerts von 0,08 W/kg beobachtet.

Das ECOLOG-Institut bewertet die vorliegenden Untersuchungsbefunde als Hinweise auf eine mögliche Störung des Calcium-Ionen-Haushalts durch hochfrequente elektromagnetische Felder mit Intensitäten unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle.

Die Strahlenschutzkommission kommt zu dem Schluss, dass die neueren Experimente die älteren Ergebnisse nicht bestätigt hätten, da aber ein anderer Endpunkt untersucht wurde, seien die älteren Ergebnisse bisher auch nicht widerlegt. Die SSK bewertet die vorliegenden Untersuchungsergebnisse daher als Hinweise auf Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Calcium-Ionen-Haushalt.

5.3 Gesundheitliche Risiken durch Expositionen in Funk-Netzwerken

Als erwiesen gelten bisher nur die thermischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder, das heißt Effekte bzw. Gesundheitsschäden, die durch eine Erhöhung der Körpertemperatur bei relativ hohen Intensitäten auftreten. Bei Einhaltung der in der 26. BImSchV festgelegten Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung sind Gesundheitsschäden durch diese akuten Wirkungen weitgehend auszuschließen. Es liegen mittlerweile jedoch Ergebnisse aus epidemiologischen Studien, aus Untersuchungen an freiwilligen Probanden und Tieren sowie aus In vitro-Experimenten vor, die als Hinweise unterschiedlicher Stärke auf gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei Intensitäten deutlich unterhalb der geltenden Grenzwerte zu werten sind. Die Ergebnisse der Auswertung der wissenschaftlichen Literatur zu der Frage, bei welchen Leistungsflussdichten mit solchen Wirkungen möglicherweise gerechnet werden kann, sind in Tabelle 5.3 zusammengestellt. Dort sind zum einen für verschiedene untersuchte Effekte die Frequenzen, SAR-Werte und Leistungsflussdichten, bei denen biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder beobachtet wurden, aufgeführt. Um eine Abschätzung zu ermöglichen, ob

die jeweiligen Effekte auch bei WLAN-Expositionen (s. 5.1) auftreten können, wurde außerdem die Leistungsflussdichte S_{Ref} abgeschätzt, die notwendig wäre, um beim (erwachsenen) Menschen bei einer Frequenz von 2,4 GHz einen SAR-Wert für die Ganzkörperexposition zu erreichen, der dem niedrigsten SAR-Wert entspricht, bei dem in der jeweiligen Untersuchung ein Effekt nachgewiesen wurde:

Von der ICNIRP (1998) werden frequenzabhängige Grenzwerte für die elektrische Feldstärke E_{Grenz} bzw. die Leistungsflussdichte S_{Grenz} angegeben, die zu einem Ganzkörper-SAR-Wert von 0,08 W/kg führen (Grenzwert für den WLAN-Frequenzbereich s. Tabelle 2.1). Wenn in einem Experiment eine biologische Wirkung bei einem bestimmten Ganzkörper-SAR-Wert beobachtet wurde, kann die Leistungsflussdichte S , die beim Menschen zum gleichen Ganzkörper-SAR-Wert führt, näherungsweise nach der Formel $S = (S_{Grenz} / 0,08) * SAR$ berechnet werden.

Tabelle 5.3

Frequenzen, SAR-Werte und Leistungsflussdichten S , bei denen biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder beobachtet wurden, sowie Werte für die Leistungsflussdichte S_{Ref} , die bei einer Frequenz von 2,4 GHz zu dem niedrigsten SAR-Wert führt, bei dem der Effekt beobachtet wurde Grenzwert der 26. BImSchV bei 2,4 GHz: 9,87 W/m²

Wirkung	Frequenz [MHz]	SAR _{EXP} [W/kg]	S [W/m ²]	S _{Ref} [W/m ²]	Referenz
Kanzerogenität (Epidemiologie)	63-215		0,002		Hocking et al. 1996
Kanzerogenität (Tier)	2450	0,115-0,4		14,23	Chou et al. 1992
Kanzerogenität (Tier)	900	0,008-4,2	2,6-13	0,99	Repacholi et al. 1997
Immunsystem (Tier)	8150-18000	0,001-0,005	0,004-0,016	0,12	Fesenko et al. 1999
Immunsystem (Tier)	8150-18000		0,001		Novoselova et al. 1999
Fertilität (Epidemiologie)	3600-10000		0,1-1,0		Lancrajan et al.1975
Fertilität (Tier)	80-900	0,0019	0,00168-0,01053	0,24	Magras & Xenos 1997
Fertilität (Tier)	100-1000	0,045		5,57	Cobb et al. 2000
Nervensystem (EEG, Mensch)	900	0,14		17,33	Huber et al. 2000
Nervensystem (EEG, Mensch)	900	0,06		7,43	Jech et al. 2001
Nervensystem (EEG, Mensch)	902,4		0,6		Lebedeva et al. 2000
Nervensystem (kognitiv, Mensch)	450	0,0095	1,58	1,18	Lass et al. 2002
Nervensystem (kognitiv, Mensch)	2100	0,000064-0,000078		0,01	Zwamborn et al. 2003
Nervensystem (kognitiv, Tier)	3000	0,072		8,91	Raslear et al. 1993
Nervensystem (kognitiv, Tier)	2450	1,2	20	148,5	Wang & Lai 2000

Wirkung	Frequenz [MHz]	SAR_{EXP} [W/kg]	S [W/m²]	S_{Ref} [W/m²]	Referenz
Nervensystem (neuron. Aktivität, Tier)	900	0,05	1	6,19	Beason & Semm 2002
Nervensystem (neuron Aktivität, in vitro)	700	0,0016- 0,0044		0,20	Tattersall et al. 2001
Blut-Hirn-Schranke (Tier)	915	0,016-5,0		1,98	Salford et al. 1994
Blut-Hirn-Schranke (Tier)	915	0,002-0,2		2,48	Salford et al. 2003
Befindlichkeit (Epidemiologie)	900-1800	0,00004- 0,0074		0,01	Kundi 2001
Befindlichkeit (Mensch)	2100	0,000064- 0,000078		0,01	Zwamborn et al. 2003
Hormonsystem (Melatonin, Mensch)	1900	0,453- 0,680	25	55,69	Jarupat et al. 2003
Hormonsystem (Stresshormone, Mensch)	900		0,2		Mann et al. 1998
Hormonsystem (Stresshormone, Tier)	929,2	0,58-0,8		71,78	Imaida 1998 a
Gentoxizität (CA/MN, Mensch)	935,2	0,3-0,4		37,13	Maes et al. 1997
Gentoxizität (CA/MN, Mensch)	1250		0,1		Garaj-Vrhovac 1999
Gentoxizität (CA/MN, Tier)	2450	1		123,75	Vijayalaxmi 1997 a/1998
Gentoxizität (DNA, Tier)	2450	0,6-1,2	10-20	74,25	Lai & Singh 1995
Gentoxizität (DNA, Tier)	2450	1,18	10	146,02	Sarkar et al. 1994
Zelltransformation (in vitro)	2450	0,1-4,4		12,38	Balcer-Kubiczek & Harrison 1991
Genexpression (Tier)	2450	0,1	3,4	12,38	Paulraj & Behari 2002
Genexpression (in vitro)	836,62- 847,74	0,6		74,25	Goswami et al. 1999
Genexpression (in vitro)	902,4	0,6		74,25	Pacini et al. 2002
Genexpression (HSP, Tier)	750	0,001		0,12	de Pomerai et al. 2000
Genexpression (HSP, in vitro)	960	0,0021		0,26	Kwee et al. 2001
Zellproliferation (in vitro)	960	0,000021		0,003	Kwee & Raskmark 1998
Zellproliferation (in vitro)	836,55	0,0059		0,73	Stagg et al. 1997
Ca-Ionen-Haushalt (in vitro)	147		8,3		Blackman et al. 1980
Ca-Ionen-Haushalt (in vitro)	147	0,005-0,05		0,62	Dutta et al. 1989
Ca-Ionen-Haushalt (in vitro)	900	0,011	1,56	1,36	Wolke et al. 1996

Abkürzungen

CA: Chromosomen-Aberration

HSP Hitzeschockprotein

MN: Mikronuklei

An Endgeräten (Desktop-Computer, Notebooks) liegen die Leistungsflussdichten in typischen Nutzerabständen zwischen 0,01 und 0,1 W/m². Im Abstand von 2 m zu Access Points wurden Leistungsflussdichten von 0,001 bis 0,01 W/m² ermittelt (s. 5.1). Befindlichkeitsstörungen und Beeinflussungen kognitiver Funktionen sind nach den in Tabelle 5.3 aufgeführten Ergebnissen bereits bei Werten von 0,01 W/m² nicht auszuschließen. Auch scheint eine Verstärkung der Zellproliferation und damit potenziell ein Einfluss auf die Entwicklung von Tumoren möglich.

Gesundheitliche Beeinträchtigungen könnten theoretisch auch durch die Beeinflussung von medizinischen Implantaten und elektronischen medizinischen Geräten auftreten. Bei den in typischen Abständen zu WLAN-Komponenten zu erwartenden geringen Intensitäten sind aber keine Beeinflussungen von Herzschrittmachern und andern aktiven Implantaten zu erwarten. Nur bei sehr geringen Abständen kann die maximale Störfeldstärke nach DIN V EN V 50204 von 3 V/m (das entspricht ca. 0,02 W/m²) unter Umständen überschritten werden. Untersuchungen in Krankenhäusern ergaben, dass die Installation von Funk-Netzwerken in Bezug auf die Funktionsfähigkeit von medizinischen Geräten weitgehend unproblematisch ist (Hanada et al. 2002, Tan & Hinberg 2000).

6 Vorsorge im Zusammenhang mit Funk-Netzwerken

Die elektromagnetischen Expositionen durch die Komponenten von Funk-Netzwerken liegen deutlich unter den Schwellen für akute Gesundheitsschäden durch thermische Effekte und den aus diesen Schwellen abgeleiteten Grenzwerten (s. 5.1) – zumindest solange nur Komponenten eingesetzt werden, die die vorgeschriebenen Begrenzungen in Bezug auf die Äquivalente isotrope Sendeleistung einhalten. Sie sind aber so hoch, dass sie in den Bereich von Intensitäten fallen, für die es wissenschaftliche Hinweise auf gesundheitliche Beeinträchtigungen gibt (s. 5.2, 5.3). Die Strahlenschutzkommission (SSK) kommt in ihrer Stellungnahme vom September 2001 zwar zu dem Schluss, dass die vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse keine Abkehr vom derzeitigen Grenzwertkonzept erfordern, sie empfiehlt jedoch u.a.:

- "den gesamten Frequenzbereich zwischen 0 Hz und 300 GHz in die Grenzwertsetzung auf der Basis der EU-Ratsempfehlung einzubeziehen";
- "Grenzwerte für alle technischen Quellen und Geräte einzuführen, die elektromagnetische Felder erzeugen";
- "die Immissionen durch einzelne Verursacher an Orten, die der Öffentlichkeit zugänglich sind, deutlich unterhalb der Grenzwerte für die Gesamtexposition zu halten";
- "die Grenzwerte nicht völlig auszuschöpfen, um einen Spielraum für die Nutzung neuer Technologien auch in Zukunft zu behalten";
- "bei der Festlegung von Sicherheitsabständen für Sendefunkanlagen alle Hintergrundfelder mit einzubeziehen".

Ferner betont die SSK die Notwendigkeit, auch das Mittel der Produktnormung zu nutzen, um Expositionen zu verringern:

- "Die SSK bestätigt die Notwendigkeit von Produktnormen zur Begrenzung von elektromagnetischen Expositionen bei bestimmungsgemäßem Gebrauch von Geräten."
- "Die SSK stellt mit Sorge fest, dass die Produktnormung auf europäischer Ebene zunehmend die Schutzüberlegungen der EU-Ratsempfehlung und der ICNIRP unterläuft. Dazu zählt z.B. das völlige Ausschöpfen des Expositionsspielraumes bereits durch ein einziges Produkt, die Nichtberücksichtigung von (erheblichen) Messunsicherheiten und die Expositionsabschätzung auf der Basis unrealistisch günstiger Bedingungen. Da sich die europäische Produktnormung der nationalen Regelkompetenz entzieht, empfiehlt die SSK, sich nachdrücklich für die Einhaltung der EU-Ratsempfehlung auch durch EU-Normungsgremien einzusetzen."

Über die vorstehenden Empfehlungen zum Schutz vor nachgewiesenen Gesundheitsbeeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder hinaus, spricht sich die SSK für eine Reihe von Vorsorgemaßnahmen aus, von denen im aktuellen Zusammenhang vor allem die folgenden sechs Empfehlungen von Bedeutung sind:

- "Die SSK empfiehlt, bei der Entwicklung von Geräten und bei der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen. Sie weist darauf hin, dass – entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem ortsfeste Anlagen betrifft –

die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder aus Geräten, z.B. aus Haushaltsgeräten oder bei Endgeräten der mobilen Telekommunikation, unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sind, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen kann."

