

MOBIL FUNK

in Liechtenstein

Eine Information der Regierung des
Fürstentums Liechtenstein

Regierung des Fürstentums Liechtenstein
Ressort Verkehr und Kommunikation
Ressort Umwelt, Raum, Land- und Waldwirtschaft



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung.....	3
2 Mobilfunk in Liechtenstein	4
2.1 Internationale Abkommen.....	4
2.2 Mobilfunkantennen	6
2.3 Roaming	8
3 Technische Grundlagen des Mobilfunks.....	9
3.1 Mobilität und Mobilfunk.....	9
3.1.1 Formen der Mobilität	9
3.1.2 Grade der Mobilität	10
3.2 Funktionsweise der mobilen Telekommunikation	10
3.2.1 Mobilfunknetzwerk	10
3.2.2 Mobil telefonieren	11
3.2.3 Übertragung von Nachrichten mittels elektromagnetischer Felder	12
3.3 Elektromagnetische Strahlung	12
3.4 Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage	13
3.4.1 Strahlen Mobiltelefone und Basisstationen dauernd?	17
3.4.2 Wie und wie stark strahlen Mobiltelefone und Basisstationen?	18
3.5 Strahlungsmessungen in Liechtenstein	20
4 Die Wirkung elektromagnetischer Felder auf Lebewesen	22
4.1 Herangehensweise in der Forschung.....	22
4.2 Gesundheitliche Wirkungen des Mobilfunks.....	23
4.2.1 Thermische Wirkungen	23
4.2.2 Nicht-thermische Wirkungen	23
4.3 Gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder	24
4.3.1 Elektrosensitivität und -sensibilität	24
4.3.2 Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) und die Beeinflussung durch elektromagnetische Felder	25
4.3.3 Der Skin Effekt	25
4.4 Weitere Fragen in Zusammenhang mit Gesundheit und Mobilfunk.....	27
4.4.1 Verursacht Mobilfunkstrahlung Kopfweh und Schlafstörungen?	27
4.4.2 Beeinflusst Mobilfunkstrahlung Hörgeräte?	27

4.4.3	Wie wirkt sich Mobilfunkstrahlung auf Herzschrittmacher aus?	27
4.4.4	Kann Mobilfunkstrahlung im Krankenhaus und im Flugzeug stören?	28
4.4.5	Ist es gefährlich, im Auto zu telefonieren?	28
4.4.6	Wieso gilt an Tankstellen ein Handyverbot?	28
5	Immissionsschutz und Grenzwerte.....	29
5.1	Entstehung von Grenzwerten	29
5.2	Grenzwerte im internationalen Vergleich	30
5.3	Sendeleistung und Grenzwerten.....	31
5.4	Welcher Unterschied besteht zwischen einem Mobiltelefon und einem schnurlosen Telefon?.....	33
5.5	Was bezeichnet der SAR-Wert bei Mobiltelefonen und Basisstationen?	33
6	Verwandte Systeme	35
6.1	Funkanwendungen mit ISM-Frequenzen	35
6.2	Anwendungen	35
6.3	DECT - Digitales schnurloses Telefonsystem	36
6.4	Bluetooth - Eine drahtlose Datenschnittstelle	36
6.5	Polycom (Sicherheitsfunksystem).....	37
6.6	Der Mikrowellenherd	37
6.7	Radaranlagen.....	38
6.7.1	Verkehrsradar	39
7	Schlussbetrachtung	40
8	Abkürzungen und weitere Informationen	41
	Weitere Informationen	42

1 Einleitung

Der Mobilfunk hat sich in den vergangenen Jahren zu einem wesentlichen Bestandteil des modernen Alltags in Beruf und Freizeit entwickelt. Unterschiedliche Personenkreise nutzen das Mobiltelefon als zentrales Kommunikationsmittel oder auch nur als ‚Sicherheits-Telefon‘. Das Mobiltelefon erlaubt es den Benutzern, mobil und doch erreichbar zu sein. Damit entspricht es einem massgeblichen Bedürfnis vieler Menschen und eröffnet neuen Handlungsfreiraum.

Dabei wird seit rund 1978 mobil telefoniert. Die ersten Techniken waren auf spezifische kommerzielle Nutzungen beschränkt. Erst mit dem so genannten Natel-C, das 1987 eingeführt wurde und dem darauf folgenden Natel-D, also dem heutigen Mobilfunk-Standard, setzte die massenhafte Nutzung dieser Technologie ein. Während das Mobiltelefon heute vor allem für Sprach- und Datendienste verwendet wird, werden mit dem UMTS-Standard und weiteren Folgetechniken vermehrt audiovisuelle Zusatzdienste ermöglicht.

Trotz der weit verbreiteten und regen Nutzung des Mobilfunks wird die Technologie der mobilen Kommunikation nicht nur in Liechtenstein intensiv und teils auch emotional diskutiert. Die vorliegende Dokumentation soll die verschiedenen Aspekte der mobilen Kommunikation beleuchten und in sachlicher Abfolge über verschiedene Themen informieren. Eine solche Information ist eine wesentliche Grundlage für eine konstruktive Diskussion des Themas Mobilfunk. Daher sollen mit dieser Broschüre allen Interessierten die wichtigsten Fragen und Fakten zu diesem Themenbereich vorgestellt werden. Die dargelegten Informationen basieren auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft sowie der angewandten Technologie.

Die angewandte Technologie, die im Mobilfunk zur Anwendung gelangt, ist sehr anspruchsvoll und äusserst komplex. Die vorliegende Information soll vereinfacht aber dennoch zutreffend und umfassend über diese Thematik informieren. „Umfassend“ ist dahingehend zu verstehen, dass nicht nur einzelne Komponenten, sondern die Gesamtfunktionalität zu betrachten ist. In der Diskussion hochfrequenter Strahlung dürfen die einzelnen Komponenten der Mobilfunkkommunikation nicht isoliert betrachtet werden. Die Funktionalität ist ein komplexer Bereich mit zahlreichen gegenseitig abhängigen Funktionen. Allfällige Massnahmen sind demzufolge unter Berücksichtigung aller Teilkomponenten auszurichten.

Dieses Gesamtpaket beinhaltet gesundheitsverträgliche Aspekte, Grenzwerte, internationale Abkommen und Abhängigkeiten speziell mit Nachbarstaaten; die Funktionalität der Mobilfunktechnologie samt Mobilfunkmasten und Antennen, die Arbeitsweise des individuellen

Mobilfunk ist Bestandteil des modernen Alltags.

Information soll sachliche Diskussion ermöglichen.

Handys und betriebswirtschaftliche Aspekte für Betreiber und Anwender.

2 Mobilfunk in Liechtenstein

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen und basierend auf umzusetzenden EU-Richtlinien (z.B. Genehmigungsrichtlinie), war Liechtenstein 1999 verpflichtet, einen wirksamen Wettbewerb für Mobildienste zu schaffen. Die für Liechtenstein verfügbaren Frequenzen boten Raum für vier Mobilfunkbetreiber. In der Folge wurden damals vier Mobilfunkbetreiber durch die liechtensteinische Regierung mit dem Ziel konzessioniert, der liechtensteinischen Bevölkerung einen freien, wettbewerbsorientierten Markt zu bieten. Durch günstige, lokale Wettbewerbsverhältnisse erhoffte sich die damalige Regierung neue Arbeitsplätze und vorteilhafte Wettbewerbsverhältnisse für die Bevölkerung.

In der Folge erhielten die Mobilkom (Liechtenstein) AG, die Tele2 AG, die Telekom FL (ab 09/2003 Swisscom Mobile AG) und die VI-AG EuroPlattform AG (ab 2003 Orange (Liechtenstein)) eine Mobilfunk-Konzession durch die liechtensteinische Konzessionsbehörde (Regierung des Fürstentums Liechtenstein).

In Liechtenstein benutzen zirka 70 Prozent der Bevölkerung oder rund 24'500 Abonnenten (Stand: Januar 2004) die Dienste der mobilen Telefonie. Diese prozentuale Nutzung entspricht proportional den Nutzungszahlen aus dem europäischen Ausland.

2.1 Internationale Abkommen

Im Jahre 1982 begann die Entwicklung eines paneuropäischen Standards für digitalen, zellularen Mobilfunk durch die *Groupe Spéciale Mobile* der CEPT (*Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications*). Nach der Gründung des europäischen Normungsinstitutes ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) wurden die technischen Standards für den Mobilfunk entwickelt. Diese Standards haben zum Ziel, in möglichst vielen Ländern Mobilfunk unter den gleichen technischen Bedingungen zu erreichen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass Endbenutzer von Mobilfunkgeräten ihre Geräte in vielen Ländern benutzen können. Der ETSI-Standard zum Mobilfunk umfasst viele technische Spezifikationen - wie insbesondere Mindestfeldstärken von Mobilfunknetzen -, die unter Einhaltung der WHO-Grenzwerte eine gute flächendeckende Versorgung garantieren. Liechtenstein ist Mitglied der CEPT und orientiert sich am ETSI-Standard für Mobilfunk. Diese ETSI-Standards sind Bestandteil der GSM-Konzessionen in Liechtenstein, damit auch hier eine flächendeckende, gute Versorgung für Mobilnetz-Benutzer

1999 wurden vier Mobilfunkbetreiber in Liechtenstein konzessioniert, um einen wirksamen Wettbewerb gemäss EU-Richtlinie zu ermöglichen.

70% der liechtensteinischen Bevölkerung benutzen ein Mobiltelefon.