- "Die SSK empfiehlt, Maßnahmen zu ergreifen, um Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Rahmen der technischen und der wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu minimieren. Das gilt insbesondere für Bereiche, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten. Die Maßnahmen sollten sich an dem Stand der Technik orientieren."
- "Die SSK empfiehlt, dass für alle Geräte und Anlagen, die relevante Expositionen verursachen können, entsprechende Produktinformationen zur Verfügung gestellt werden."
- "Die SSK fordert geeignete einheitliche Kennzeichnungen, welche die Exposition durch Geräte angeben, z.B. in welchem Ausmaß Basisgrenzwerte bzw. Referenzwerte der EU-Ratsempfehlung ausgeschöpft werden."
- "Die SSK fordert, rechtzeitig vor der Einführung neuer Technologien (z.B. neuer Telekommunikationseinrichtungen, Personenidentifizierungsanlagen) die für eine gesundheitliche Bewertung notwendigen Daten offen zu legen."
- "Die SSK empfiehlt, relevante Immissionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu überprüfen."

Die SSK setzt sich ferner für verstärkte Anstrengungen in der Forschung ein, um die Kenntnisse über gesundheitliche Beeinträchtigungen bei elektromagnetischen Expositionen zu verbessern.

In ihre Stellungnahme zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern im Zusammenhang mit neuen Technologien vom April 2003 bekräftigt die SSK mit Blick auf

- die verstärkte Anwendung drahtloser Kommunikationssysteme, die sowohl einher geht mit einer intensiveren Nutzung bisheriger als auch mit der Verwendung weiterer Frequenzbänder und der Umwidmung bisheriger Frequenzbänder für neue Technologien, verbunden mit der Verwendung neuartiger Modulationssysteme und Signalstrukturen;
- die Zunahme der gleichzeitigen Anwendung mehrerer Quellen;
- die vermehrte Anwendung mobiler Quellen

noch einmal ihre Empfehlungen aus dem Jahr 2001(SSK 2003).

Die SSK stellt nochmals fest, dass

- "die aktuelle Normung es zulässt, dass einzelne Geräte so ausgelegt werden dürfen, dass sie für sich allein die Immissionsgrenzwerte vollständig ausschöpfen, und
- es immer mehr Anwendungen gibt, für die derzeit keine gesetzlichen Grenzwerte zum Schutz von Personen vorhanden sind".

Die SSK weist darauf hin, dass vielfach Feld- und Emissionscharakteristika nicht erhoben werden können, da

- "selbst bereits in der Einführung befindliche neue Technologien in vielen technischen Details noch nicht ausreichend definiert sind,

- alle möglichen Anwendungsbereiche von neuen Technologien anfangs noch nicht vollständig absehbar sind,
- in einigen Fällen seitens der Hersteller der Problematik der Emission elektromagnetischer Felder zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet wurde,
- in einigen Fällen von Herstellern Emissionsdaten zurückgehalten werden".

Ergänzend zu den bereits genannten Empfehlungen weist die SSK darauf hin,

- "dass insbesondere bei der Einführung neuer Technologien die rechtzeitige Risikokommunikation unverzichtbar ist, und empfiehlt, vor und begleitend zur Einführung neuer Technologien die Öffentlichkeit über die Emissionen elektromagnetischer Felder und mögliche gesundheitliche Auswirkungen zu informieren".

Die SSK empfiehlt,

- "die Hersteller in geeigneter Weise darauf aufmerksam zu machen, dass die Bewertung der Emission elektromagnetischer Felder ihrer Geräte Bestandteil der Risikobewertung sein muss. Dabei sind sowohl der bestimmungsgemäße Gebrauch als auch die zu erwartende Präsenz weiterer Geräte zu betrachten".

Die SSK fordert,

- "vor einer Genehmigung zur Einführung großflächiger Anwendungen ... mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch verursachte elektromagnetische Felder als Bewertungskriterium mit heranzuziehen".

Neben den von der SSK genannten Beispielen (Vergabe von Mobilfunklizenzen, Errichtung von Road Pricing-Systemen, Auto-Abstandsradar) wären hierzu sicherlich auch großflächige Funk-Netzwerke zu zählen.

Vor diesem Hintergrund werden als Konsequenz aus den vorliegenden Daten zu den Immissionen in Funk-Netzwerken und den vorliegenden, noch mit großen Unsicherheiten behafteten wissenschaftlichen Befunden im Folgenden Maßnahmen bei Planung, Ausrüstung und Betrieb von Funk-Netzwerken vorgeschlagen, die zu einer Vermeidung und Verminderung von elektromagnetischen Expositionen durch die Komponenten solcher Netzwerke beitragen. Die Vorschläge reichen von einer stärkeren Vorsorgeorientierung bei den rechtlichen Rahmenbedingungen über technische Maßnahmen bis zu Empfehlungen bei der Nutzung von Funk-Netzwerken.

6.1 Minimierungsgebot und Grenzwerte

Das Gebot zur Minimierung von elektromagnetischen Expositionen sollte rechtlich verbindlich festgeschrieben werden. Damit wäre zwar noch keine Operationalisierung des Gebots erreicht, und es bliebe insbesondere das Problem der Überprüfbarkeit, aber es wäre dann immerhin möglich, dass sich Betroffene nicht nur moralisch auf dieses Handlungsprinzip berufen könnten.

Nicht-ortsfeste und Funk-Sendeanlagen mit einer Sendeleistung unter 10 W fallen bisher nicht unter die Immissionsschutzregelungen der 26. BImSchV. Auch die BEMFV wird erst bei Sendeleistungen an einem Standort von mehr als 10 W (EIRP) wirksam. Diese Beschränkungen sind aus Sicht des Immissionsschutzes nicht sachgerecht. Die SSK verweist zu Recht darauf, dass es gerade bei den Endgeräten der mobilen Telekommunikation zu hohen Belastungen kommen kann, und sie empfiehlt, Grenzwerte für alle technischen Quellen und Geräte einzuführen, die elektromagnetische Felder erzeugen, und Immissionen durch einzelne Verursacher an öffentlich zugänglichen Orten deutlich unterhalb der Grenzwerte für die Gesamtexposition zu halten (s.o.).

Über die Empfehlungen der SSK hinausgehend wird die Einführung von Vorsorgewerten für die Gesamtexpositionen empfohlen. Solange sich die Strahlenschutzkommission nicht in der Lage sieht, auf wissenschaftlicher Basis Vorsorgegrenzwerte zu empfehlen, sollten diese auf der Basis der technischen Machbarkeit festgesetzt werden. Die Vorsorgewerte sollten als Mindeststandard begriffen werden, das heißt, dass immer eine Minimierung der Immissionen angestrebt werden sollte.

Bei der Festlegung von Sicherheitsabständen für Funk-Sendeanlagen sollten alle Hintergrundfelder mit einbezogen werden, also auch solche, die von Anlagen und Geräten emittiert werden, welche nicht unter die Bestimmungen der 26. BImSchV fallen.

6.2 Immissionsermittlung und technische Überwachung

Bisher liegen nur wenige Daten zu den Emissionen von Funk-Netzwerk-Komponenten und den Immissionen in Funknetzwerken vor. Es sind insbesondere systematische Untersuchungen zu den Immissionssituationen in den Abdeckungsbereichen von Funk-Netzwerken unterschiedlicher Zweckbestimmung notwendig: öffentlich zugängliche Hot Spots, Funk-Netzwerke in Bildungseinrichtungen, öffentlichen Verwaltungen, Betrieben und im Privatbereich.

Zudem muss die Überwachung der Emissionen von Funk-Netzwerk-Komponenten verbessert werden, um Manipulationen an den Geräten und der Verwendung von Antennen, die aufgrund ihrer Richtwirkung zu überhöhten EIRP-Werten führen können, entgegenzuwirken. Dazu ist eine Anzeigepflicht für alle Funk-Netzwerkanlagen aus Sicht des ECOLOG-Instituts unerlässlich.

Die Immissionen im Bereich von Funk-Netzwerken sollten zumindest stichprobenhaft überprüft werden.

6.3 Technische Normen und Maßnahmen

Die Messungen an Komponenten für Funk-Netzwerke zeigen eine erhebliche Bandbreite der von ihnen verursachten Immissionen (s. 5.1). Etliche der angebotenen Access Points und

WLAN-Steckkarten verursachen Expositionen, die weit über dem technisch Notwendigen liegen. Technisch gibt es noch erhebliche Potenziale zur Verminderung der elektromagnetischen Expositionen. Die Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zur Minimierung der Expositionen können auf der Ebene der Freiwilligkeit nur wirksam werden, wenn insbesondere auf Seiten der Hersteller von Funk-Netzwerkkomponenten die Einsicht in die Notwendigkeit einer Minimierung der Expositionen durch elektromagnetische Felder wächst. Allerdings wird das Ziel der Minimierung von Expositionen wohl erst dann zum technischen Entwicklungs- und Qualitätskriterium, wenn es Eingang in die technischen Normen findet.

Ein wichtiger erster Schritt wäre, für alle Funk-Netzwerkkomponenten eine Leistungsregulation vorzuschreiben, wie sie die Allgemeinzuteilung von Frequenzen der RegTP für den 5 GHz-Bereich vorsieht. Bisher erlauben nur wenige Funk-Netzkarten eine Einstellung der Sendeleistung.

6.4 Produktinformation

Die Hersteller und der Handel sollten der Empfehlung der SSK freiwillig folgen, für alle Geräte und Anlagen, die relevante Expositionen verursachen können, entsprechende Produktinformationen zur Verfügung zu stellen. Falls dies nicht geschehen sollte, wäre eine rechtlich verbindliche Kennzeichnung der Funk-Netzwerkkomponenten hinsichtlich der von ihnen verursachten Expositionen unumgänglich. Dies ist aus wettbewerbsrechtlichen Gründen wahrscheinlich nur im europäischen Rahmen möglich. Der für Planer und Anwender aussagekräftigste Weg wäre die Einführung von drei bis vier Expositionsklassen, die neben den Maximalwerten der Leistungsflussdichte bei typischen Abständen zwischen Nutzer und Gerät bzw. den SAR-Werten auch die Leistungsfähigkeit des Power-Managements berücksichtigen. Als einfach zu verstehende Verbraucherinformation und zur Verbesserung der Marktchancen strahlungsarmer Komponenten sollte eine entsprechende Zertifizierung angestrebt werden (Blauer Engel, Computer- und Handy-Zertifizierung nach TCO).

6.5 Anlagenplanung

Gerade beim Aufbau komplexer Funk-Netzwerke in Universitäten, Behörden und Betrieben kommt der Anlagenplanung zur Minimierung der Expositionen eine hohe Bedeutung zu. Bisher spielt diese Frage bei den Unternehmen, die entsprechende Dienstleistungen anbieten, praktisch keine Rolle.

Dass sich durch eine umsichtige Anlagenplanung zumindest die Expositionen durch die Funk-Netzwerk-Infrastruktur vermindern lassen, zeigen die vom Personalrat der Universität Hannover mit dem Rechenzentrum als Betreiber des Funk-Netzwerks verabredeten Richtlinien für den Aufbau des Funk-Netzwerks. Diese sehen u.a. vor, dass

- Access Points grundsätzlich nicht in persönlichen Arbeitsräumen installiert und ihre Standorte so gewählt werden, dass die Exposition bei einem vorgesehenen Abstand von 3 m zum Arbeitsplatz unter 1 mW/m^2 liegt;
- in Räumen, wie dem Lesesaal, der Bibliothek oder dem Lichthof, in denen sich auch Arbeitsplätze in öffentlichen Bereichen befinden, die Strahlungsleistung der Antenne auf die erforderliche Ausleuchtung des Bereiches reduziert wird und weiterhin geeignete Maßnahmen getroffen werden, um den Wert von 1 mW/m^2 an den in den öffentlichen Bereichen befindlichen persönlichen Arbeitsplätzen einzuhalten;
- in Seminar- und Vorlesungsräumen ebenfalls die Strahlenbelastung auf die Ausleuchtung des Raumes reduziert wird;
- für die Laptops Funk-Netzwerkkarten benutzt werden, die eine Einstellung der Sendeleistung ermöglichen und außerdem der Abstand zwischen Kopf und Karte möglichst groß sein sollte.

Außerdem wird darauf hingewiesen, dass die Beschäftigten durch sparsame Benutzung der Laptops ihre persönliche Strahlenbelastung reduzieren können, wobei eine Stromsparfunktion des Funk-Netzwerkkarten-Treibers hilfreich ist.

Ein besonderes Problem stellen Funk-Netzwerke in Schulen dar. Die in Funk-Netzwerken auftretenden Hochfrequenz-Expositionen liegen zwar deutlich unter denen, die durch die Nutzung von Handys verursacht werden, können aber gerade an Endgeräten mit körpernah installierten Antennen nicht unerheblich sein (s. 5.1). Die Anwendung des von der SSK empfohlenen Minimierungsprinzips (s.o.) ist gerade beim Schutz des in der Entwicklung befindlichen und damit besonders empfindlichen kindlichen Organismus geboten. Dazu gehört insbesondere die Vermeidung jeder unnötigen Exposition. Wo die Einrichtung eines drahtgebundenen Netzwerks in Schulen möglich ist, sollte dieses einem Funk-Netzwerk vorgezogen werden. Wenn in Ausnahmefällen eine Verkabelung unmöglich sein sollte, sind zumindest alle planerischen und technischen Möglichkeiten zu nutzen, um die Expositionen durch das Funk-Netzwerk zu minimieren, wobei der Wert von 1 mW/m^2 auch durch die Endgeräte eingehalten werden sollte.

6.6 Information und Aufklärung

Informationen zu möglichen Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder und zur vorsorgenden Vermeidung elektromagnetischer Expositionen werden bereits durch verschiedene Institutionen angeboten (Bundesamt für Strahlenschutz, Verbraucherverbände, Umweltberatungseinrichtungen). Diese beziehen sich bisher jedoch fast ausschließlich auf den richtigen Gebrauch von Mobiltelefonen. Auch die Bundesärztekammer und andere ärztliche Organisationen haben in dieser Hinsicht Empfehlungen ausgesprochen. Es fehlen bisher Informationen zu den Expositionen in Funk-Netzwerken und Empfehlungen zur Vorsorge.

Funk-Netzwerke stellen eine noch relativ neue Technologie dar. Die Akzeptanz neuer Technologien ist in den verschiedenen Lebensstilgruppen bzw. sozialen Milieus sehr unterschiedlich. Zu den frühen Adoptern neuer Technologien im Bereich der Telekommunikation gehö-

ren insbesondere die jungen und technik-begeisterten Milieus der Modernen Performer und der Experimentalisten sowie das Milieu der Etablierten. Moderne Performer und Experimentalisten zeigen von sich aus kein besonderes Interesse an vorsorge-orientierten Informationen. Da in diesen Milieus auch die Bereitschaft relativ groß ist, Vorschriften, z.B. zur Begrenzung der Immissionen von Funk-Netzwerk-Komponenten, zu ignorieren, wenn sie den eigenen Interessen entgegenstehen, sind gezielte Anstrengungen notwendig, um diese Milieus zu erreichen. Dabei müssen die Informationsangebote sehr viel stärker als dies bisher bei den Handy-Informationen der Fall ist, die Bildungsunterschiede und die spezifischen Einstellungen und Verhaltensweisen in den verschiedenen sozialen Milieus berücksichtigen, die sich z.B. in unterschiedlichen Sensibilitäten für Gesundheitsfragen, speziellen Informationsbedürfnissen und -gewohnheiten oder sehr differenten Einstellungen gegenüber Behörden, Beratungseinrichtungen und Unternehmen zeigen (Kleinhüchelkotten et al. 2002).

6.7 Abschirmung

Wenn z.B. in Klassenräumen oder Büros, die durch ein Funk-Netzwerk nicht versorgt werden sollen, die gewünschte Immissionsminderung nicht durch Maßnahmen an der Quelle erreicht werden kann, sollte eine Abschirmung in Betracht gezogen werden. Viele Baumaterialien absorbieren oder reflektieren ohnehin hochfrequente elektromagnetische Felder. Der Dämpfungskoeffizient vieler Baumaterialien nimmt in dem für Funk-Netzwerke interessanten Frequenzbereich (2,4 bis 5,2 GHz) mit der Frequenz zu (Pauli & Moldan 2003, LfU 2003).

Für die Abschirmung zum einen von Räumen und Gebäuden, in denen Funk-Netzwerke betrieben werden, gegen Abhören und zum anderen von Räumen, die von Immissionen freigehalten werden sollen, wurden spezielle Materialien entwickelt, wie Putze, Tapeten, Fensterbeschichtungen und Stoffe, die hochfrequente elektromagnetische Felder weit stärker dämpfen als die meisten normalen Baumaterialien (für Hinweise auf geeignete Abschirmmaterialien s. Pauli & Moldan 2003, LfU 2003). Eine perfekte Abschirmung lässt sich durch eine vollständige metallische Einkleidung der betreffenden Räume erreichen. Bleche und Folien an Wänden, Decke und Fußboden sind jedoch nicht nur lichtdicht, sondern verhindern auch den Feuchtigkeitsaustausch der Wände, was baubiologisch bedenklich ist. Deshalb kommen oft metallische Gewebe oder Geflechte zum Einsatz. Deren Abschirmwirkung hängt vor allem vom Verhältnis der Wellenlänge zur Maschenweite ab, was daran zu erkennen ist, dass die Abschirmwirkung mit steigender Frequenz (abnehmender Wellenlänge) abnimmt (Pauli & Moldan 2003, LfU 2003).

Glossar

2G		Kurzbezeichnung für den Mobilfunk der zweiten Generation (GSM)
2.5G		Kurzbezeichnung für den technologischen Zwischenschritt (z.B. GPRS, EDGE) zwischen dem Mobilfunk der zweiten Generation (GSM) und der dritten Generation (UMTS)
3G		Kurzbezeichnung für den Mobilfunk der dritten Generation (UMTS)
AAA	Authentication, Authorization and Accounting	Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung; System zur Festlegung, wer ein Netzwerk nutzen darf
AP	Access Point	Basisstation in Funk-Netzwerken, die Daten mit den Endgeräten austauscht und die Verbindung zu draht-gebundenen Netzwerken herstellt
	Ad hoc-Modus	Betriebsweise eines Funk-Netzwerks, in dem die Endgeräte direkt miteinander kommunizieren
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Standard für digitale Datenübertragung mit hohen Übertragungsraten
	Bandbreite	Kapazität eines Netzwerks: Je höher die Bandbreite, desto höher die Datenübertragungsrate
	Billing	Abrechnung
	Bit	Kleinste Dateneinheit
BER	Bit Error Rate	Bitfehlerrate, Qualitätskriterium für Datenübertragung
	Bluetooth	Standard zur Datenübertragung per Funk über kurze Entfernungen mit Übertragungsraten von etwa 400 kBit/s
	Broadcasting	Informationsaussendung von einem Sender an beliebig viele Empfänger (point to multipoint)
BB	Broadband	Breitband, hohe Datenübertragungskapazität
BSS	Basis Service Set	einfachste Version eines Funk-Netzwerkes aus einem Access Point und mehreren über Funk angeschlossenen Stationen
	Charging	Kostenabrechnung für die Nutzung eines Dienstes
CDMA	Code Division Multiple Access	Funkprotokoll, das durch eine spezielle Kodierung die gleichzeitige Übertragung verschiedener Datensätze auf einer Frequenz erlaubt
	Controller	Gerät, das in Netzwerken zwischen die Access Points und den Rest des Netzwerks geschaltet ist und die Netznutzung organisiert
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance	Kanalzugriffsprotokoll: ein Sender überträgt nur Daten, wenn kein anderer Sender die gleichen Frequenzen benutzt
CTS	Clear To Send	Signal einer Empfängerstation, mit dem sie ihre Empfangsbereitschaft anzeigt
DCF	Distributed Coordination Function	Methode des Zugriffs auf das Übertragungsmedium ohne zentrale Koordination
DCS 1800	Digital Cellular System on 1800 MHz	Standard für digitale zellulare Mobilfunksysteme auf der Basis des GSM-Standards, die den Frequenzbereich um 1800 MHz nutzen
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications	Standard für digitale Schnurlostelefone, die den Frequenzbereich 1880 bis 1900 MHz nutzen
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Übertragungsverfahren für Funk-Netzwerke
	Downlink	Übertragung von der Basisstation zum Endgerät (umgekehrte Richtung: Uplink)

eCommerce		Abwicklung von Geschäftsprozessen mittels Internet
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	Mobilfunksystem mit höheren Übertragungsraten; Zwischenschritt von GSM zu UMTS (2.5G)
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power Äquivalente Isotrope Strahlungsleistung	Leistung, die einer Antenne theoretisch zugeführt werden müsste, damit sie in alle Raumrichtungen genau stark strahlt wie in Hauptstrahlrichtung
ESS	Extended Service Set	Funk-Netzwerk aus mehreren Basis Service Sets
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Europäisches Standardisierungsgremium für Telekommunikation
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Funkprotokoll, das jedem Endgerät einen Funkkanal innerhalb des verfügbaren Frequenzbereichs zuweist
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Übertragungsverfahren für Funk-Netzwerke
FTP	File Transfer Protocol	Internetdienst zum Datenaustausch zwischen Computern
	Gateway	Verbindungspunkt (Hard- und Software) zwischen Netzwerken
GfK	Gesellschaft für Konsum-, Markt- und Absatzforschung	
GPRS	General Packet Radio Services	Paketbasierter Mobilfunkstandard, der in GSM-Netzen Datenraten bis 115 kBit/s und Zugang zu IP-basierten Netzen, wie dem Internet, ermöglicht (2.5G)
GSM	Global System for Mobile Communication Handover	Weltweiter Standard für digitale, zellulare Mobilfunknetze, die das 900 MHz-Band nutzen Übergabe der Kommunikation beim Wechsel des Endgeräts von einer Funkzelle in eine andere
HIPERLAN	High Performance Radio Local Area Networks Hotspot	ETSI-Standard für die Datenübertragung in Funk-Netzwerken Bereich, in dem Zugang zu einem öffentlichen Funk-Netzwerk besteht
	Infrastruktur-Modus	Betriebsweise eines Funk-Netzwerks, in dem die Endgeräte über Basisstationen (Access Points) angebunden sind
IBSS	Independent Basis Service Set	Infrastruktur-unabhängiges Netzwerk aus gleichberechtigten Rechnern
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers	US-amerikanische Organisation, die u.a. Standards für elektrische und elektronische Geräte entwickelt
IEEE 802.11		Standard für die Datenübertragung in Funk-Netzwerken
IP	Internet Protocol	s. TCP/IP
IRDA	Infrared Data Association	Standardisierungsgremium für Infrarot-Kommunikation
ISM	Industrial Scientific Medical	Bezeichnung für Frequenzbereiche, die Lizenzfrei für industrielle, wissenschaftliche oder medizinische Zwecke genutzt werden können
ISP	Internet Service Provider	Anbieter von Netzzugängen oder Dienstleistungen für das Internet
k	Kilo-	Vorsatz vor Einheiten (Faktor 1000)
kBit/s	KiloBit pro Sekunde	Einheit für die Datenübertragungsrate (1 kBit/s=1024 Bit/s)
LAN	Local Area Network	Lokales (draht-gebundenes) Netzwerk
M	Mega-	Vorsatz vor Einheiten (Faktor 1.000.000)

MBit/s	MegaBit pro Sekunde	Einheit für die Datenübertragungsrate (1 Mbit/s=1024 kBit/s)
MAC	Local Loop Media Access Control	'Letzte Meile' zwischen Netzwerken und Nutzern Teil der Sicherungsschicht in den IEEE 802- Standards, die den Zugriff auf ein gemeinsames Medium beschreibt
mCommerce	Mobile Commerce	Abwicklung von Geschäftsprozessen mittels draht- loser Kommunikation
MMS	Multimedia Messaging Service	Übertragung von Bildern und Musik auf Handys
MNO	Mobile Network Operator	Mobilfunknetzbetreiber
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul	Software zur Unterstützung von Wartung, Repa- ratur und Überholung
PDA	Personal Digital Assistant	Handliche elektronische Geräte mit Kalender-, Adress-, Notiz- und ähnlichen Funktionen. Unter die Bezeichnung PDAs fallen Palms, Palmsize- Geräte und Handheld-PCs
PCF	Point Coordination Function	Methode des Zugriffs auf das Übertragungsmedi- um mit zentraler Koordination durch einen Access Point
	Peer to Peer Networking	Transientes Netzwerk zur direkten Kommunikati- on gleichgestellter Nutzer
PMP	Point to Multipoint	Datenübertragung von einem Sender an mehrere Empfänger
	Point to Point Bridge Punkt zu Punkt Verbindung	Feste Hochgeschwindigkeits-Funk-Datenverbin- dung zwischen zwei Punkten, z.B. auf einem Firmengelände
PPP	Point to Point Protocol	Authentisierungsverfahren für die Punkt zu Punkt- Kommunikation
	Public WLAN Client	Software zur Unterstützung von Nutzern bei der Lokalisierung von Netzwerken und beim Zugang
QoS	Quality of Service	Allgemeine Bezeichnung für alle Faktoren, die die Qualität eines Dienstes oder einer Dienstleistung beeinflussen, hier insbesondere Qualität der Nut- zungs- und Verfügbarkeitsparameter (Dauer des Verbindungsaufbaus, Störfrequenz, garantierte Verfügbarkeit von Bandbreite)
Reg TP	Regulierungsbehörde für Te- lekommunikation und Post Roaming	Wechsel von einem Funknetz bzw. von einem Access Point zu einem anderen
RTS	Ready To Send	Signal einer Sendestation, mit der sie ihre Sende- bereitschaft anzeigt
SAR	Spezifische Absorptionsrate [W/kg]	Energiemenge, die pro Sekunde von einer einem Kilogramm Gewebemasse absorbiert wird
SSID	Service Set Identifier	Name eines Netzwerks, der als Passwort benutzt wird, wenn ein mobiles Endgerät auf ein Netz- werk zugreifen will
SSK	Strahlenschutzkommission Session Mobility	Fähigkeit zur Aufrechterhaltung einer Verbindung bzw. Sitzung beim Roaming
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	Protokoll, das das Verfahren zur Datenübertra- gung zwischen Computern über das Internet fest- legt
TDMA	Time Division Multiple Access	Funkprotokoll, das durch Aufteilung eines Funk- kanals in mehrere Zeitfenster, die Bedienung mehrerer Endgeräte ermöglicht; jeder Nutzer kann in regelmäßigen Abständen in 'seinem' Zeit-