Mobilfunk kann dank internationaler Abkommen im In- und Ausland gleichermaßen genutzt werden.

garantiert werden kann. So kann der Mobilfunkkunde eine lückenlose und grenzüberschreitende Versorgung nutzen. Mit dem multilateralen „Wiener Abkommen“ zwischen den Regulierungsbehörden wurden die technischen Vorgaben des ETSI-Standards konkretisiert und insbesondere frequenztechnische Abstimmungen sowie Störfeldstärken festgelegt. Diese Vorgaben wurden im Rahmen des „Wiener Abkommens“ von den Regulierungsbehörden übernommen und dem Mobilnetzbetreiber in den Konzessionen auferlegt. Diese Abstimmungen und Auflagen für den Mobilnetzbetreiber garantieren dem Endbenutzer ein qualitativ gutes und einheitliches Mobilnetz im In- und Ausland. Abweichungen von, oder Einschränkungen dieser technischen Vorgaben, die durch den ETSI-Standard respektive das „Wiener Abkommen“ festgelegt sind, hätten vielfältige Auswirkungen auf die Qualitätsaspekte des Mobilfunknetzes. Daher ist es wichtig, dass diese Rahmenbedingungen zur Sicherung eines qualitativ hoch stehenden und fehlerfreien Mobilnetzes eingehalten werden.

Für Liechtenstein bedeuten diese internationalen Abkommen insbesondere, dass das liechtensteinische Staatsgebiet nicht nur von den in Liechtenstein konzessionierten Mobilfunkbetreibern alleine versorgt wird. Mobilfunkstandorte im benachbarten Ausland versorgen Teile des liechtensteinischen Staatsgebietes in ähnlicher Qualität wie die lokale Versorgung. Ausschlaggebend für die Kommunikationsaufnahme eines Handys mit einer Mobilfunkantenne ist die Verfügbarkeit der Netze und vor allem die Versorgungsfeldstärke. Die Funktionalität des Handys ist so konzipiert, dass es automatisch mit dem stärksten empfangbaren Signal einer Mobilfunkantenne Kontakt aufnimmt. (Hinweis: Man kann das Einbuchen in ein Fremdnetz beim Handy verhindern, indem man die automatische Netzwahl deaktiviert und stattdessen die manuelle Netzwahl wählt. Dadurch kann das Problem eines unbeabsichtigten Wechsels in ein Fremdnetz in grenznahen Regionen gelöst werden). Ein Handy kann auch mit einem fremden Netz Kontakt aufnehmen, wenn dieses im jeweiligen grenznahen Gebiet stärker empfangen wird als das Heimnetz. In der Fachsprache wird dann von ‚Roaming‘ gesprochen. Dieses ‚Roaming‘ ist gerade bei den spezifischen geografischen Grössenverhältnissen Liechtensteins von Bedeutung, da der Anteil an grenznahen Gegenden sehr hoch ist. Internationale Abkommen regeln das Zusammenspiel in grenznahen Gebieten. Das ‚Wiener Abkommen‘ erlaubt im Mobilfunkbereich eine Versorgung bis 15 km in fremdes Staatsgebiet. ‚Roaming‘ - also Telefonieren auf einem fremden Mobilfunknetz - kann für den Handybenutzer sehr teuer werden, da er nicht nur mit den Gesprächstaxen seines eigenen Betreibers, sondern zusätzlich mit den Kosten fremder Netzbetreiber belastet wird.

Das liechtensteinische Staatsgebiet wird teilweise auch von den Nachbarländern aus versorgt.

2.2 Mobilfunkantennen

Viele Menschen fragen sich immer wieder, weshalb eine Mobilfunkantenne gerade in der näheren Umgebung stehen muss. Bei der Diskussion um Standorte wird jedoch oft übersehen, dass Antennen nicht einfach frei in der Landschaft aufgestellt werden können - etwa ausserhalb der Bauzonen. Die Standortwahl wird durch eine Reihe von Kriterien eingeschränkt:

Die Mobilfunk-Betreiber versorgen in erster Linie Gebiete mit einer hohen Nachfrage nach mobilen Dienstleistungen. Antennen müssen daher dort stehen, wo die Menschen mobil telefonieren und Daten senden wollen. Die Antennen müssen dabei die notwendige Kapazität und Abdeckung gewährleisten, geografisch optimal platziert sein und frequenzmässig ins bestehende Netz passen; die Antennen müssen zudem bautechnischen und statischen Anforderungen genügen und zahlreiche weitere Anforderungen erfüllen.

Bei der Wahl der Antennenstandorte kommt es zu einem allgemeinen Interessengegensatz zwischen dem Wunsch, mobil telefonieren zu können, und dem Wunsch der Anwohnerinnen und Anwohner, die Antenne möglichst nicht in der Nähe zu haben. Aus technischen Gründen müssen Antennen jedoch dort platziert werden, wo die Nachfrage besteht. Die Bevölkerung hingegen möchte die Antennen möglichst nicht in der Nähe des eigenen Wohnorts wissen.

Im Rahmen der Netzplanung wird die Auswahl möglicher Antennenstandorte durch zahlreiche Faktoren deutlich eingeschränkt. Vor der eigentlichen Realisierung müssen die Mobilfunkbetreiber ein ausführliches Bewilligungsverfahren durchlaufen, in welchem die zuständigen Behörden alle Informationen auf Vollständigkeit und Richtigkeit überprüfen.

Liechtenstein hat eine verpflichtende Standortkoordination eingeführt. Diese Standortkoordination verpflichtet alle Mobilbetreiber dazu, dieselben Standorte in Liechtenstein zu nutzen – es sei denn, ein Betreiber verzichtet explizit auf den entsprechenden Standort.

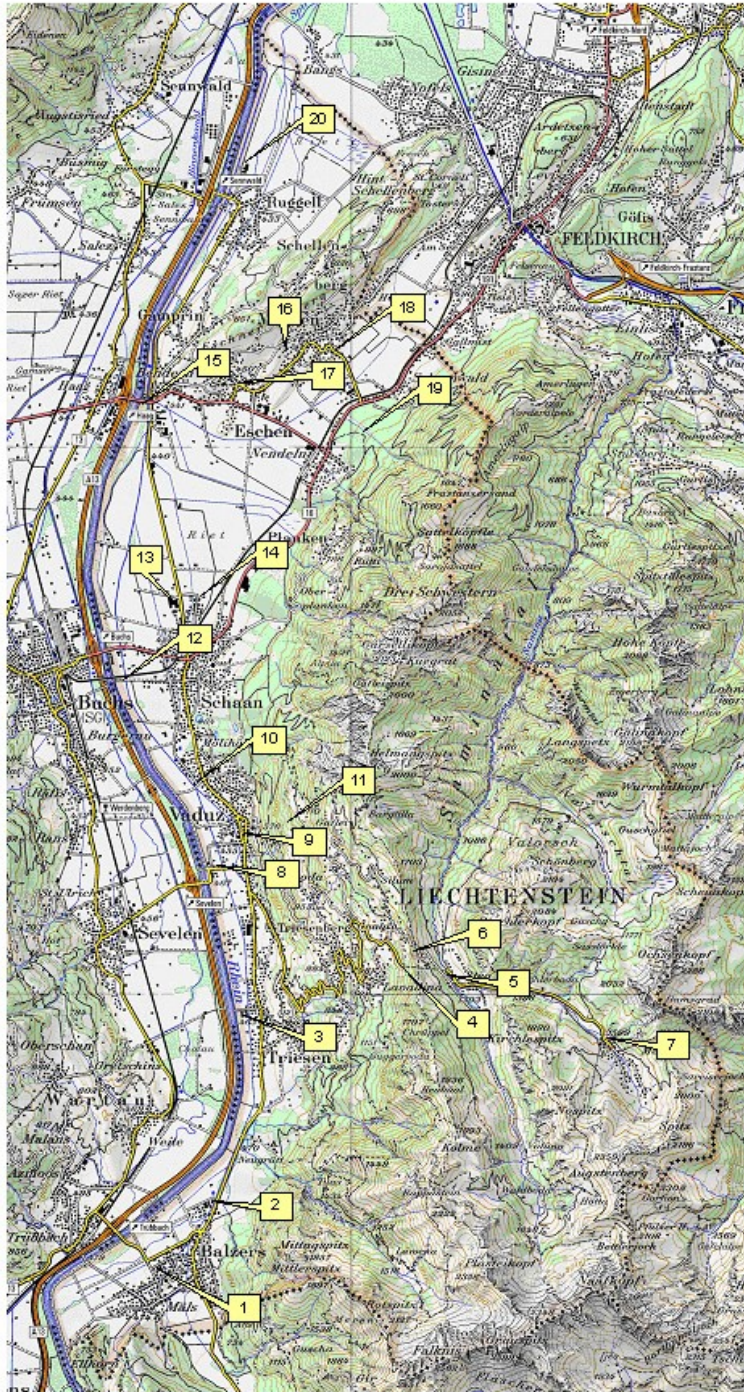
Durch das Standortkoordinationsverfahren konnte in Liechtenstein erreicht werden, dass die geplanten 60 Mobilfunkstandorte auf deren 20 reduziert werden konnten.

Die heute aktuellen Standorte sind (Stand von Juli 2004):

Mobilfunkantennen stehen dort, wo Menschen mobil telefonieren wollen.

Liechtenstein hat eine verpflichtende Standortkoordination eingeführt, womit die ursprünglich geplanten 60 Mobilfunkstandorte auf 20 reduziert werden konnten.