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System Uplink	fenster den Übertragungsweg nutzen Mobilfunkstandard für hohe Datenübertragungsraten (bis 2 Mbit/s, 3G) Übertragung vom Endgerät zur Basisstation (umgekehrte Richtung: Downlink)
VoWLAN	Voice-over-WLAN	Sprachübertragung in Funk-Netzwerken
VPN	Virtual Private Network	Techniken zur sicheren Übertragung von Daten über ein Medium ohne inhärente Sicherheit wie das Internet
W/kg	Watt pro Kilogramm	Einheit für die Spezifische Absorptionsrate
W/m²	Watt pro Quadratmeter	Einheit für die Leistungsflussdichte
WAP	Wireless Application Protocol	Standard für www-Seiten auf Mobiltelefonen
WCDMA	Wideband CDMA	Datenfunktechnik mit Datenübertragungsraten bis zu 384 kBit/s
WEP	Wired Equivalent Privacy	Sicherheitsstandard für IEEE 802.11.-WLAN, der für drahtlose Netze die gleiche Sicherheit bieten soll, wie in drahtgebundenen Netzen
WISP	Wireless Internet Service Provider	Anbieter von drahtlosen Netzzugängen für das Internet
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Zertifikat der Wi-Fi-Alliance, das die Konformität der Geräte verschiedener Hersteller sicherstellt
WLAN	Wireless Local Area Network	Funk-Netzwerk auf der Basis des IEEE 802.11-Standards
WPA	Wi-Fi Protected Access Zeitschlitz (Timeslot)	Erweiterter Sicherheitsstandard für WLAN Die Nutzungszeit eines Übertragungswegs wird in kurze Zeitschlitze bzw. Zeitfenster aufgeteilt

Literatur

3gnewsroom 24.5.2001 a: I want my Wi-Fi: the opportunity for public access WLANs in Europe.
http://www.3gnewsroom.com/3g_news/may_01/news_0687.shtml (source: Re-Think!)

3gnewsroom 24.5.2001 b: Public access WLANs threaten 3G market potential.
http://www.3gnewsroom.com/3g_news/may_01/news_0687.shtml (source: Re-Think!)

3sat 14.3.2003: WLAN: Wachstumssegment im Technologiebereich. CeBIT: Hightech Comeback? Sendung vom 14.03.2003. <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/boerse/geldidee/43220/>

AbiResearch 2.12.2003: Ultra wideband (UWB) wireless: An evaluation of technology prospects and potential market applications. <http://www.abiresearch.com/reports/UWB.html>

ABI 2003: Wireless LAN's future established as big tech and telecom companies enter the market. Microwave J. April 2003: 58

ABI 2003: Wi-Fi networking equipment: Worldwide deployments, drivers, players and forecasts for 208.11x.
<http://www.abiresearch.com/reports/WLAN.html>

aboutIT 13.12.2000: E-Commerce bringt hohe Investitionen in Sicherheitstechnologien. Nach Frost & Sullivan Report 3717 11/00. The european market for internet communications security. www.aboutit.de/00/15/14.html

Adey W.R., Bawin S.M. & Lawrence A.F. 1982: Effects of weak amplitude-modulated microwave fields on calcium efflux from awake cat cerebral cortex. *Bioelectromagnetics* 3 (3): 295-307

Adlkofer F. 2003: Summary of the findings obtained in the REFLEX project and future perspectives. Abstracts for the Bioelectromagnetics Society (BEMS) Annual Meeting June 22-27, 2003 : 135-136

Adlkofer F. & Dertinger H. 2002: Summary of the findings obtained in the REFLEX-project and future perspectives. Tagung der Bioelectromagnetics Society, Québec 2002

Ala-Laurila J., Mikkonen J. & Rinnemaa J. 2001: Wireless LAN access network architecture for mobile operators. *IEEE Commun. Mag.* 39 (11): 82-89

Altpeter E.S., Krebs T., Pfluger D.H., Känel J.v., Blattmann R., Emmenegger D., Cloetta B., Rogger U., Gerber H., Manz B., Coray R., Baumann R., Staerk K., Griot C. & Abelin T. 1995: Study on health effects of the shortwave transmitter station of Schwarzenburg, Berne, Switzerland. BEW Schriftenreihe No. 55

Analysys 2003: Public WLAN access in Western Europe and the USA. Zitiert in NordicWirelessWatch 10.3.2003: P-WLAN revenues to grow in Europe and US.
http://www.nordicwirelesswatch.com/wireless/story.html?story_id=2864

Antonopoulos A., Eisenbrandt H. & Obe G. 1997: Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutat. Res.* 395 (1-3): 209-214

Asami S. & Tago A. 1999: Evaluation of the 2.4-GHz spread spectrum wireless LAN system. *Electron. Commun. Jpn. Pt. 1* 82 (5): 519-527

Auvinen A., Hietanen M., Luukonen R. & Koskela R.-S. 2002: Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiol.* 13 (3): 356-359

Balcer-Kubiczek E.K. & Harrison G.H. 1991: Neoplastic transformation of C3H/10T1/2 cells following exposure to 120-Hz modulated 2.45-GHz microwaves and phorbol ester tumor promoter. *Radiat. Res.* 126 (1): 65-72

Balode Z. 1996: Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes. *Sci. Total Environ.* 180 (1): 81-85

Bawin S.M., Adey W.R. & Sabbot I.M. 1978: Ionic factors in release of $^{45}\text{Ca}^{2+}$ from chicken cerebral tissue. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 75 (12): 6314-6318

Bawin S.M., Kaczmarek L.K. & Adey W.R. 1975: Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 247: 74-80

- Beason R. & Semm P. 2002: Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neurosci. Lett.* 333 (3): 175-178
- Bergqvist U. & Vogel E. 1997: Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. Report prepared by a European group of experts for the European Commission DG V
- Berlecon 2003: Marktanalyse Public WirelessLAN – Die Zukunft des Hot-Spot Marktes in Deutschland. <http://www.berlecon.de/studien/InhaltProbe/200307WLAN.pdf>
- Bertin P., Lebeugle F. & Journé T. 2003: WLAN standards and evolutions. *Ann. Telecommun.* 58 (3-4): 337-369
- Bild der Wissenschaft 2003: Die neue deutsche Welle. *Bild der Wissenschaft* 9/2003: 82-90
- Binder S. & Keller F. 2003: Strahlenangst - Risiken und Chancen für die Telekom-Branche. SOREON-Reserach.
- Blackman C.F., Benane S.G., Elder J.A., House D.E., Lampe J.A. & Faulk J.M. 1980: Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window. *Bioelectromagnetics* 1 (1): 35-43
- Boll F. (Pressesprecher der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post) 2003: In 'Mein WLAN kann weiter' Spiegel Online 18.10.2003
- Book S.H. & Roscoe A.D. 2003: Sectoral analysis of US enterprise WLANs: adoption, applications, and barriers to growth. ForceNine Consulting 9/2003. <http://www.forcenine.net/pubs.html#wlan>
- Borbély A.A., Huber R., Graf T., Fuchs B., Gallmann E. & Achermann P. 1999: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci. Lett.* 275 (3): 207-210
- Bornhausen M. & Scheingraber H. 2000: Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats. *Bioelectromagnetics* 21 (8): 566-574
- Bornkessel C., Neikes M. & Schramm A. 2002: Untersuchungen der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Braune S., Riedel A., Schulte-Monting J., Raczek J. 2002: Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat. Res.* 158 (3): 352-356
- Brignol L. & Litzemberger M. 2001: Wireless LAN technology and hiperLAN/2. *Alcatel Telecommun. Rev.* 3: 205-206
- Brünen M. 2001: Wenn die Business Lounge zum Hot-Spot wird. *NET* 6/01: 56-60
- Büllingen F. 2003: Elektrosmog durch Mobilfunk? Akzeptanz und Risiko im Licht der öffentlichen Debatte. *Das Parlament - Aus Politik und Zeitgeschichte*, Nr. 42, 13.10.2003
- Burch J.B., Reif J.S., Noonan C.W., Ichinose T., Bachand A.M., Koleber T.L. & Yost M.G. 2002: Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int. J. Radiat. Biol.* 78 (11): 1029-1036
- Burness L., Higgins D., Sago A. & Thorpe P. 2003: Wireless LANs - present and future. *BT Technol. J.* 21 (3): 32-47
- Buttery S. & Sago A. 2003: Future applications of bluetooth. *BT Technol. J.*, 21 (3): 48-55
- Cellular-News 10.3.2003: 30,000 LAN "hot- spots" in Western Europe by 2007 – report. <http://www.cellular-news.com/story/9264.shtml>
- Cellular-News 11.7.2003: UltraWideBand could hurt WLAN take-up. <http://www.cellular-news.com/story/9264.shtml>, 11.7.2003
- Chagnaud J.-L. & Veyret B. 1999: In vivo exposure of rats to GSM modulated microwaves: flow cytometry analysis of lymphocyte subpopulations and of mitogen stimulation. *Int. J. Radiat. Biol.* 75 (1): 111-113

- Chen K.-C. & Wu C.-Y. 2003: Internetworking between HIPERLAN/2 and UMTS. *Wirel. Pers. Commun.* 26 (1-2): 179-202
- Chou C.-K., Guy A.W., Kunz L.L., Johnson R.B., Crowley J.J. & Krupp J.H. 1992: Long-term, low-level microwave irradiation of rats. *Bioelectromagnetics* 13 (6): 469-496
- Cleary S.F., Cao G., Liu L.M., Egel P.M. & Shelton K.R. 1997: Stress proteins are not induced in mammalian cells exposed to radiofrequency or microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 18 (7): 499-505
- Cleary S.F., Liu L.-M. & Merchant R.E. 1990 a: In vitro lymphocyte proliferation induced by radio-frequency electromagnetic radiation under isothermal conditions. *Bioelectromagnetics* 11 (1): 47-56
- Cleary S.F., Liu L.-M. & Merchant R.E. 1990 b: Glioma proliferation modulated in vitro by isothermal radiofrequency exposure. *Radiat. Res.* 121 (1): 38-45
- Cobb B.L., Jauchem J.R., Mason P.A., Dooley M.P., Miller S.A., Ziriak J.M. & Murphy M.R. 2000: Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposed to ultra-wideband electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 21 (7): 524-537
- Comtesse N. 2001: Wireless-LAN: UMTS-Pleitemacher, -Konkurrent und -Geburtshelfer. *iBusiness* 21/2001: 16-18
- Cook A., Woodward A., Pearce N. & Marshall C. 2003: Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours. *New Zeal. Med. J.* 116 (1175): U457
- Cranfield C.G., Wood A.W., Anderson V. & Menezes K.G. 2001: Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-Cells (Jurkat cells). *Int. J. Radiat. Biol.* 77 (12): 1207-1217
- Croft R.J., Schandler J.S., Burgess A.P., Barry R.J., Williams J.D. & Clarke A.R. 2002: Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin. Neurophysiol.* 113 (10): 1623-1632
- Dabrowski M.P., Stankiewicz W., Kubacki R., Sobiczewska E. & Smigielski S. 2003: Immunotropic effects in cultured human blood mononuclear cells pre-exposed to low-level 1300 MHz pulse modulated microwave field. *Electromagn. Biol. Med.* 22 (1): 1-13
- Dasdag S., Akdag M.Z., Ayyildiz O., Demirtas Ö.C., Yayla M. & Sert C. 2000: Do cellular phones alter blood parameters and birth weight of rats? *Electro- Magnetobiol.* 19 (1): 107-113
- Dasdag S., Ketani M.A., Akdag Z. u.a. 1999: Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urol. Res.* 27 (3): 219-223
- Davis R.L. & Mostofi F.K. 1993: Cluster of testicular cancer in police officers exposed to hand-held radar. *Am. J. Ind. Med.* 24 (2): 231-233
- de Pomerai D., Daniells C., David H. u.a. 2000: Non-thermal heat-shock response to microwaves. *Nature* 405: 417-418
- de Pomerai D.I., Dawe A., Djerbib L., Allan J., Brunt G. & Daniells C. 2002: Growth and maturation of the nematode *Caenorhabditis elegans* following exposure to weak microwave fields. *Enzyme Microbial Technol.* 30 (1): 73-79
- De Seze R., Fabbro-Peray P. & Miro L. 1998: GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 19 (5): 271-278
- Deutschlandradio 20.7.2003: <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/hiwi/142892/>
- Dolk H., Elliott P., Shaddick G., Walls P. & Thakrar B. 1997 b: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, II All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.* 145 (1): 10-17
- Dolk H., Shaddick G., Walls P., Grundy C., Thakrar B., Kleinschmidt I. & Elliott P. 1997 a: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, I Sutton Coldfield emitter. *Am. J. Epidemiol.* 145 (1): 1-9
- Dornseif M., Schumann K. H. & Klein C. 2003: Tatsächliche und rechtliche Risiken drahtloser Computernetzwerke. *DuD* 22: 1-5

- Doufexi A., Armour S., Butler M., Nix A., Bull D. & McGeehan J. 2002: A comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a wireless LAN standards. *IEEE Commun. Mag.* 40 (5): 172-180
- Doufexi A., Tameh E., Nix A. & Armour S. 2003: Hotspot wireless LANs to enhance the performance of 3G and beyond cellular networks. *IEEE Commun. Mag.* 41 (7): 58-65
- Dubreuil D., Jay T. & Edeline J.-M. 2002: Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks? *Behav. Brain Res.* 129 (1-2): 203-210
- Durlacher Research Ltd., Eqvitec Partners & Helsinki University of Technology 2001: UMTS-Report - An investment perspective. <http://www.durlacher.com/downloads/umtsreport.pdf>. Stand: 17.10.2001
- Dutta S.K., Das K., Ghosh B. & Blackman C.F. 1992: Dose dependence of acetylcholinesterase activity in neuroblastoma cells exposed to modulated radio-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics* 13 (4): 317-322
- Dutta S.K., Ghosh B. & Blackman C.F. 1989: Radiofrequency radiation-induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics* 10 (2): 197-202
- Dutta S.K., Subramoniam A., Ghosh B. & Parshad R. 1984: Microwave radiation-induced calcium ion efflux from human neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics* 5 (1): 71-78
- Ecofis-Gruppe 8.7.2003: Internetnutzer haben wenig Vertrauen in Bezahl-Downloads. http://www.ecofisgruppe.de/service/news/it_news/IT_2003-08-07.jsp
- Economist 28.6.2003: Bubble trouble., S. 68f
- Edelstyn N. & Oldershaw A. 2002: The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuro Report* 13 (1): 119-121
- Eetimes 23.5.2003: Ultra Wide Band soll Consumermarkt beleben. <http://www.eetimes.de/at/news/OEG20030522S0046>
- Esseling N., Vandra H.S. & Walke B. 2001: A forwarding concept for Hiper LAN/2. *Comp. Netw.* 37 (1): 25-32
- Fesenko E.E., Makar V.R., Novoselova E.G. & Sadovnikov V.B. 1999: Microwaves and cellular immunity I. Effect of whole body microwave irradiation on tumor necrosis factor production in mouse cells. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 49 (1): 29-35
- First Partner 2003: WLAN Industry Map. http://www.firstpartner.net/insights/downloads/FP_WIFI_Market_Map.pdf
- ForceNine Consulting 2003: The market for WiFi Hot-Spots: Consumer behaviors and relationship with 3G. www.forcenine.net
- Forrester Research 19.6.2003: W-LAN access won't be the next big thing. Pressemitteilung. www.forrester.com/ER/Research/Brief/Excerpt/0,1317,16639,FF.html
- French P.W., Donnellan M. & McKenzie D.R. 1997: Electromagnetic radiation at 835 MHz changes the morphology and inhibits proliferation of a human astrocytoma cell line. *Biochem. Bioenerg.* 43 (1): 13-18
- French P.W., Penny R., Laurence J.A. & McKenzie D.R. 2000: Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation* 67: 93-97
- Frick U., Rehm J. & Eichhammer P. 2002: Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields - a randomized survey study. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 205 (5): 353-360
- Fritze K., Sommer C., Schmitz B., Mies G., Hossmann K.A; Kiessling M. & Wiessner C. 1997: Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuro-pathol.* 94 (5): 465-470
- FTD (Financial Times Deutschland) 2003: Wireless LAN wird zum Objekt der Begierde. Martin Virtel, 14.3.2003

- FTD (Financial Times Deutschland) 2003: T-Mobile USA erobert drahtloses Internet. Ulrike Sosalla, 5.5.2003
- FTD (Financial Times Deutschland) 2003: Festnetztochter der Telekom baut eigene Marke auf. Kristina Spill, 19.5.2003
- Fucic A., Garaj-Vrhovac V., Skara M. & Dimitrovic B. 1992: X-rays, microwaves and vinyl chloride monomer: their clastogenic and aneugenic activity, using the micronucleus assay on human lymphocytes. *Mutat. Res.* 282 (4): 265-271
- Gallagher D. 2003: Well-funded Wi-Fi startups cut work forces. <http://eastbay.bizjournals.com/eastbay/stories/2003/11/03/story4.html>
- Ganz A., Park S.H. & Ganz Z. 2000: Security broker for multimedia wireless LANs. *Comp. Commun.* 23 (5-6): 588-594
- Garaj-Vrhovac V. 1999: Micronucleus assay and lymphocyte mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation. *Chemosphere* 39 (13): 2301-2312
- Garcia-Macias J.A., Rousseau F., Berger-Sabbatel G., Toumi L. & Duda A. 2003: Quality of service and mobility for the wireless internet. *Wirel. Netw.* 9 (4): 341-352
- Gartner Dataquest 30.6.2003: Gartner says simplistic focus on hot spot profits misguided, rationales for growth are more complex. Analysts project more than 71,000 Public Wireless LAN Hot Spots in 2003. Pressemitteilung. http://www3.gartner.com/5_about/press_releases/pr30june2003a.jsp
- Germann P. 2002: Kasuistik: Elektrosensibilität. *Umwelt Medizin Gesellschaft* 15 (3): 232
- gfu/GfK 18.4.2003: Consumer Electronics mit zweistelligem Plus. Pressemitteilung. www.gfu.de/pages/news/news_010418.html
- Goldstein L.S., Kheifets L., van Deventer E. & Repacholi M. 2003 a: Comments on "Long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 898,4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence" by Utteridge et al. *Radiat. Res.* 158, 357-364 (2002). *Radiat. Res.* 159 (2): 275-276
- Goldstein L.S., Kheifets L., van Deventer E. & Repacholi M. 2003 b: Further comments on "Long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 898,4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence" by Utteridge et al. *Radiat. Res.* 159 (6): 835
- Golem 21.8.2001: Knapp die Hälfte der Webuser würde für Content bezahlen. Online-Marktforschungsinstitut 'Earsandeyes'. <http://www.golem.de/0108/15415.html>
- Golem 11.3.2003: Vodafone plant WLAN-Ausbau in Deutschland. <http://www.golem.de/0303/24430.html>
- Golem 17.6.2003: TI bietet WLAN/Bluetooth-Kombi-Chipsatz. <http://www.golem.de/0306/25976.html>
- Görlitz B.-D. 2001: Mündliche Stellungnahme des beratenden Experten im Rahmen des Vorhabens 'Risikobewertung im wissenschaftlichen Dialog'. Workshop 'Kalzium-Homöostase und Stress-Hormone', Darmstadt, 23.1.2002.
- Gos P., Eicher B., Kohli J. & Heyer W.-D. 1997: Extremely high frequency electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Bioelectromagnetics* 18 (2): 142-155
- Gos P., Eicher B., Kohli J. & Heyer W.-D. 2000: No mutagenic or recombinogenic effects of mobile phone fields at 900 MHz detected in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioelectromagnetics* 21 (7): 515-523
- Goswami P.C., Albee L.D., Parsian A.J., Baty J.D., Moros E.G., Pickard W.F., Roti Roti J.L. & Hunt C.R. 1999: Proto-oncogene mRNA levels and activities of multiple transcription factors in C3H 10T1/2 murine embryonic fibroblasts exposed to 836.62 and 847.74 MHz cellular phone communication frequency radiation. *Radiat. Res.* 15 (3): 300-309
- Government Computing 2003: Kabellose Netzwerke: Sicherheitslösungen für WLAN boomen. *Government Computing*, 06/2003: 14
- Graeve C. 2001: M-Commerce-Mobilität, Machbarkeit und Manie. *HMD* 220: 5-14. Zitiert in Lehner 2003 S. 243

- Grayson J.K. 1996: Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study. *Am. J. Epidemiol.* 143 (5): 480-486
- Grospietsch T., Schulz O., Hölzel R., Lamprecht I. & Kramer K.-D. 1995: Stimulating effects of modulated 150 MHz electromagnetic fields on the growth of *Escherichia coli* in a cavity resonator. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 37 (1): 17-23
- Guillooard K., Bertin P., Khouaja Y., Rault J.-C. & Bonnin J.-M. 2003: Network-controlled mobility within radio access networks based on WLAN technologies. *Ann. Telecommun.* 58 (3-4): 369-396
- Haarala C., Björnberg L., Ek M., Laine M., Revonsuo A., Koivistu M. & Hämäläinen H. 2003: Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: a replication study. *Bioelectromagnetics* 24 (4): 283-288
- Hallberg O. & Johansson O. 2002: Melanoma incidence and frequency modulation (FM) broadcasting. *Arch. Environ. Health* 57 (1): 32-41
- Hanada E., Hoshino Y., Oyama H., Watanabe Y. & Nose Y. 2002: Negligible electromagnetic interaction between medical electronic equipment and 2,4 GHz band wireless LAN. *J. Med. Syst.* 26 (4): 301-308
- Hardell L., Hallquist A., Hansson Mild K., Carlberg M., Pahlson A. & Lilja A. 2002: Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumors. *Eur. J. Canc. Prev.* 11 (4): 377-386
- Hardell L., Hansson Mild K. & Carlberg M. 2003 a: Further Aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int. J. Oncol.* 22 (2): 399-407
- Hardell L., Hansson Mild K., Sandström M., Carlberg M., Hallquist A. & Pahlson A. 2003 b: Vestibular schwannoma, tinnitus and cellular telephones. *Neuroepidemiol.* 22 (2): 124-129
- Harmer J.A. 2003: Mobile multimedia services. *BT Technol. J.* 21 (3): 176
- Heikkinen P., Kumlin T., Laitinen J.T., Komulainen H. & Juutilainen J. 1999: Chronic exposure to 50-Hz magnetic fields or 900-MHz electromagnetic fields does not alter nocturnal 6-hydroxymelatonin sulfate secretion in CBA/S mice. *Electro- Magnetobiol.* 18 (1): 33-42
- Heinrich W. 2001: Trendanalyse. Unternehmen zeigen Mobile Computing die kalte Schulter. In: *Computer Zeitung*, Nr. 1+2, Leinfelden. Zitiert in Lehner 2003 S. 234
- Heise-Newsticker 24.4.2003: PDA-Absatz geht weiter zurück. <http://www.heise.de/mobil/newsticker/meldung/36354>
- Heise-Newsticker 20.6.2003: Marktforscher warnen vor 'WLAN-Blase'. <http://www.heise.de/newsticker/data/anw-20.06.03-004/>
- Heise-Newsticker 1.9.2003: Statistiker weiter uneins über deutschen Notebook-Markt. <http://www.heise.de/newsticker/data/jow-01.09.03-000/>
- Hennies K., Neitzke H. P. & Voigt H. 2000: Mobilfunk und Gesundheit – Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes. Gutachten im Auftrag der Fa. T-Mobil
- Herbst T. 2002: WLAN versus UMTS. *e-commerce magazin*, 04/2002: 52-54
- Herr C.W.W., zur Nieden A., Lindenstruth M., Stilianakis I. & Eikmann T.F. 2003: Zusammenhänge zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und berichteter Schlafqualität im Pittsburgh Sleep Qualitätsindex (PSQI). *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 38 (3): V50
- Hietanen M., Hämäläinen A.-M. & Husman T. 2002: Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. *Bioelectromagnetics* 23 (4): 264-270
- Hietanen M., Kovala T. & Hämäläinen A.-M. 2000: Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand. J. Work Environ. Health* 26 (2): 87-92