Mobilfunkstandorte in Liechtenstein (Stand August 2004)



- | | |
|---|--|
| 1. Balzers, Standort UNAXIS | 11. Vaduz, Standort Erbi |
| 2. Balzers, Standort Neugrüt | 12. Schaan, Standort Wiesengasse |
| 3. Triesen, Standort Swarovski | 13. Schaan, Standort Hilcona |
| 4. Triesenberg, Standort Tunnel Portal West | 14. Schaan, Standort Buurabund |
| 5. Triesenberg, Standort Tunnel Portal Ost | 15. Bendern, Standort Rheindamm |
| 6. Triesenberg, Standort Sücka, | 16. Eschen / Mauren, Standort Silo Näscher |
| 7. Malbun, Standort Parkplatz | 17. Eschen, Standort Eschen Zentrum |
| 8. Vaduz, Standort Gerster Beton | 18. Schaanwald, Standort Industrie |
| 9. Vaduz, Standort Postgebäude | 19. Nendeln, Standort Mehrzweckanlage |
| 10. Vaduz, Standort LTN | 20. Ruggell, Standort Pantec |

2.3 Roaming

In der üblichen Umgebung benutzt das Handy das Heimnetz seines konzessionierten Betreibers (in Liechtenstein sind dies: Tele2 AG, Mobilkom (Liechtenstein) AG, Orange (Liechtenstein) AG und Swisscom Mobile AG). Aus wettbewerbsorientierten Gründen bieten diese Mobilbetreiber teilweise Spezialtarife in umliegenden Staaten an (z.B. Nachbarländer oder gesamtes deutschsprachiges Gebiet). Dies bedeutet, dass bei solchen Spezialtarifen auch in den benannten Nachbarländern zum Normaltarif Gespräche getätigt werden können.

Befindet sich ein Handy-Benutzer im Ausland so hat er keine direkte Verbindung mit seinem Heimnetz. Die Mobilfunk-Betreiber schliessen für diese Fälle gegenseitige Verträge ab, die es den Benutzern erlauben, sich auf ein fremdes Mobilnetz anzumelden. Dies geschieht je nach Konfiguration des eigenen Handys automatisch oder manuell. Wenn sich das eigene Handy auf einem fremden Netzwerk eingebucht hat, spricht man von ‚Roaming‘. Roaming hat zur Folge, dass dem Anwender bei einem Anruf nicht nur der lokale Heimtarif, sondern auch noch die Zuschläge für die Benutzung des fremden Netzes zugeschlagen werden. Die Mobilfunkanbieter verrechnen diese Roamingtarife gemäss individuellen Tarifgruppen und Tarifregionen. Im Vergleich zu Normaltarifen, die sich in den meisten Fällen wesentlich unter 1 CHF pro Minute bewegen (teilweise sogar unter 10 Rp. pro Minute), erstrecken sich Roamingtarife bis über 5 CHF pro Minute. Nähere Auskünfte über die Roamingtarife können bei jedem Mobilfunkbetreiber angefordert werden. Das Roaming hat besonders in den grenznahen Gebieten Liechtensteins grosse Bedeutung, da stärkere Mobilfunksender (z.B. aus Österreich) die mit schwächeren Signalen operierenden liechtensteinischen Mobilfunksender überlagern. Dies führt dazu, dass sich das Handy, bedingt durch Roamingverträge mit benachbarten Betreibern, auf das Fremdnetz einbucht. Der Anwender wird bei seinen weiteren Gesprächen dabei mit erhöhten Gebühren belastet.

Diese bisweilen komplexe Roamingsituation in Liechtenstein ist einer der Gründe, weshalb Liechtenstein internationalen Abkommen für grenznahe Gebiete beigetreten ist.

Roaming erlaubt den Mobiltelefonbenutzern auch über fremde Netze zu telefonieren, dies aber meist zu wesentlich höheren Tarifen.

3 Technische Grundlagen des Mobilfunks

3.1 Mobilität und Mobilfunk

3.1.1 Formen der Mobilität

Mobilfunksysteme (*PLMN=Public Land Mobile Network*) bieten dem Teilnehmer verschiedene Formen der Mobilität. Zum einen kann sich der Teilnehmer mit seinem Handy völlig frei im Versorgungsgebiet des Funknetzes seines gewählten Betreibers bewegen. Voraussetzung für die Nutzung ist eine SIM-Teilnehmerkarte (*Subscriber Identity Module*). Auf dieser SIM-Karte sind alle wichtigen Codierungsmerkmale programmiert, die auch die internationale Mobilität zulassen. Zur Identifikation in der internationalen Kommunikation, insbesondere beim Telefonieren in fremden Netzen („Roaming“), sind weitere Codierungsmerkmale erforderlich. Diese Codierungsmerkmale sind in den Bereich der knappen Ressourcen einzureihen, die jedem Staat durch die internationale Behörde für Telekommunikation (ITU) zugeordnet werden. Es ist Aufgabe des Staates, diese Codierungsressourcen auf seinem Staatsgebiet zu nutzen um die erforderliche Identifikation zu gewährleisten. Unter diese Codierungsmerkmale fallen der MNC (*Mobile Network Code*) und der MCC (*Mobile Country Code*). Da sich bei einem mobilen Teilnehmer der Aufenthaltsort im Gegensatz zum normalen Telefonnetz nicht aus der Rufnummer ableiten lässt, erfolgt im internationalen Bereich nach der Anfrage der Heimnetze die weitere Wegesuche (Routing) zum gewählten Teilnehmer. Dies erfolgt mit Hilfe der temporären, aufenthaltsabhängigen MSRN (*Mobile Station Roaming Number*). Diese Nummer ist analog zur Rufnummer aufgebaut, enthält aber die Länder- und Bereichserkennung des aktuell besuchten Netzes. Die IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) dient der eindeutigen Identifizierung eines Mobilfunkteilnehmers. Sie ist jedoch zur Wahrung der Anonymität nicht öffentlich bekannt und besteht aus den Komponenten MCC (beispielsweise ‚295‘ für Liechtenstein), MNC und MSISN (Mobile Subscriber Identifikation Number).

SIM-Karte ermöglicht auch die internationale Mobilität. Auf der SIM-Karte sind alle Codierungsmerkmale zur Identifizierung gespeichert.

3.1.2 Grade der Mobilität

<i>Mobilität</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Beispiel</i>
Heimbereich	Versorgungsbereich ist eine Zelle mit Radius von 50-300m um die Basisstation.	Schnurloses Telefon (z.B. DECT)
Regional / Lokal	Funknetze aus einigen wenigen Zellen, begrenzt auf z.B. Firmengelände, Innenstadt, Region.	Betriebsfunk
National	Funknetz aus vielen Zellen, dessen Versorgungsgebiet sich über ein Land erstreckt.	Handy C-Netz
International	Ein in einem Land als Mobilfunkteilnehmer eingeschriebener Kunde ist auch in mehreren anderen Ländern erreichbar und kann von dort telefonieren.	GSM-Systeme
Global	Erreichbarkeit an (fast) jedem Punkt der Erde.	Satellitengestützter Mobilfunk

(Quelle: Prof. Dr. Ch. Lüders, Mobilfunksysteme, Vogelfachbuch, 2001)

3.2 Funktionsweise der mobilen Telekommunikation

3.2.1 Mobilfunknetzwerk

Grundlage der mobilen Telekommunikation ist ein Mobilfunknetzwerk, das in definierte Zellen unterteilt ist. Zu jeder Zelle gehört eine Basisstation, die via Funk die Verbindung mit den Mobiltelefonen in ihrer unmittelbaren Umgebung herstellt. Eine Basisstation kann aus mehreren Sende-/Empfangsantennen bestehen, die üblicherweise an einem Antennenmast befestigt sind, sowie aus einer Steuerungseinheit. Die Basisstationen sind mittels herkömmlicher Datenleitungen oder via Richtfunk mit einer Zentrale verbunden. Von dort erhalten sie die Gespräche, die sie an ein Mobiltelefon in ihrer Zelle weiterleiten müssen - dorthin übermitteln sie umgekehrt Gespräche, die von einem Mobiltelefon aus ihrer Zelle geführt werden. Falls sich ein Mobiltelefon aus einer Zelle entfernt, wird die Verbindung automatisch an die nächste Basisstation weitergeleitet (Handover). Die Grösse einer Zelle wird durch topographische Bedingungen (Wellenausbreitung) und die erwartete Anzahl von Mobiltelefonbenutzern bestimmt und bereits bei der Netzplanung festgelegt. Da von einer Basisstation nur eine bestimmte Maximalzahl an Gesprächen bzw. eine maximale Datenmenge pro Sekunde übertragen werden kann, sind die Zellen in ländlichen Gebieten mit kleiner Mobiltelefon-Dichte gross (typisch: 1 – 4 km

Ein Mobilfunknetz ist in Zellen unterteilt, deren Grösse von der Topographie und der erwarteten Anzahl Mobiltelefonbenutzern abhängig ist.

Radius), im Zentrum einer Grossstadt dagegen klein (typisch: 300 – 400 m Radius). Das Funksignal der Basisstation muss so stark sein, dass ein Mobiltelefon auch am Rand der Zelle noch erreicht wird, aber auch nicht zu stark, weil sonst die Signale in der nächsten oder übernächsten Zelle gestört würden. Je grösser also die Zelle, je höher die Sendeleistung (bis zum maximal erlaubten Grenzwert) – je kleiner die Zelle, je niedriger die Sendeleistung (damit die nächste Zelle nicht gestört wird).

Wird in einer Zelle intensiv und zahlreich mit Mobiltelefonen telefoniert, so kann die Basisstation an ihre Kapazitätsgrenze gelangen. Es können bis zum Freiwerden von Übertragungskanälen keine weiteren Gespräche getätigt werden. Bei chronischer Überlastung muss eine Zelle unterteilt werden. Das bedeutet, dass zusätzliche Basisstationen errichtet werden müssen, die mit niedrigerer Sendeleistung ihre jetzt kleineren Zellen versorgen.

Je Zelle können gleichzeitig 40 bis 60 Telefonate geführt werden.