- Hillert L., Berglind N., Arnetz B.B. & Bellander T. 2002: Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scand. J. Work Environ. Health* 28 (1): 33-41
- Hills A. 2001: Large-scale wireless LAN design. *IEEE Commun. Mag.* 39 (11): 98-104
- Hocking B., Gordon I.R., Grain H.L. & Hatfield G.E. 1996: Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Austral.* 165 (11-12): 601-605
- Hossmann K.-A. & Hermann D.M. 2003: Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 24 (1): 49-62
- Huber R., Graf T., Cote C.A. u.a. 2000: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuro Report* 11 (15): 3321-3325
- Huber R., Schuderer J., Graf T., Jütz K., Borbély A.A., Kuster N. & Achermann P. 2003: Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 24 (4): 262-276
- Hutter H.-P., Moshammer H. & Kundi M. 2002: Mobile telephone base-stations: effects on health and wellbeing. *Proc. of Biol. Effects of EMFs, 2nd Intern. Workshop, Rhode, Oct. 2002* : 344-352
- ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - 1998: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74 (4): 494-521
- IDC 2002 a: Worldwide wireless LAN equipment market forecast and analysis, 2002-2006. Zitiert in *NordicWirelessWatch* 12.6.2002: Wireless and mobile infrastructure to reach \$ 37.42 bn by 2006. http://www.nordicwirelesswatch.com/wireless/story.html?story_id=1740
- IDC 2002 b: Worldwide wireless LAN equipment market forecast and analysis. Zitiert in *ZDNet: WLAN wird 2006 ein 3,72 Mrd. Dollar-Markt*, 12.4.2002. <http://www.zdnet.de/news/business/0,39023142,2108291,00.htm>
- IDC 2003: Western European PC market analysis. Zitiert in *Golem* 17.10.2003: Notebook-Verkäufe gehen durch die Decke. <http://www.golem.de/0310/27994.html>
- IDC 16.5.2003: Western European Wireless Hot-Spot forecast 2002-2007. Pressemitteilung. <http://www.marketresearch.com/map/prod/893431.html>. Zitiert in *NordicWirelessWatch* 28.5.2003: 800 000 European Hot-Spots by 2007. http://www.nordicwirelesswatch.com/wireless/story.html?s=4&story_id=3141
- IDC 13.8.2003: IDC: Heimanwender beäugen LANs kritisch. *TecChannel*. <http://www.techannel.de/news/20030813/thema20030813-11524.html>
- Imaida K., Taki M., Watanabe S., Kamimura Y., Ito T., Yamaguchi T., Ito N. & Shirai T. 1998 b: The 1.5 GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Jpn. J. Cancer Res.* 89 (10): 995-1002
- Imaida K., Taki M., Yamaguchi T., Ito T., Watanabe S., Wake K., Aimoto A., Kamimura Y., Ito N. & Shirai T. 1998 a: Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium term liver bioassay. *Carcinogenesis* 19 (2): 311-314
- Information-Week 19.10.2003: Smartphones auf der Überholspur. <http://www.informationweek.de/index.php3?/channels/channel29/031828.htm>
- Inskip P.D., Tarone R.E., Hatch E.E. u.a. 2001: Cellular-telephone use and brain tumors. *N. Engl. J. Med.* 344 (2): 79-86
- In-Stat Group 2001: Wild wireless LAN market expected to weather economic downturn. 16.4.2001. http://www.instat.com/pr/2001/ln0102wl_pr.htm
- IT Business News 2003: Netzbetreiber gehören zu den Gewinnern. *IT Business News* 5/2003: 22
- Jarupat S., Kawabata A., Tokura H. & Borkiewicz A. 2003: Effects of the 1900 MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on nocturnal melatonin secretion. *J. Physiol. Anthropol.* 22 (1): 61-63

- Jech R., Sonka K., Ruzicka E., Nebuzelsky A., Bohm J., Juklickova M. & Nevsimalova S. 2001: Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 22 (7): 519-528
- Johansen C., Boice J.D., McLaughlin J.K. & Olsen J.H. 2001: Cellular telephones and cancer - a nationwide cohort study in Denmark. *J. Nat. Canc. Inst.* 93 (3): 203-207
- Kabachinski J. 2000: Learning the fundamentals of wireless local area network. *Biomed. Instrum. Technol.* 34 (6): 442-445
- Kabachinski J. 2001: Wireless local area network fundamentals: part 2. *Biomed. Instrum. Technol.* 35 (1): 64-66
- Kadelka A. & Masella A. 2001: Serving IP quality of service with hiper LAN/2. *Comp. Netw.* 37 (1): 17-24
- Kane J. & Yen D.C. 2002: Breaking the barriers of connectivity: an analysis of the wireless LAN. *Computer Standards & Interfaces* 24 (1): 5-20
- Karbstein W. 2003: Die Konvergenz mobiler Kommunikation. *Wireless e-Business - Die Freiheit nehm´ich mir.* IT Fokus 3/2003: 34-37
- Kartes Ch. 2002: Drahtlose Zukunft. *funkschau* 3/2002: 16-18
- Kass G.E.N. & Orrenius S. 1999: Calcium signaling and cytotoxicity. *Environ. Health Persp.* 107, Suppl. 1: 25-35
- Khun-Jush J., Schramm P., Malmgren G. & Torsner J. 2002: HiperLAN2: broadband wireless communications at 5 GHz. *IEEE Commun. Mag.* 40 (6): 130-136
- Kimata H. 2002: Enhancement of allergic skin wheal responses by microwave radiation from mobile phones in patients with atopic eczema/dermatitis syndrome. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 129 (4): 348-350
- Kleinhüchelkotten S., Neitzke H.-P. & Schlußmeier B. 2002: Milieuspezifische Muster der Wahrnehmung und Bewertung von Umwelt- und Gesundheitsrisiken. Im Rahmen des Projekts 'Kommunikation für eine nachhaltige Entwicklung', gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Klostermann D. 1999: Drahtlose Funk-LAN Systeme – Betrachtungen zur Sicherheit beim Einsatz von FunkLANs in medizinischen Einrichtungen. *FunkConsult Network Systems GmbH im Auftrag von Lucent Technologies*
- Kobayashi M., Harumyama S., Kohno R. & Nakagawa M. 2002: Optimal access point placement in simultaneous broadcast OFDM for public access wireless LAN. *IEICE Trans. Commun.* E85B (10): 1978-1985
- Koivisto M., Haarala C., Krause C.M., Revonsuo A., Laine M. & Härmäläinen H. 2001: GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 22 (3): 212-215
- Koivisto M., Krause C.M., Revonsuo A., Laine M. & Härmäläinen H. 2000 b: The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuro Report* 11 (8): 1641-1643
- Koivisto M., Revonsuo A., Krause C. u.a. 2000 a: Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuro Report* 11 (2): 413-415
- Krause C.M., Sillanmäki L., Koivisto M. u.a. 2000 a: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuro Report* 11 (4): 761-764
- Krause C.M., Sillanmäki L., Koivisto M. u.a. 2000 b: Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int. J. Radiat. Biol.* 76 (12): 1659-1667
- Kundi M. 2001: Erste Ergebnisse der Studie über Auswirkungen von Mobilfunk-Basisstationen auf Gesundheit und Wohlbefinden. Institut für Umwelthygiene, AG für Arbeits- und Sozialhygiene, Kinderspitalgasse 15, A 1095 Wien
- Kundi M. 2003: Comments on "Long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence" by Utteridge et al. *Radiat. Res.* 158, 357-364 (2002). *Radiat. Res.* 159 (2): 274
- Kurth, M. 2002: UMTS und/oder WLAN. Rede zur Freigabe des 5 GHz-Bereichs für WLANs, Pressekonferenz 9. Juli 2002. <http://www.regtp.de/aktuelles/02600/01/>

- Kwee S. & Raskmark P. 1998: Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation 2. Microwave radiation. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 44 (2): 251-255
- Kwee S. & Raskmark P. 1999: Radiofrequency electromagnetic fields and cell proliferation. in: Bersani (Hrsg.): *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, Kluwer, Dordrecht: 187-190
- Kwee S., Raskmark P. & Velizarov S. 2001: Changes in cellular proteins due to environmental non ionizing radiation. I. Heat-shock proteins. *Electro- Magnetobiol.* 20 (2): 141-152
- Lai H., Carino M. & Singh N. 1997: Naltrexone blocks RFR-induced DNA double strand breaks in rat brain cells. *Wireless Networks* 3 (6): 471-476
- Lai H. & Singh N.P. 1995: Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 16 (3): 207-210
- Lai H. & Singh N.P. 1996: Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 69 (4): 513-521
- Lai H. & Singh N.P. 1997: Melatonin and a spin trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 18 (6): 446-454
- Lalic H., Lekic A. & Radosevic-Stasic B. 2001: Comparison of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from people occupationally exposed to ionizing and radiofrequency radiation. *Acta Medica Okayama* 55 (2): 117-127
- Lancranjan I., Maicanescu M., Rafaila E., Klepsch I. & Popescu H.I. 1975: Gonadic function in workman with long-term exposure to microwaves. *Health Phys.* 29 (3): 381-383
- LanLine 2003: Neue Gerätegeneration mit 54 MBit/s. www.lanline.de/O/148/Y/83838/default.aspx 05/2003
- Larsen A.I. 1991: Congenital malformations and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among Danish physiotherapists. *Scand. J. Work Environ. Health* 17 (5): 318-323
- Larsen A.I., Olsen J. & Svane O. 1991: Gender specific reproductive outcome and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among physiotherapists. *Scand. J. Work Environ. Health* 17 (5): 324-329
- Lass J., Tuulik V., Ferenets R., Riisalo R. & Hinrikus H. 2002: Effects of 7 Hz-modulated 450 MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. *Int. J. Radiat. Biol.* 78 (10): 937-944
- Lebedeva N.N., Sumilov A.V., Sulimova O.P., Kotrovskaya T.I. & Gailus T. 2000: Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Crit. Rev. Biomed. Engin.* 28 (1&2): 323-337
- Lebedeva N.N., Sumilov A.V., Sulimova O.P., Kotrovskaya T.I. & Gailus T. 2001: Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Critical Rev. Biomed. Engin.* 29 (1): 61-69
- Lee T.C.M., Ho S.M.Y., Tsang L.Y.H., Yang S.Y.C., Li L.S.W. & Chan C.C.H. 2001: Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport* 12 (4): 729-731
- Lehner F. 2003: *Mobile und drahtlose Informationssysteme. Technologie, Anwendungen, Märkte.* Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Lenzini L. & Mingozzi E. 2001: Performance evaluation of capacity request and allocation mechanisms for hiper LAN2 wireless LANs. *Comp. Netw.* 37 (1): 5-15
- Lerchl A. 2003: Comments on the recent publication on microwave effects on ep-Pim1 transgenic mice (Utteridge et al., *Radiat. Res.* 158, 357-364, 2002). *Radiat. Res.* 159 (2): 276
- Lerman Y., Jacobovich R. & Green M.S. 2001: Pregnancy outcome following exposure to shortwaves among female phyiotherapists in Israel. *Am. J. Ind. Med.* 39 (5): 499 -504
- Leszczynski D., Joenväärä S., Reivinen J. & Kuokka R. 2002: Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 70 (2-3): 120-129