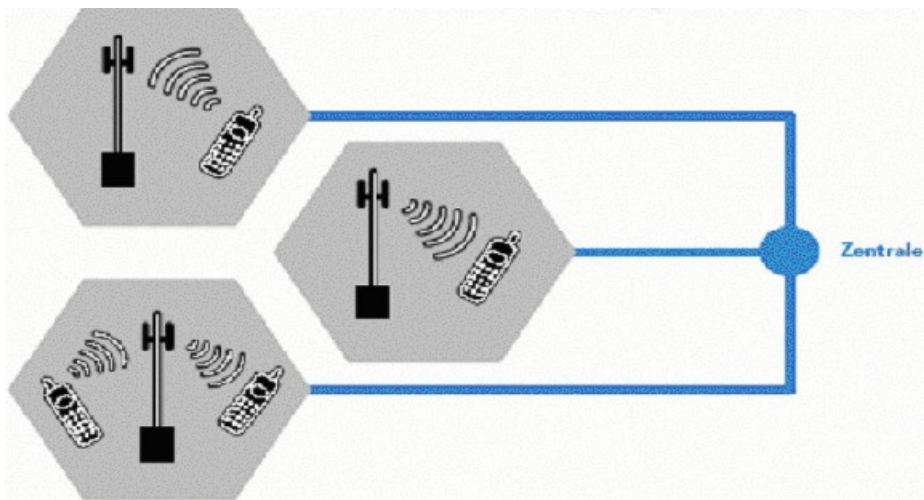


Abb. 1: Mobilfunkzellen: Mobile Telekommunikation benötigt fixe Basisstationen und Mobiltelefone. Funkkontakt besteht nur zwischen dem Mobiltelefon und der jeweils zuständigen Basisstation. (Quelle: Bundesamt für Gesundheit, Strahlung und Gesundheit - Mobile Telekommunikation)

3.2.2 Mobil telefonieren

Wenn das Mobiltelefon eingeschaltet wird, nimmt es mit der nächstmöglichen, berechtigten Mobilfunkantenne und somit mit dem Mobilfunknetzwerk Kontakt auf und meldet sich an. In regelmässigen Abständen (alle 20 bis 60 Minuten) erhält die Zentrale von allen Basisstationen im Netz die Angaben, welche Mobiltelefone sich zurzeit in ihrer Zelle befinden und eingeschaltet sind.

Wird nun ein Gesprächspartner auf seinem Mobiltelefon angerufen, wird ein Sprachkanal zwischen dem Handy des Anrufers und der Mobilfunkantenne geöffnet. Von dort wird der Mobilfunkanruf an die Mobiltelefonzentrale weitergeleitet. Eine Verbindung mit der zustän-

digen Basisstation wird hergestellt. Diese leitet das Gespräch per Funk an das Mobiltelefon des Gesprächspartners weiter. Hat der Gesprächspartner sein Handy eingeschaltet, wird eine Gesprächsverbindung aufgebaut. Ist das Handy des Gesprächspartners ausgeschaltet oder in einem nicht versorgten Gebiet, kann keine Verbindung aufgebaut werden. Je nach Abonnement des gewählten Mobilfunkbetreibers schaltet sich die Combox ein oder es erfolgt ein Sprachhinweis, dass der Gesprächspartner momentan nicht verfügbar ist.

3.2.3 *Übertragung von Nachrichten mittels elektromagnetischer Felder*

Eine einzelne Frequenz wird als Transportmittel, als so genannter ‚Träger‘, für Informationen benutzt. Die zu übertragende Information, beispielsweise ein Gespräch oder ein Fax, wird der Trägerwelle auf geeignete Weise aufgeprägt - man spricht von Modulation. Das Empfangsgerät ist in der Lage, dem empfangenen modulierten Hochfrequenzsignal die ursprüngliche Information wieder zu entnehmen. Beim früheren C-Netz handelte es sich um ein analoges System der Informationsübertragung. Dabei wurde die Frequenz der Trägerwelle im Rhythmus des Gesprächs leicht verändert.

Bei den GSM-Netzen wird die Information digital übermittelt. Das zu übertragende Gespräch wird in einem ersten Schritt digitalisiert und liegt dann als Zahlenreihe von 0- und 1-Werten vor. Diese Zahlenreihe, vergleichbar der Information auf einer Musik-CD, wird dem Hochfrequenzsignal aufgeprägt. Beim Empfänger wird diese Zahlenreihe entschlüsselt und wieder in ein analoges Signal umgewandelt.

Nachrichten werden dem Hochfrequenzsignal digital aufgeprägt.

3.3 **Elektromagnetische Strahlung**

Das Handy und die Mobilfunkantenne senden und empfangen Signale durch elektromagnetische Strahlung. Es handelt sich um Schwingungen elektrischer und magnetischer Felder, die sich wellenartig mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Elektromagnetische Strahlung kennen wir in unserer natürlichen und technischen Umwelt in verschiedenen Formen. Sichtbares Licht, UV-, Röntgen- und Wärmestrahlung gehören ebenso zum elektromagnetischen Spektrum wie Radio- und Mikrowellen sowie elektrische und magnetische Felder von Eisenbahnen und Stromversorgung. Physikalisch unterscheiden sich diese verschiedenen Strahlen nur durch ihre Frequenz (Abb. 2). Bei den Funksignalen, die bei der mobilen Telekommunikation zum Einsatz kommen, handelt es sich um Hochfrequenzstrahlung. Zurzeit werden Frequenzbereiche bei 900 MHz und bei 1800 MHz genutzt.

Die Schwingung elektromagnetischer Felder wird gemeinhin als elektromagnetische Strahlung bezeichnet.

Das elektromagnetische Spektrum

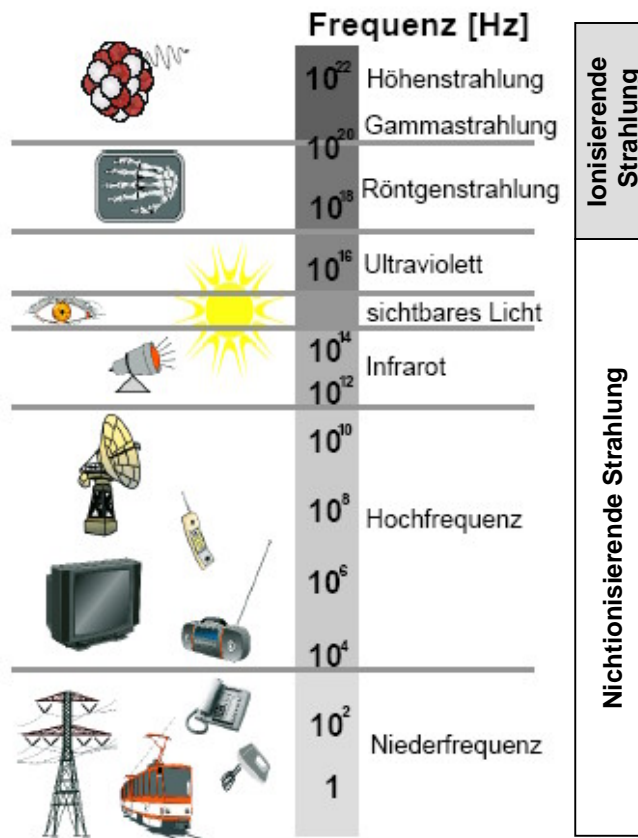


Abb. 2: Das elektromagnetische Spektrum (Quelle: M. Wuschek, Physikalische Grundlagen des Mobilfunks, 2004)

3.4 Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage

Neben der Sendeleistung ist insbesondere das Bündelungsverhalten der montierten Antennen ein wesentlicher Faktor für die Stärke der Felder in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage.

Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abb. 3), d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird gleich viel Energie abgegeben, oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch 60° bis 120° breiten Sektor konzentriert (Abb. 5). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abb. 4).



Abb. 3: Beispiel omnidirektionalen Antennen

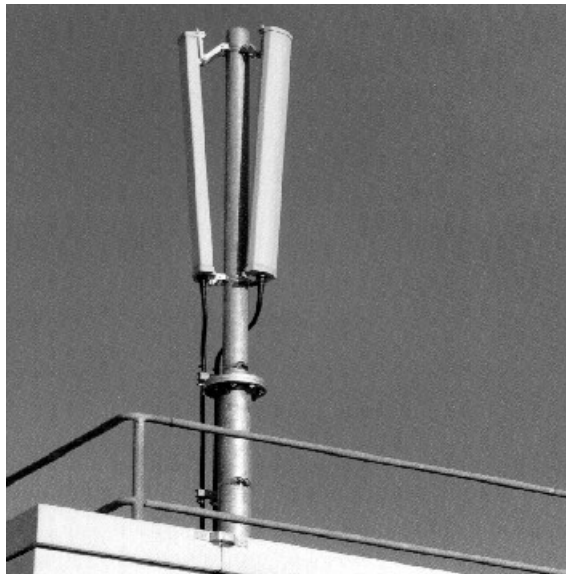


Abb. 4: Beispiel für eine Mobilfunksendeanlage mit Sektorantennen (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt")

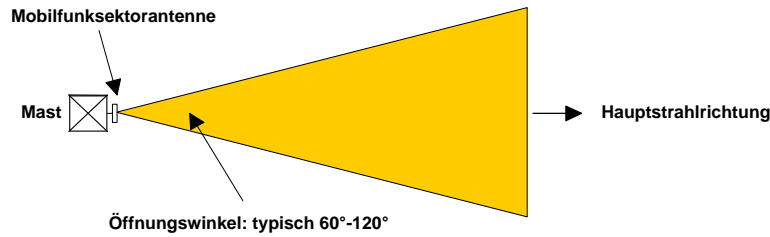


Abb. 5: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

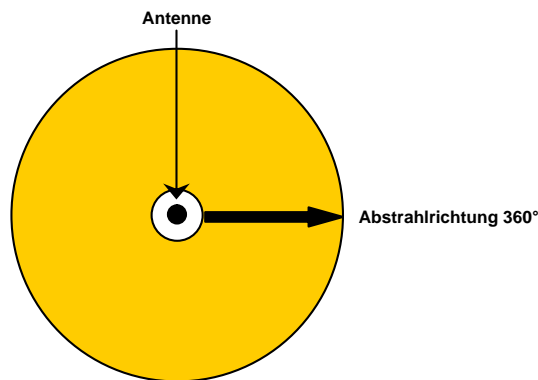


Abb. 6: Omnidirektionales Abstrahlverhalten

An den meisten Standorten, die sich im städtischen Umfeld befinden, werden Sektorantennen verwendet.

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, sehr stark gebündelt (Abb. 7). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typisch zirka 5 - 10°. Zusätzlich ist die Hauptstrahlrichtung häufig bezüglich der Horizontalen um einige Grad nach unten geneigt. Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wie beispielsweise in weiter entfernt liegende Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung so genannter "Gleichkanalstörungen").

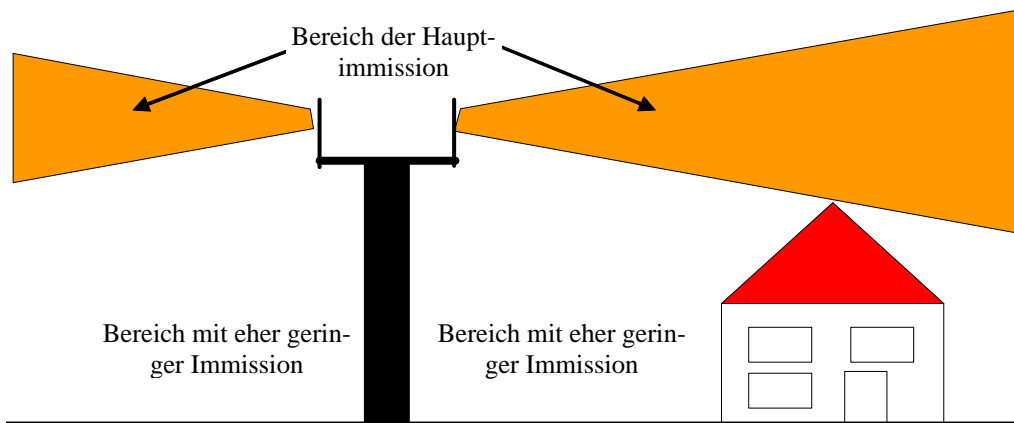


Abb. 7: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertrieben grossem vertikalen Öffnungswinkel).

Ausserhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtaussendung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur 1/10 bis 1/1000 der Werte der Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung). Der bodennahe Raum in unmittelbarer Nähe einer erhöht angebrachten Mobilfunkantenne und auch die Räume eines Gebäudes, auf dem die Antennen errichtet sind, werden somit häufig wesentlich geringer exponiert sein, als es durch eine reine Entfernungsbetrachtung zu erwarten wäre. Man befindet sich also, ähnlich wie beim Nahbereich eines Leuchtturmes, in einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Schattenzone. Noch stärker wirksam ist diese Schattenzone, wenn die Antennen an einem besonders erhöhten Punkt wie beispielsweise auf einem hohen Turm oder Schornstein montiert sind.

Ist eine Antenne beispielsweise auf einem Gebäudedach installiert, werden die Felder im Inneren des Gebäudes durch das Bündelungsverhalten der Antenne sowie zusätzlich noch von der Dämpfung des Daches und der vorhandenen Decke bestimmt. Aufgrund der Dämpfung, die durch die Antennen und die Gebäudemauern bedingt ist, erreicht der dominierende Teil der hochfrequenten Energie, die im Gebäude messbar ist, häufig nicht auf dem direkten Weg durch Dach und Decke den Innenbereich. Vielmehr gelangt sie als von benachbarten Gebäuden, Berghängen, Bäumen oder Büschen reflektiertes Signal durch die Fenster in das Gebäudeinnere.

Die Stärke der Felder, die im Inneren eines benachbarten Gebäudes noch messbar sind, wird hauptsächlich vom Abstand, dem relativen Höhenunterschied zu den Mobilfunkantennen und der Dämpfung der Mauern, des Daches und der vorhandenen Fenster bestimmt. Abhängig von den verwendeten Baumaterialien (Holz, Ziegel, Beton) tritt damit eine zusätzliche, unter Umständen erhebliche, Schwächung der Felder auf.

Sektorantennen bündeln den Leistungsfluss stark, ausserhalb der Hauptstrahlrichtung nimmt die Feldstärke stark ab.

Innerhalb von Gebäuden werden die Mobilfunkfelder stark gedämpft.

An dieser Stelle muss zudem darauf hingewiesen werden, dass bei elektromagnetischen Wellen die Intensität mit zunehmendem Abstand zur Sendeanlage sehr stark abnimmt: Wenn sich die elektromagnetische Welle ungestört ausbreitet, nimmt die Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung mit wachsender Entfernung quadratisch ab. Dies bedeutet, dass sie bei Verdoppelung der Distanz bereits auf ein Viertel, bei Verzehnfachung des Abstandes sogar auf ein Hundertstel des Ausgangswertes abgefallen ist. Unter realen Ausbreitungsverhältnissen (Einfluss von Topographie, Bewuchs, Bebauung) ist die Abnahme der Felder sogar noch stärker ausgeprägt. Das gilt unabhängig vom Typ der verwendeten Antenne.

Zusätzlich zu den Mobilfunkantennen sind an einigen Standorten auch Richtfunkantennen (Parabolspiegel) installiert. Sie dienen zur Verbindung der Mobilfunksendeanlage mit den benachbarten Stationen bzw. der Vermittlungszentrale des Betreibers. Diese Antennen geben, ähnlich wie eine Hochleistungstaschenlampe, ein stark gebündeltes Signal in horizontaler Richtung ab und erzeugen daher keine nennenswerten Immissionen in der näheren Umgebung.

Richtfunkantennen erzeugen keine nennenswerten Immissionen ausserhalb des stark gebündelten Signals.

3.4.1 Strahlen Mobiltelefone und Basisstationen dauernd?

Damit in einer Zelle mehrere Benutzer gleichzeitig telefonieren können, wird beim analogen System für jeden Benutzer ein Frequenzkanal benötigt. Beim GSM-System dagegen teilen sich bis zu acht Benutzer den gleichen Frequenzkanal. Jeder Benutzer erhält einen Achtel der Zeit für die Übertragung zugewiesen. Die Information wird in einzelne Pakete von ungefähr einer halben Millisekunde Dauer aufgeteilt, die in Intervallen von 4,6 Millisekunden abgesetzt werden (Abb. 8). Das Mobiltelefon gibt aus diesem Grund eine gepulste Strahlung mit einer Wiederholungsrate von 217 Pulsen pro Sekunde ab. Bei den Basisstationen ist das zeitliche Muster der Abstrahlung komplizierter und variiert mit der Anzahl der gleichzeitig bedienten Mobiltelefone in der Zelle.

GSM-Mobiltelefone und -Basisstationen strahlen gepulst.

Auch wenn kein Gespräch geführt wird, also im so genannten Bereitschaftsmodus, empfängt ein eingeschaltetes Mobiltelefon laufend Kontrollsignale von der nächsten Basisstation. Alle 20 bis 60 Minuten sendet das Mobiltelefon ausserdem für kurze Zeit eine «Hier-bin-ich-Meldung» an die Basisstation.

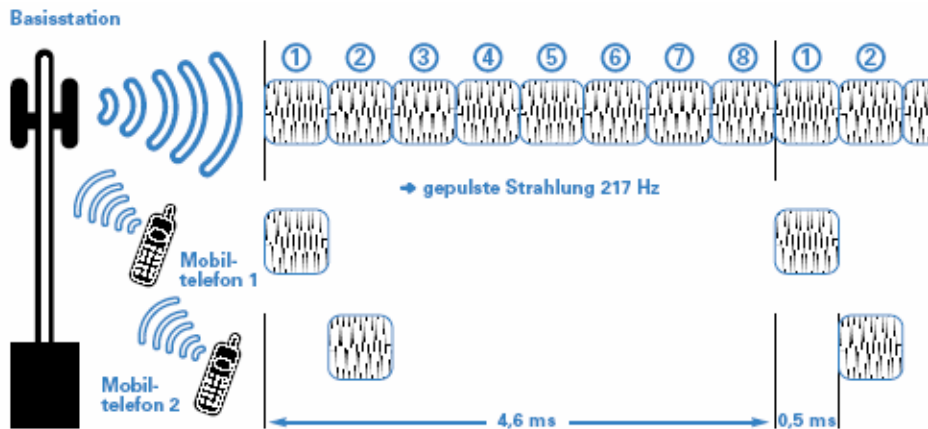


Abb. 8: Mobilfunkstrahlung (Quelle: Bundesamt für Gesundheit, Strahlung und Gesundheit - Mobile Telekommunikation)

3.4.2 Wie und wie stark strahlen Mobiltelefone und Basisstationen?

Sowohl Mobiltelefone als auch Basisstationen senden und empfangen die gleiche Hochfrequenzstrahlung. Die Stärke dieser Strahlung hängt vor allem von der Sendeleistung und dem Abstand zur Antenne ab. Die Strahlung, die auf den Menschen auftrifft, bezeichnet man als Immission.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass ein starkes Empfangssignal von einer Basisstation eine entsprechend schwache Leistungsabgabe des Handys bewirkt. Das Handy ist dasjenige Element der gesamten Mobilfunkinfrastruktur, das seine Leistung an die jeweilige Nutzungssituation anpasst. Zudem ist das Handy dasjenige Element der gesamten Infrastruktur, das beim Telefonieren in der Regel direkt an den Kopf gehalten wird und somit für die stärkste Exposition von Hochfrequenzstrahlung direkt am menschlichen Körper verantwortlich ist. Die maximale Sendeleistung eines Handys liegt je nach Typ zwischen 0,25 und 2 Watt. Die Strahlungsstärke eines Handys ist im so genannten SAR-Wert normiert und variiert je nach Hersteller und Modell.