- Levallois P., Neutra R., Lee G. & Hristova L. 2002: Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. *Environ. Health Persp.* 110, Suppl. 4: 619-623
- LfU (Hrsg.) – Bayerisches Landesamt für Umweltschutz – 2003: Schirmung elektromagnetischer Wellen im persönlichen Umfeld
- Li J.R., Chou C.K., McDougall J.A., Dasgupta G., Wu H.-H., Ren R.L., Lee A., Han J. & Momand J. 1999: TP53 tumor suppressor protein in normal human fibroblasts does not respond to 837 MHz microwave exposure. *Radiat. Res.* 151 (6): 710-716
- Lin-Liu S. & Adey W.R. 1982: Low frequency amplitude modulated microwave fields change calcium efflux rates from synaptosomes. *Bioelectromagnetics* 3 (3): 309-322
- Linz K.W., Westphalen C. von, Streckert J., Hansen V. & Meyer R. 1999: Membrane potential and currents of isolated heart muscle cells exposed to pulsed radio frequency fields. *Bioelectromagnetics* 20 (8): 497-511
- Löscher W. & Käs G. 1998: Auffällige Verhaltensstörungen bei Rindern im Bereich von Sendeanlagen. *Prakt. Tierarzt* 79 (5): 437-444
- Lu Y., Bhargava B., Wang W., Zhong Y. & Wu X. 2003: Secure wireless network with movable base stations. *IEICE Trans. Commun.* E86B (10): 2922-2930y
- Luo H., Jiang Z., Kim B.-J., Shankaranarayanan N.K. & Henry P. 2003: Integrating wireless LAN and cellular data for the enterprise. *IEEE Internet Comp.* 7 (2): 25-33
- Lyle D.B., Schechter P., Adey W.R. & Lundak R.L. 1983: Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modulated fields. *Bioelectromagnetics* 4 (3): 281-292
- Maeda Y., Takaya K. & Kuwabara N. 1999: Experimental investigation of propagation characteristics and performance of 2.4 GHz ISM band wireless LAN in various indoor environments. *IEEE Trans. Commun.* E82B (10): 1677-1683
- Maes A., Collier M., van Gorp U., Vandoninck S. & Verschaeve L. 1997: Cytogenic effects of 935.2-MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C. *Mutat. Res.* 393 (1-2): 151-156
- Maes A., Collier M., Slaets D. & Verschaeve L. 1995: Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (945 MHz). *Electro- Magnetobiol.* 14 (2): 91-98
- Maes A., Collier M., Slaets D. & Verschaeve L. 1996: 945 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C. *Environ. Mol. Mutagen.* 28 (1): 26-30
- Maes A., Collier M. & Verschaeve L. 2001: Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 22 (2): 91-96
- Maes A., Verschaeve L., Arroyo A., De Wagter C. & Vercruyssen L. 1993: In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 14 (6): 495-501
- Magras I.N. & Xenos T.D. 1997: RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics* 18 (6): 455-461
- Malyapa R.S., Ahern E.W., Bi C., Straube W.L., LaRegina M., Pickard W.F. & Roti Roti J.L. 1998: DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiat. Res.* 149: 637-645
- Malyapa R., Ahern E.W., Straube W.L., Moros E.G., Pickard W.F. & Roti Roti J.L. 1997 a: Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiat. Res.* 148 (6): 608-617
- Malyapa R., Ahern E.W., Straube W.L., Moros E.G., Pickard W.F. & Roti Roti J.L. 1997 b: Measurement of DNA damage after exposure to electromagnetic radiation in the cellular phone communication frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiat. Res.* 148 (6): 618-627
- Mann K., Wagner P., Brunn G., Hassan F., Hiemke C. & Röschke J. 1998: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrin.* 67 (2): 139-144

- Mashevich M., Folkman D., Kesar A., Barbul A., Kerenstein R., Jerby E. & Avivi L. 2003: Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics* 24 (2): 82-90
- McNamee J.P., Bellier P.V., Gajda G.B., Lavallee B.F., Marro L., Lemay E.P. & Thansandote A. 2003: No evidence for genotoxic effects from 24 h exposure of human leukocytes to 1.9 GHz radiofrequency fields. *Radiat. Res.* 159 (5): 693-697
- McNamee J.P., Bellier P.V., Gajda G.B., Miller S.M., Lemay E.P., Lavallee B.F., Marro L. & Thansadote A. 2002 a: DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. *Radiat. Res.* 158 (4): 523-533
- McNamee J.P., Bellier P.V., Gajda G.B., Miller S.M., Lemay E.P., Lavallee B.F., Marro L. & Thansadote A. 2002 b: DNA damage in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiat. Res.* 158 (4): 534-537
- Merritt J.H., Shelton W.W. & Chamness A.F. 1982: Attempts to alter 45 Ca^{2+} binding to brain tissue with pulse-modulated microwave energy. *Bioelectromagnetics* 3 (4): 475-478
- Michelozzi P., Capon A., Kirchmayer U., Forastiere F., Biggeri A., Barca A. & Perucci C. 2002: Adult and childhood leukemia near a high-power station in Rome, Italy. *Am. J. Epidemiol.* 155 (12): 1096-1103
- Mickley G.A. & Cobb B.L. 1998: Thermal tolerance reduces hyperthermia-induced disruption of working memory: a role for endogenous opiates? *Physiol. Behav.* 63 (5): 855-865
- Mickley G.A., Cobb B.L., Mason P.A. & Farrell S.T. 1994: Disruption of a putative working memory task and selective expression of brain c-fos following microwave-induced hyperthermia. *Physiol. Behav.* 55 (6): 1029-1038
- mittelstandsportal.de/Archiv/newsletter050.html 1.4.2002: Vier von zehn Internet- Nutzern sind bereit für Online-Inhalte zu bezahlen
- mittelstandsportal.de/Archiv/newsletter066.html 1.5.2003: WLAN verdrängt UMTS
- Miyakoshi J., Yoshida M., Tarusawa Y., Nojima T., Wake T. & Taki M. 2002: Effects of high-frequency electromagnetic fields on DNA strand breaks using comet assay method. *Electr. Engin. Jpn.* 141 (4): 9-15
- Morgan R.W., Kelsh M.A., Zhao K., Exuzides K.A., Heringer S. & Negrete W. 2000: Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiol.* 11 (2): 118-127
- Müller B. 2002: Technik von Funknetzen. www.pcwelt.de/ratgeber/extras/26976/6.html
- Muscat J.E., Malkin M.G. u.a. 2000: Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *J. Am. Med. Assoc.* 284 (23): 3001-3007
- Muscat J.E., Malkin M.G., Shore R.E., Thompson S., Neugut A.I., Stellman S.D. & Bruce J. 2002: Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 58 (8): 1304-1306
- Nakamura H., Seto T., Nagase H., Yoshida M., Dan S. & Ogino K. 1997: Effects of exposure to microwaves on cellular immunity and placental steroids in pregnant rats. *Occup. Environ. Med.* 54 (9): 676-680
- Navarro E.A., Segura J., Portolés M. & Gómez-Perretta de Mateo C. 2003: The Microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagn. Biol. Med.* 22 (2): 161-169
- Neitzke H.-P., Hennies K. & Voigt H. 2001: Gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder – Klassifizierung der wissenschaftlichen Evidenz. Diskussionspapier für eine Workshop-Reihe des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Strahlenschutzkommission
- Neitzke H.-P., Koeller C., Osterhoff J., Peklo K., Takac T. & Voigt H. 2003: Expositionen in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen. 1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes 'Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen' untersucht werden". Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit/Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms

- Neitzke H.-P. & Voigt H. 2002: Expositionen in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen. Gutachten im Auftrag von Städten, Gemeinden und Mobilfunknetzbetreibern
- Neitzke H.-P. & Voigt H. 2003: HF-Emissionen von schnurlosen Telefonen und W-LANs. Gutachten im Auftrag der Fa. net-X-web, Hannover
- Network World 9.5.2003: Unternehmen werden mobil. Network World 5/2003: 22
- Network World 9.5.2003: Wireless LAN macht mobil. Network World 5/2003: 23
- Nova-Institut 2001: Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen. Gutachten im Auftrag der Universität Bremen
- Novoselova E.G., Fesenko E.E., Makar V.R. & Sadovnikov V.B. 1999: Microwaves and cellular immunity II. Immunostimulating effects of microwaves and naturally occurring antioxidant nutrients. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 49 (1): 37-41
- NTTDocomo 2003: Subscriber Info. <http://www.nttdocomo.com/companyinfo/subscriber.html>
- Oftedal G., Wilén J., Sandström M. & Hansson Mild K. 2000: Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup. Med. - Oxf.* 50 (4): 237-245
- Öko-Test 2002: Es hat gefunkt – WLAN-Hotspots. *Öko-Test* 11/2002: 126-129
- Öko-Test 2003: Unsichtbare Netze – WLAN-Zugangsknoten. *Öko-Test* 10/2003: 108-111
- Oscar K.J. & Hawkins T.D. 1977: Microwave alteration of the blood-brain barrier system of rats. *Brain Res.* 126 (2): 281-293
- Ouellet-Hellstrom R. & Stewart W.F. 1993: Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation. *Am. J. Epidemiol.* 138 (10): 775-786
- Pacini S., Ruggiero M., Sardi I., Aterini S., Gulisano F. & Gulisano M. 2002: Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation and morphology of human skin fibroblasts. *Oncol. Res.* 13 (1): 19-24
- Pauli P. & Moldan D. 2003: Reduzierung hochfrequenter Strahlung – Baustoffe und Abschirmmaterialien. 2. Aufl. Selbstverlag
- Paulraj R. & Behari J. 2002: The effect of low level continuous 2,45 GHz waves on enzymes of developing rat brain. *Electromagn. Biol. Med.* 21 (3): 221-231
- PC-Welt 26.3.2003: Analysten: Smartphones überholen in diesem Jahr PDAs. <http://www.pcwelt.de/news/hardware/29987/>
- Persson B.R., Salford L.G. & Brun A. 1997: Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication. *Wireless Networks* 3 (6): 455-461
- Persson B.R., Salford L.G., Brun A., Eberhardt J.L. & Malmgren L. 1992: Increased permeability of the blood-brain barrier induced by magnetic and electromagnetic fields. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 649: 356-358
- Preece A.W., Iwi G., Davies-Smith A., Wesnes K., Butler S., Lim E. & Varey A. 1999: Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int. J. Radiat. Biol.* 75 (1-2): 447-456
- Produktion 12.6.2003: Noch einige Probleme beim Industrie-Funk. *Produktion* 24/2003: 16
- Radon K., Parera D., Rose D.-M., Jung D. & Vollrath L. 2001: No effect of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetics* 22 (4): 280-287
- Raslear T.G., Akyel Y., Bates F., Belt M. & Lu S.-T. 1993: Temporal bisection in rats: the effect of high-peak-power pulsed microwave irradiation. *Bioelectromagnetics* 14 (5): 459-478

- Rauch, Ch. 2001: Das vernetzte Haus gewinnt Profil. Funkschau 12/2001: 18-20. Zitiert in Lehner 2003 S. 236
- Reg TP 13.10.2003: www.regtp.de/Service/start/fs_02.htm
- Reiser H., Dimpfel W. & Schober F. 1995: The influence of electromagnetic fields on human brain activity. Eur. J. Med. Res. 1 (1): 27-32
- Repacholi M.H., Basten A., Gebiski V., Noonan D., Finnie J. & Harris A.W. 1997: Lymphomas in μ -Pim 1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. Radiat. Res. 147 (5): 631-640
- Ritzer W. 2001: Mobile Data. Die Suche nach Killerapplikationen. Funkschau (2): 46-48. Zitiert in Lehner 2003 S. 234
- Röösl M. & Rapp R. 2003: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. BUWAL Umwelt-Materialien 162: 1-13
- Rolfe A. 2002: Wireless LAN equipment market: strong growth set to continue. Gartner Dataquest (10/2002)
- Roth J. 2002: Mobile Computing. Dpunkt.verlag, Heidelberg
- Roti Roti J.L., Malyapa R.S., Bisht K.S., Ahern E.W., Moros E.G., Pickard W.F. & Straube W.L. 2001: Neoplastic transformation in C3H 10T1/2 cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 84.74 MHz CDMA radiations. Radiat. Res. 155 (1 Pt.2): 239-247
- Ruppe I., Hentschel K., Eggert S. u.a. 1999: Wirkungen von niederfrequenten gepulsten Feldern auf den Menschen - Fallbeschreibungen und Untersuchungen an Probanden. Veröffentlichungen der SSK 38: 123-134
- Sagripani J.-L. & Swicord M.L. 1986: DNA structural changes caused by microwave radiation. Int. J. Radiat. Biol. 50 (1): 47-50
- Salford L.G., Brun A.E., Eberhardt J.L., Malmgren L. & Persson B.R.R. 2003: Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environ. Health Persp. 111 (7): 881-883
- Salford L.G., Brun A., Eberhardt J.L. & Persson B.R.R. 1993 b: Permeability of the blood brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. Bioelectrochem. Bioenerg. 30: 293-301
- Salford L.G., Brun A., Persson B.R.R. & Eberhardt J. 1993 a: Experimental studies of brain tumour development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. Bioelectrochem. Bioenerg. 30: 313-318
- Salford L.G., Brun A., Stureson K., Eberhardt J.L. & Persson B.R.R. 1994: Permeability of the blood brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. Micros. Res. Techn. 27 (4): 535-542
- Sandström M., Wilén J., Oftedal G. & Hansson Mild K. 2001: Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. Occup. Med. 51 (1): 25-35
- Santini R., Seigne M., Bonhomme-Faivre L., Bouffet S., Defrasne E. & Sage M. 2002 a: Symptoms experienced by users of digital cellular phones: a study of a french engineering school. Electromagn. Biol. Med. 21 (1): 81-88
- Santini R., Santini P., Danze J.M., Le Ruz P. & Seigne M. 2002 b: Study of the Health of people living in the vicinity of mobile phone base stations: I. Influences of distance and sex. Pathol. Biol. (Paris) 50 (6): 369-373
- Santini R., Santini P., Danze J.M., Le Ruz P. & Seigne M. 2003 a: Symptoms experienced by people in the vicinity of base stations: II. Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and the electromagnetic factors. Pathol. Biol. (Paris) 51 (7): 412-415
- Santini R., Santini P., Le Ruz P., Danze L.M. & Seigne M. 2003 b: Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. Electromagn. Biol. Med. 22 (1): 41-49
- Sarkar S., Ali S. & Behari J. 1994: Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis. Mutat. Res. 320 (1-2): 141-147