Die funktechnische Versorgung eines bestimmten Gebietes übernimmt eine Basisstation (Mobilfunkantenne) eines oder mehrerer Betreiber. Die Hauptaufgabe der Basisstation besteht im Senden und Empfangen von Nutz- und Signalisierungsinformationen sowie in Messungen der Empfangsqualität. Eine Basisstation führt die komplette Signalverarbeitung bis auf die Sprachdekodierung durch. Je nach Zellgröße liegt die maximale Sendeleistung zwischen einigen Watt und ca. 500 Watt. Aufgrund physikalischer und elektrischer Grundgesetze reduziert sich die Sendeleistung bei doppeltem Abstand zur Mobilfunkstation um die Hälfte. In der realen Umgebung ist die Abnahme mit dem Abstand deutlich stärker.

Je besser der Empfang am Mobiltelefon, desto geringer die notwendige Sendeleistung des Mobiltelefons.

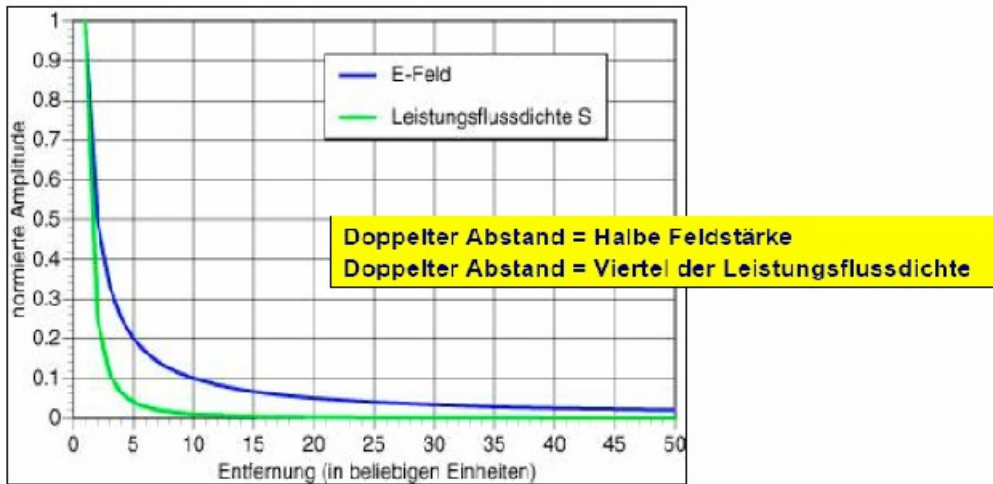


Abb. 9: Ausbreitung der Feldstärke (Quelle: M. Wuschek, *Physikalische Grundlagen des Mobilfunks*, 2004)

Das ist die ideale Ausbreitung im Freiraum. In realer Umgebung, wie sie beim Mobilfunk auftritt, ist die Abnahme der Feldstärke mit dem Abstand deutlich stärker ausgeprägt.

In Liechtenstein unterliegen alle Betreiber der verpflichtenden Standortkoordination. Ein aus Betreiber-Sicht grosser Nachteil dieser Standortverpflichtung ist, dass sich die Betreiber die gesamthaft erlaubte Sendeleistung teilen müssen, sodass der maximal zulässige Grenzwert nicht überschritten wird. Das heisst, dass die Summe der Sendeleistung eines Standortes den maximalen Grenzwert der Sendeleistung bei Vollast nicht übersteigen darf. Im Vergleich zu den schweizerischen Grenzwerten, die als die strengsten von staatlichen Behörden auferlegten Werte gelten, entspricht dies einer zusätzlichen Einschränkung der Sendeleistung jedes einzelnen Betreibers.

Beide, Mobiltelefone und Basisstationen, senden und empfangen die gleiche Hochfrequenzstrahlung. Die Stärke dieser Strahlung hängt vor allem von der Sendeleistung und dem Abstand zur Antenne ab. Die Strahlung, die auf Menschen auftrifft, bezeichnet man als Immission.

Basisstation

Stärkerer Sender

Beträchtliche Distanz zu Personen

Gleichmässige Bestrahlung des ganzen Körpers

Geringe absorbierte Leistung

Strahlung dauernd vorhanden

Mobiltelefon

⇔ Schwacher Sender

⇔ Sehr kleine Distanz zum Kopf

⇔ Lokale Bestrahlung des Kopfes

⇔ Im Kopf höhere absorbierte Leistung

⇔ Strahlung nur während einer Verbindung vorhanden

Verpflichtende Standortkoordination bedeutet, dass sich die Mobilfunkanbieter die maximale Sendeleistung teilen müssen.

Die 2. Mobilfunkgeneration (GSM) unterscheidet in Europa zwei Frequenzbänder, welche gemäss der jeweiligen Mobilfunkkonzession den Betreibern zugeordnet sind. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Eigenschaften der beiden GSM-Mobilfunksysteme.

Mobilfunksysteme	GSM900	GSM1800
Betreiber	Mobilkom (Liechtenstein) AG Orange (Liechtenstein)AG Swisscom Mobile AG Tele2 AG	Mobilkom (Liechtenstein) AG Orange (Liechtenstein)AG Swisscom Mobile AG Tele2 AG
Frequenzbereich	890-960 MHz	1710-1880 MHz
Typische Zellengrösse (max. Distanz zwischen Basisstation und Mobiltelefon)	0,4-4 km	0,25-4 km
Maximale Sendeleistung pro Frequenzkanal einer Basisstation*	300 W	270 W
Maximale Sendeleistung eines Mobiltelefons	2 W**	1 W**

* Die maximale Sendeleistung ist durch die Zellengrösse bestimmt. Kleine Zellen kommen mit einer niedrigen Sendeleistung aus, grössere benötigen eine hohe Sendeleistung.

** Es handelt sich um die maximale Sendeleistung während eines Pulses. Im zeitlichen Mittel ist die Sendeleistung geringer, weil das Mobiltelefon nur während eines Achtels der Zeit sendet und weil seine Sendeleistung automatisch auf das Nötige reduziert wird.

3.5 Strahlungsmessungen in Liechtenstein

Die Messempfehlungen für Mobilfunkbasisstationen schreiben das Ausmessen des Signalisier-Kanals (Broadcast-Channels, BCCH) und das Hochrechnen mit allen verfügbaren Gesprächs-Kanälen (Traffic-Channels, TCH's) vor. Dies ist der für eine gesamte Mobilfunkantenne maximal erreichbare Immissionswert. Dieser Wert ist eine rechnerische Grösse und wird nur bei Volllast erreicht (wenn alle Gesprächskanäle genutzt werden). In der Praxis wird dieser Wert normalerweise nicht einmal zu 50 Prozent erreicht, wie anhand konkreter Messungen zu verschiedenen Tageszeiten durch das Amt für Kommunikation aufgezeichnet wurde. Da erfahrungsgemäss in der Nacht weniger telefoniert wird als tagsüber, sind während der Nacht in der Regel noch tiefere Strahlungswerte nachweisbar. Das Amt für Kommunikation wen-

Die Strahlungsmessung berechnet den maximalen Immissionswert einer Mobilfunkantenne, der in der Praxis meist nur zu 50% erreicht wird.

det in Abnahmemessungen die Messmethode des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) an. Die „Frequenzselektive Messmethode“ ist in der Schweiz und Liechtenstein die anerkannte Messmethode. Nähere Informationen über die angewandte Messmethode kann unter <http://www.umweltschweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/vorschriften/VU-5800-D-inkl-Nachtrag.pdf> nachgelesen werden.

Eine weitere Messmöglichkeit des Amtes für Kommunikation ist die Feststellung der zum Zeitpunkt der Messung aktuellen Strahlungsimmission mittels eines Breitbandmessgerätes. Es muss festgehalten werden, dass nicht nur die Mobilfunkstrahlung auf den menschlichen Körper auftrifft, sondern alle anderen Frequenzstrahlen ebenfalls (z.B. Radio, Fernsehen, div. Fernsteuerungen, Computerbildschirm, Mikrowellengeräte, Radar, Flug, CB- und Amateurfunk, usw.).

*Quelle und weitere Information: Amt für Kommunikation
(<http://www.ak.llv.li>)*

4 Die Wirkung elektromagnetischer Felder auf Lebewesen

4.1 Herangehensweise in der Forschung

Grundlage für die Beantwortung der Frage, ob Mobilfunkfelder zu Gesundheitsrisiken führen können, sind umfangreiche wissenschaftliche Studien. Um zu einer zuverlässigen Einschätzung der Ergebnisse zu kommen, ist grosse Sorgfalt nötig. Die Studien müssen eingehend überprüft werden. Das gilt für ihre methodische Qualität genauso wie für die Aussagekraft der Befunde. Im Mittelpunkt stehen hierbei vier Kernfragen:

1. Lässt sich ein Effekt auf das biologische System etwa von Menschen oder Tieren nachweisen?
2. Ist der Mobilfunk die Ursache des Effekts?
3. Ist der Effekt gesundheitlich bedeutsam?
4. Lässt sich ein Schwellenwert für den Effekt ermitteln?

Entscheidend für eine solide, aussagekräftige Risikobewertung ist, dass alle vorliegenden Arbeiten berücksichtigt werden. Für die Wissenschaft gilt dabei ein Effekt erst als nachgewiesen, wenn verschiedene wissenschaftliche Arbeitsgruppen das Experiment wiederholt und bestätigt haben, dass es diesen Effekt gibt.

Hat man einen Effekt sicher nachgewiesen, ist zu überprüfen, ob Funkwellen die Auslöser sind oder ob nicht andere Einflussfaktoren eine Rolle spielen. Gerade bei sehr sensiblen Messmethoden wie dem Elektroenzephalogramm (EEG) ist das häufig der Fall. Solche Fehlerquellen müssen ausgeschlossen sein, damit die Ergebnisse aussagekräftig sind. Im nächsten Schritt wird beurteilt, ob die gefundenen Effekte überhaupt gesundheitlich relevant sind und ob die Erkenntnisse auf den Menschen übertragbar wären. Schliesslich ist zu prüfen, ob mit den gefundenen Effekten auch ausserhalb des Experiments zu rechnen ist, ob also unter alltäglichen Bedingungen der Mobilfunknutzung Handy-Nutzer oder Anwohner von Basisstationen betroffen sein könnten.

Quelle und weitere Informationen: Informationszentrum Mobilfunk, Thema Mobilfunk: Umwelt und Gesundheit, 2004. (<http://www.izmf.de>)

Wissenschaftliche Studien müssen methodisch und in der Aussagekraft der Befunde überprüft werden können.

4.2 Gesundheitliche Wirkungen des Mobilfunks

4.2.1 Thermische Wirkungen

Biologische und daraus resultierende gesundheitliche Einwirkungen elektromagnetischer Strahlung hängen vor allem von deren Intensität, Frequenz und Dauer ab.

Intensive Hochfrequenzstrahlung führt zu thermischen Wirkungen: Die Strahlungsenergie wird im Körper absorbiert und in Wärme umgewandelt. Der Körper erwärmt sich. Falls die absorbierte Strahlungsleistung so hoch ist, dass sich die Körpertemperatur um mehr als 1-2 °C erhöht, treten die gleichen Wirkungen auf wie bei Fieber oder bei Hitzeeinwirkung: Es kommt zur Verringerung der mentalen Aktivitäten, zu Abweichungen bei verschiedenen Körperfunktionen bis zu Fortpflanzungsstörungen. Organe mit schlechter Durchblutung und damit schlechter Wärmeabfuhr wie zum Beispiel die Augen erwärmen sich schneller und sind deswegen stärker gefährdet. Den thermischen Wirkungen ist gemeinsam, dass sie unterhalb einer bestimmten Strahlungsintensität nicht mehr auftreten.

Die Immissionsgrenzwerte wurden in Liechtenstein so festgelegt, dass es nicht zu solchen thermischen Wirkungen kommen kann. Da diese Immissionsgrenzwerte an allen zugänglichen Orten bei Basisstationen sowie beim Telefonieren mit Mobiltelefonen eingehalten werden, sind thermische Wirkungen nicht zu befürchten.

4.2.2 Nicht-thermische Wirkungen

Im Gegensatz zu den thermischen Einwirkungen intensiver Hochfrequenzstrahlung sind die biologischen Wirkungen von schwacher Hochfrequenzstrahlung erst in Ansätzen bekannt. Wurde die Existenz solcher nichtthermischer Wirkungen noch vor einigen Jahren bestritten, so steht heute fest, dass Hochfrequenzstrahlung nicht nur über die Erwärmung wirksam werden kann.

Beobachtet wurden beispielsweise physiologische Veränderungen in Zellkulturen und bei Tieren sowie eine Beeinflussung der elektrischen Aktivität im menschlichen Hirn. Wie solche Wirkungen zustande kommen, ist nicht bekannt. Ob und unter welchen Bedingungen sie zu einem Gesundheitsrisiko werden können, lässt sich beim heutigen Kenntnisstand nicht angeben. In der Bewertung verschiedener Resultate kommt erschwerend hinzu, dass sich manche Experimente teilweise nicht wiederholen liessen oder dass widersprüchliche Ergebnisse vorliegen. Es ist weitere Forschung nötig, um allfällige Gesundheitseffekte schwacher Hochfrequenzstrahlung, wie sie beim Mobilfunk vorkommt, nachzuweisen. Vor allem mögliche Langzeitwirkungen schwacher Strahlung konnten bis anhin nicht endgültig und abschliessend abgeklärt werden.

Intensive Hochfrequenzstrahlung führt zu thermischer Wirkung mit bekannten gesundheitlichen Folgen.

Schwache Hochfrequenzstrahlung kann zu nicht-thermischen Wirkungen führen. Gesundheitliche Folgen derartiger Wirkungen sind nicht abschliessend geklärt, werden aber derzeit wissenschaftlich untersucht.

Quelle und weitere Informationen: BAG/BUWAL, Strahlung und Gesundheit: Mobile Telekommunikation, 2000. (<http://www.bag.admin.ch>)

4.3 Gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder

4.3.1 Elektrosensitivität und -sensibilität

Wir Menschen haben keinen Sinn für die Wahrnehmung von elektromagnetischen Feldern (EMF). Trotzdem sagen einige Personen aus, dass sie EMF Felder wahrnehmen können und darunter leiden.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Elektrosensitivität und Elektrosensibilität. Elektrosensitivität ist die Eigenschaft, elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder bei sehr geringen Feldstärken wahrzunehmen, ohne zwingend gesundheitliche Beschwerden zu entwickeln. Bisherige Studien unterstützen die These, dass gewisse Personen schon sehr geringe EMF wahrnehmen können. Der Wahrnehmungsbereich von elektrischen Strömen erstreckt sich über einen viel grösseren Bereich als ursprünglich angenommen.

Elektrosensibilität bedeutet, aufgrund des Einflusses von elektromagnetischen Feldern gesundheitliche Beschwerden zu entwickeln. Die Elektrosensibilität wird jedoch als subjektives Phänomen betrachtet, da Personen ihre Symptome in der Regel aufgrund eigener Beobachtungen auf EMF zurückführen. Der Nachweis eines tatsächlichen Zusammenhangs ist im Einzelfall kaum möglich. Die Erfahrung zeigte, dass unter EMF Leidende vor allem dann Symptome entwickeln, wenn sie glauben, exponiert zu sein; aber nicht unbedingt, wenn sie es wirklich sind. Trotz dieser negativen Resultate bleibt die Frage offen, ob es Personen gibt, welche vielleicht unter bestimmten Voraussetzungen auf EMF empfindlicher reagieren.

Das Bundesamt für Gesundheit hat 2001-2002 eine Erhebung bei Personen durchgeführt, die ihre gesundheitlichen Beschwerden EMF zuschreiben. In dieser Studie waren die am häufigsten genannten gesundheitlichen Beschwerden Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Nervosität/Stress, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Tinnitus, Schwindel, Gliederschmerzen und Herzbeschwerden. Diese Symptome sind jedoch sehr unspezifisch und sind bei vielen Krankheiten anzutreffen. Aufgrund der Ergebnisse aus verschiedenen Studien geht man heute davon aus, dass die Symptome, unter denen Elektrosensible leiden, durch verschiedene Faktoren hervorgerufen werden.

Quelle und weitere Information: Bundesamt für Gesundheit (<http://www.bag.admin.ch/strahlen/nonionisant/emf/d/index.php>)

Elektrosensitivität ist die Eigenschaft, elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder bei sehr geringen Feldstärken wahrzunehmen.

Elektrosensibilität bedeutet, aufgrund des Einflusses von elektromagnetischen Feldern gesundheitliche Beschwerden zu entwickeln.

4.3.2 *Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) und die Beeinflussung durch elektromagnetische Felder*

Die meisten Hirnbezirke von Säugetieren werden vor möglicherweise schädigenden Substanzen im Blut durch die so genannte Blut-Hirn-Schranke (BHS) geschützt. Diese wirkt wie ein selektiver Filter in den Blutkapillaren, der ausser von für die Zellatmung erforderlichen gelösten Gasen (Sauerstoff und Kohlendioxid) nur von kleinen fettlöslichen Molekülen leicht überwunden werden kann.

Andere, nicht-fettlösliche Moleküle, welche im Gehirn benötigt werden (z. B. Glucose) können den Filter auch mittels spezieller Trägerproteine überqueren.

Bei Stress-Situationen, Schädeltrauma und verschiedenen Krankheiten kann es zu einer Störung der BHS kommen; Veränderungen, die in der Regel vom Körper aber schnell wieder repariert werden.

Die bisherigen Untersuchungen des Einflusses von durch Mobilfunk verursachten Feldern ergeben kein schlüssiges Bild. Gesichert ist nur eine Störung der BHS durch starke Felder mit einem SAR-Wert (vgl. Abschnitt 5.5) deutlich oberhalb der zulässigen Werte (5 W/kg). Jedoch zeigen verschiedene Ergebnisse unterschiedlicher wissenschaftlicher Qualität auch bei schwächeren (insbesondere gepulsten) Feldern die Möglichkeit von Störungen auf, was nach einhelliger Ansicht eine Intensivierung der diesbezüglichen Forschung notwendig erscheinen lässt.

Aus therapeutischer Sicht wäre aber eine kontrollierte Öffnung der BHS ein wesentlicher Fortschritt für die Chemotherapie von Hirntumoren, was bislang noch durch die Undurchlässigkeit der BHS erschwert wird. Auch aus diesem Grund arbeitet die Wissenschaft intensiv an der Untersuchung der Möglichkeiten, die BHS gezielt zu öffnen.

4.3.3 *Der Skin Effekt*

Der Skin-Effekt ist die Eigenschaft eines Wechsel- bzw. Hochfrequenz-Stromes in einem Leiter durch Prozesse der Induktion Feldlinien an die Oberfläche zu drängen. Dies begrenzt die Eindringtiefe eines von aussen eingestrahnten elektromagnetischen Feldes in das Objekt und somit auch dessen Wirksamkeit im Innern. Als Mass wurde die Halbwertschichtdicke eingeführt, das ist die Tiefe, bei welcher die Feldstärke auf die Hälfte gegenüber der an der Oberfläche abgesunken ist. Die Halbwertschichtdicke ist umgekehrt proportional zur Wurzel von der Frequenz und der Leitfähigkeit des Objektes.