- Saunders R.D., Kowalczyk C.I., Beechey C.V. & Dunford R. 1988: Studies on the induction of dominant lethals and translocations in male mice after chronic exposure to microwave radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 53 (6): 983-992
- Schreiber G.A. 2002: UMTS: Märkte, Potentiale, Geschäftsmodelle. Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst Köln.
- Shallom J.M., Di Carlo A.L., Ko D.J., Penafiel L.M., Nakai A. & Litovitz T.A. 2002: Microwave exposure induces hsp70 and confers protection against hypoxia in chick embryos. *J. Cell. Biochem.* 86 (3): 490-496
- Sienkiewicz Z.J., Blackwell R.P., Haylock R.G.E., Saunders R.D. & Cobb B.L. 2000: Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics* 21 (3): 151-158
- Smart-Research 2003: Zwei Drittel der Internetnutzer sind bereit, für Web-Inhalte zu bezahlen. Pressemitteilung. 03.02.2003, www.smart-research.de
- SSK – Strahlenschutzkommission - 1999: Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder (bis 300 GHz). Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung (im Anhang: Deutsche Übersetzung der ICNIRP-"Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bd. 23. Urban & Fischer, München, Jena
- SSK – Strahlenschutzkommission – 2001: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlung der Strahlenschutzkommission
- SSK – Strahlenschutzkommission – 2003: Neue Technologien (einschließlich UMTS): Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlung der Strahlenschutzkommission
- Stadt Düsseldorf 16.6.2003: Mobiles Internet in ganz Düsseldorf. Pressemitteilung. http://www.duesseldorf.de/presse/pld/d2003/d2003_06/d2003_06_16/p12746.shtml
- Stagg R.B., Hawel L.H., Patorian K., Cain C., Adey W.R. & Byus C.V. 2001: Effect of immobilization and concurrent exposure to a pulse-modulated microwave field on core body temperature, plasma ACTH and corticosteroid, and brain ornithin decarboxylase, fos and jun mRNA. *Radiat. Res.* 155 (4): 584-592
- Stagg R.B., Thomas W.J., Jones R.A. & Adey W.R. 1997: DNA synthesis and cell proliferation in C6 glioma and primary glial cells exposed to a 836.55 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 18 (3): 230-236
- Stang A., Anastassiou G., Ahrens W., Bromen K., Bornfeld N. & Jöckel K.-H. 2001: The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiol.* 12 (1): 7-12
- Szmigielski S., Szudinski A., Pietraszek A., Bielec M. & Wrembel J.K. 1982: Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 3 (2): 179-191
- Tan K.-S. & Hinberg I. 2000: Effects of a wireless local area network (LAN) system, a telemetry system, and electrosurgical devices on medical devices in a hospital environment. *Biomed. Instrum. Technol.* 34 (2): 115-118
- Tattersall J.E.H., Scott I.R., Wood S.J. u.a. 2001: Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices. *Brain Res.* 904 (1): 43-53
- Teltarif 2002: Mobilfunkanbieter im UMTS Fieber. 6.12.2002 www.teltarif.de/arch/2002/kw51/s9493.html
- Telekom-Presse 25.8.2003: Umsatz mit mobilen Datendiensten wächst. http://www.telekom-presse.at/channel_mobile/news_10245.html
- Thuróczy G., Kubinyi G., Bodo M., Bakos J. & Szabo L.D. 1994: Simultaneous response of brain electrical activity (EEG) and cerebral circulation (REG) to microwave exposure in rats. *Rev. Environ. Health* 10 (2): 135-148
- Tice R.R., Hook G.G., Donner M., McRee D.I. & Guy A.W. 2002: Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* 23 (2): 113-126

- Toler J., Popovic V., Bonasera S., Popovic C., Honeycutt C. & Sgoutas D. 1988: Long-term study of 435 MHz radio-frequency radiation on blood-borne and points in cannulated rats. Part II: Methods, results, and summary. *J. Microwave Power Electromagn. Energy* 23 (2): 105-136
- Tornqvist S., Knave B., Ahlbom A. & Persson T. 1991: Incidence of leukemia and brain tumors in some "electrical occupations". *Br. J. Ind. Med.* 48 (9): 597-603
- Treiber-Forum 11.3.2002: LANCOM Systems stellt neue 54 MBit/s Funknetzwerkadapter vor. <http://www.treiber-forum.de/news/news.php4?nr=1132>
- Trosic I., Busljeta I., Kasuba V. & Rozzgaj R. 2002: Micronucleus induction after whole-body microwave irradiation of rats. *Mutat. Res.* 521 (1-2): 73-79
- Tsurita G., Nagawa H., Ueno S., Watanabe S. & Taki M. 2000: Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 21 (5): 364-371
- Utterige T.D., Gebiski V., Finnie J.W., Vernon-Roberts B. & Kuchel T.R. 2002: Long-term exposure of E μ -Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat. Res.* 158 (3): 357-364
- UWB-Teleservice 2002: Hinweis auf eine Marktstudie über den Komponentenmarkt UWB von Advanced Strategies for Integrated Solutions Inc. www.asisinc.com. <http://www.uwb.org/news/articles/TeleserviceNewsAug02.pdf>
- van Dorp R., Marani E. & Boon M. E. 1998: Cell replication rates and processes concerning antibody production in vitro are not influenced by 2.45-GHz microwaves at physiologically normal temperatures. *Methods* 15 (2): 151-159
- Vangelova K., Israel M. & Mihaylow S. 2002: The effect of low level radiofrequency electromagnetic radiation on the excretion rates of stress hormones in operators during 24-hour shifts. *Centr. Eur. J. Publ. Health* 10 (1-2): 24-28
- VBG – Verwaltungs-Berufsgenossenschaft – 2001: Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit BGV B11: Unfallverhütungsvorschrift 'Elektromagnetische Felder'
- VDC 2002: Venture Development Corp. www.vdc-corp.com. *Control Eng.* 49 (3): 15
- Vijayalaxmi, Bisht K.S., Pickard W.F., Meltz M.L., Roti Roti J.L. & Moros E. 2001 b: Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiat. Res.* 156 (4): 430-432
- Vijayalaxmi, Frei M.R., Dusch S.J., Guel V., Meltz M.L. & Jauchem J.R. 1997 a: Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* 147 (4): 495-500
- Vijayalaxmi, Frei M.R., Dusch S.J., Guel V., Meltz M.L. & Jauchem J.R. 1998: Correction of an error in calculation in the article "Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation". *Radiat. Res.* 149 (3): 308
- Vijayalaxmi, Leal B.Z., Szilagyi M., Prihoda T.J. & Meltz M.L. 2000: Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* 153 (4): 479-486
- Vijayalaxmi, Mohan N., Meltz M.L. & Wittler M.A. 1997 b: Proliferation and cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450-MHz radiofrequency radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 72 (6): 751-757
- Vijayalaxmi, Pickard W.F., Bisht K.S., Leal B.Z., Meltz M.L., Roti Roti J.L., Straube W.L. & Moros E. 2001 a: Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat. Res.* 155 (1 Pt. 1): 113-121
- Vijayalaxmi, Pickard W.F., Bisht K.S., Prihoda Z.J., Meltz M.L., LaRegina M.C., Roti Roti J.L., Straube W.L. & Moros E. 2001 c: Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 77 (11): 1109-1115
- Vijayalaxmi, Sasser, L.B., Morris J.E., Wilson B.W. & Anderson L.E. 2003: Genotoxic potential of 1.6 GHz wireless communications signal: in vivo two-year bioassay. *Radiat. Res.* 159 (4): 558-564

- Vijayalaxmi, Seaman R.L., Belt M.L., Doyle J.M., Mathur S.P. & Prihoda T.J. 1999: Frequency of micronuclei in the blood and bone marrow cells of mice exposed to ultra-wideband electromagnetic radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 75 (1): 115-120
- Vollrath L., Spessert R., Kratzsch T., Keiner M. & Hollmann H. 1997: No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on the mammalian pineal gland. *Bioelectromagnetics* 18 (4): 376-387
- Vorobyov V.V., Galchenko A.A., Kukushkin N.I. & Akoev I.G. 1997: Effects of weak microwave fields amplitude modulated at ELF on EEG of symmetric brain areas in rats. *Bioelectromagnetics* 18 (4): 293-298
- Wagner P., Röschke J., Mann K., Fell J., Hiller W., Frank C. & Grozinger M. 2000: Human sleep EEG under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power densities. *Neuropsychobiol.* 42 (4): 207-212
- Wagner P., Röschke J., Mann K., Hiller W. & Frank C. 1998: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19 (3): 199-202
- Wang B. & Lai H. 2000: Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats. *Bioelectromagnetics* 21 (1): 52-56
- Warren H.G., Prevatt A.A., Daly K.A. & Antonelli P.J. 2003: Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor. *Laryngoscope* 113 (4): 663-667
- WCM-online 27.8.2003: WLAN Blase kurz vorm Platzen?
<http://www.wcm.at/modules.php?name=News&file=article&sid=5464>
- Weinstein S. 2002: The mobile internet: Wireless LAN vs. 3G cellular mobile. *IEEE Commun. Mag.* 40 (2): 26
- Wendeln D. 13.11.2003: IFA: Keine einheitliche Technik für Homenetze in Sicht. *EETimes*
<http://www.eetimes.de/at/news/OEG20030902S0003>
- Weyandt T.B., Schrader S.M., Turner T.W. & Simon S.D. 1996: Semen analysis of military personnel associated with military duty assignments. *Reprod. Toxicol.* 10 (6): 521-528
- Wiedemann P., Mertens J. & Schütz H. 2000: Risikoabschätzung und Erarbeitung von Optionen für mögliche Vorsorgekonzepte für nichtionisierende Strahlung. Erster Projektbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik, September 2002
- Wilén J., Sandström M. & Hansson Mild K. 2003: Subjective symptoms among mobile phone users - a consequence of absorption of radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics* 24 (3): 152-159
- Winter M.-A. 2003: WLAN-Barometer: Deutschland Spitzenreiter. 29.9.2003 www.teltarif.de
- Wolke S., Neibig U., Elsner R., Gollnick F. & Meyer R. 1996: Calcium homeostasis of isolated heart muscle cells exposed to pulsed high-frequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 17 (2): 144-153
- Wu R.-H., Lee Y.-H. & Chen S.-A. 2001: Planning system for indoor wireless network. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 47 (1): 73-79
- Wu R.Y., Chiang H., Shao B.J., Li N.G. & Fu Y.D. 1994: Effects of 2.45 GHz microwave radiation and phorbol ester 12-o-tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromagnetics* 15 (6): 531-538
- Wuschek M. 2003: Ergebnisbericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Mobilfunkseanlagen. Messungen in einem Linienbus. Gutachten im Auftrag der Stadt Nürnberg
- www.de.internet.com 10.3.2003: Markt für Funk-LANs mit starkem Wachstum in Europa und den USA. Nach Berlecon Research GmbH: Marktanalyse Public Wireless LAN – Die Zukunft des Hot-Spot-Marktes in Deutschland. 16. Juli 2003.
- ZDNet 7.3.2003 Studie: Markt für 802.11-Chips wächst in 2003 um 80 Prozent.
<http://www.zdnet.de/news/business/0,39023142,2131591,00.htm>

ZDNet 23.4.2002: WLAN wird in Europa boomen. Unternehmensberatung Frost & Sullivan prognostiziert bis 2006 ein Marktvolumen von 1,09 Mrd. €. <http://www.zdnet.de/news/business/0,39023142,2108955,00.htm>

ZDNet 7.6.2002: SMS: Jugendliche tappen in die Schuldenfalle.
<http://www.zdnet.de/news/tkomm/0,39023151,2111491,00.htm>

Zhang M.-B., He J.-L., Jin L.-F. & Lu D.-Q. 2002: Study on low-intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleus test and comet assay in vitro. *Biomed. Environ. Sci.* 15 (4): 283-290

Zhao Z., Zhang S., Zho H., Zhang S., Su J. & Li L. 1994: The effects of radiofrequency (<30 MHz) radiation in humans. *Rev. Environ. Health* 10 (3-4): 213-215

Ziskin M.C. 2002: COMAR reports: electromagnetic hypersensitivity - a COMAR technical information statement. *IEEE Engin. Med. Biol.* 21 (5): 173-175

Zobel J. 2001: *Mobile business und m-Commerce*. München. Zitiert in Lehner 2003, S. 242

Zwamborn A.P.M., Vossen S.H.J.A., van Leersum B.J.A.M., Ouwens M.A. & Mäkel W.N. 2003: Effects of global communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. TNO-report FEL-03-C148