Ein anderes Mass ist die Eindringtiefe, das ist die Tiefe, bei welcher die Feldstärke auf $1/e$, also auf ca. 37 Prozent abgefallen ist (e ist hier die Eulersche Zahl $\sim 2,718$). Während bei homogenen Materialien bei Kenntnis der elektrischen Eigenschaften die Berechnung der Halb-

wertschichtdicke bzw. Eindringtiefe einfach ist, sind die Verhältnisse bei biologischen Organismen wie dem Mensch komplexer.

Durch grössenabhängige Resonanzeffekte und unterschiedliche Leitfähigkeiten der verschiedenen Gewebearten sowie weiteren Effekten ist das Absorptionsverhalten sehr vielfältig und entzieht sich einer Verallgemeinerung.

Grob gesagt ist hier die Eindringtiefe von der Frequenz und dem Wassergehalt des Gewebes abhängig, und ist z. B. für Knochen und Fett etwa 3- bis 5fach höher als für Muskelgewebe.

Beispiel für die Abnahme der spezifischen Absorptionsrate (SAR) in Abhängigkeit von der Tiefe im biologischen Gewebe bei Mobilfunkfrequenzen:	Oberfläche:	2,35 W/kg
	0,5 cm Tiefe:	1,42 W/kg
	1cm Tiefe:	0,88 W/kg
	2 cm Tiefe:	0,4 W/kg
	3,5 cm Tiefe:	0,2 W/kg

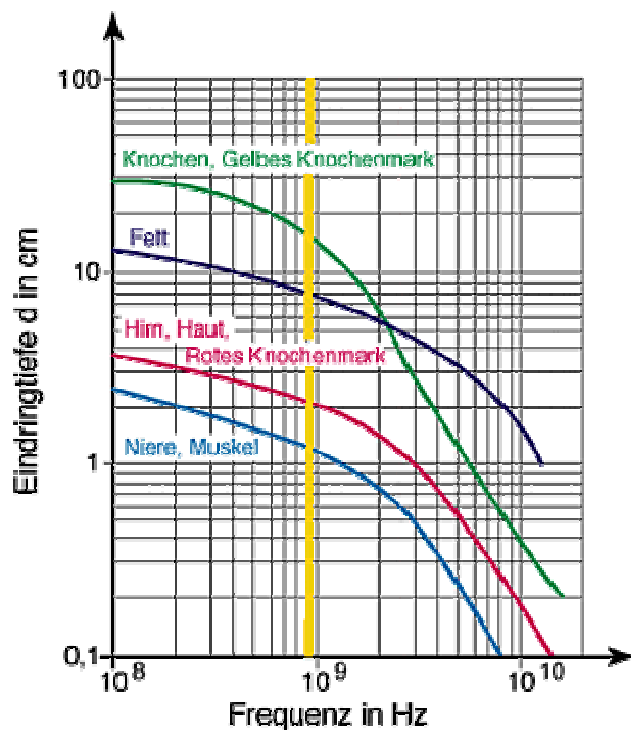


Abb. 10: Eindringtiefe in Abhängigkeit von Frequenz und Gewebeart. Die Frequenz 900 MHz für das GSM-Band ist gelb markiert. (Quelle: www.ralf-woelfle.de)

Je kleiner also ein Lebewesen ist, desto stärker erreichen von aussen angelegte elektromagnetische Felder die inneren Organe. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse von unbedacht durchgeführten Tierversuchen auch nur sehr begrenzt auf den Menschen übertragbar. Ein

hochfrequentes Feld, welches z. B. eine Maus aufgrund ihrer Grösse völlig durchdringt und alle ihre Organe beeinflusst, erreicht diese beim Menschen nur abgeschwächt.

*Quelle und weitere Information: Dipl. Ing. Ralf Dieter Wölfle, Elektromoginfo.
(<http://www.elektromoginfo.de>)*

4.4 Weitere Fragen in Zusammenhang mit Gesundheit und Mobilfunk

4.4.1 Verursacht Mobilfunkstrahlung Kopfweh und Schlafstörungen?

Untersuchungen in Skandinavien haben ergeben, dass Personen, die viel mit einem Mobiltelefon telefonieren, häufiger über Kopfschmerzen, Müdigkeit und Hautbrennen berichten als Wenigtelefonierer. Ob diese Symptome auf die Strahlung des Mobiltelefons zurückzuführen oder eine Folge der weiteren Lebensumstände von Vieltelefonierern sind, ist derzeit nicht klar.

In einer Laboruntersuchung zeigte sich bei freiwilligen Versuchspersonen eine Beeinflussung der Schlafphasen, wenn sie während der Nacht der Strahlung eines Mobiltelefons in 40 cm Abstand vom Kopf ausgesetzt waren. Ob ein solcher Einfluss auch bei den wesentlich schwächeren Immissionen vorliegt, die von einer Basisstation stammen, bleibt noch zu untersuchen.

4.4.2 Beeinflusst Mobilfunkstrahlung Hörgeräte?

Die gepulste Strahlung eines Mobiltelefons vermag gewisse Hörapparate zu stören. Bereits in zirka einem Meter Entfernung kann es zu Beeinträchtigungen kommen. Hörgeräteträger empfinden die Störung als ein Brummen im Ohr. Wenn Sie einen Hörapparat tragen und ein Mobiltelefon benützen möchten, erkundigen Sie sich über die Verträglichkeit ihres Gerätes mit Mobilfunkstrahlung (kleine Geräte im Ohr werden weniger gestört als Geräte, die hinter dem Ohr getragen werden). Hersteller bieten zudem Hilfsmittel an, um das Mobiltelefon nicht direkt an das Ohr halten zu müssen.

4.4.3 Wie wirkt sich Mobilfunkstrahlung auf Herzschrittmacher aus?

Die gepulste Strahlung eines Mobiltelefons kann die Steuerung gewisser Herzschrittmacher beeinflussen. Die einzelnen Schrittmachertypen sind unterschiedlich störempfindlich. Eine Störung ist nur dann zu befürchten, wenn ein Herzschrittmacher-Träger selber ein Mobiltelefon benützt. Das Störrisiko ist am grössten, wenn das Mobiltelefon unmittelbar beim Schrittmacher anliegt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Mobiltelefon eingeschaltet in der Brusttasche, unmittelbar über dem Schrittmacher, getragen wird.

4.4.4 *Kann Mobilfunkstrahlung im Krankenhaus und im Flugzeug stören?*

Die Strahlung von Mobiltelefonen kann empfindliche elektronische Geräte stören. In Spitälern sind insbesondere die Geräte der Intensivstation gefährdet. Im Flugzeug können die elektronischen Geräte an Bord gestört werden. Deshalb muss das Mobiltelefon an Orten mit Mobiltelefonverbot unbedingt ausgeschaltet werden.

4.4.5 *Ist es gefährlich, im Auto zu telefonieren?*

Die Benützung eines Mobiltelefons während der Autofahrt lenkt vom Fahren ab und kann zu Unfällen führen. Eine kanadische Studie bestätigt dies auch wissenschaftlich. Allerdings hat sie aufgezeigt, dass nicht das einhändige Fahren zu höheren Unfallquoten führt, sondern die geistige Ablenkung.

In Liechtenstein ist das Verwenden eines Telefons ohne Freisprecheinrichtung während der Fahrt verboten und kann mit einer Busse bestraft werden.

4.4.6 *Wieso gilt an Tankstellen ein Handyverbot?*

Das Handyverbot an Tankstellen wurde aus Vorsorge-Überlegungen erlassen. Theoretisch ist es zwar möglich, dass durch die statische Aufladung der aus Kunststoff bestehenden Handyschalen bei der Berührung mit Metallteilen Funken entstehen könnten. Dasselbe könnte beim Herunterfallen des Handys und beim Kurzschluss einer Batterie passieren. Verschiedene neuere Untersuchungen zeigen aber, dass die Wahrscheinlichkeit hierfür sehr gering ist. Das Verbot soll daher vor allem verhindern, dass man sich vom Tanken ablenken lässt.

Quelle und weitere Informationen: BAG/BUWAL, Strahlung und Gesundheit: Mobile Telekommunikation, 2000. (<http://www.bag.admin.ch>)

5 Immissionsschutz und Grenzwerte

In Liechtenstein befindet sich das Gesetz über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung in Vorbereitung. Bis zum Inkrafttreten dieses Gesetzes gilt die Verordnung über Nicht-Ionisierende-Strahlung vom 29. November 2000, welche den Empfehlungen des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft und des Bundesamtes für Gesundheit gefolgt ist. Die beiden Bundesämter empfehlen, die Grenzwerte der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) anzuwenden. Diese Werte basieren auf den wissenschaftlich gesicherten, schädlichen Akutwirkungen von Hochfrequenzstrahlung und liegen um den Faktor 50 unter den Wirkungsschwellen für schädliche thermische Effekte.

Im Sinne des Vorsorgeprinzips sind darüber hinaus Anlagengrenzwerte festgelegt. Diese begrenzen die Einwirkungen einzelner Anlagen auf sogenannte Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN, Orte, an denen sich Menschen regelmässig und über längere Zeit aufhalten).

5.1 Entstehung von Grenzwerten

Strahlungsgrenzwerte entstehen nicht willkürlich. Die zuständigen Behörden eines Staates, die EU-Kommission und die WHO lehnen sich an Empfehlungen der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Die Europäische Kommission hat basierend auf den ICNIRP-Empfehlungen die Richtlinie (2004/40/EG) des EU Parlamentes und des Rates vom 29.04.2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer durch physikalische Einwirkungen (Elektromagnetische Felder) erlassen. Es ist den einzelnen EU-Mitgliedstaaten überlassen, eigene Grenzwerte einzusetzen, welche die Grenzwerte der Richtlinie 1999/519/EG unterschreiten. Die zuständigen Behörden der Schweiz (als Nicht-EU-Mitgliedstaat) haben sich entschlossen, die Grenzwerte der ICNIRP-Empfehlung nochmals um 90 Prozent zu senken. Diese Grenzwerte sind als „Anlage-Grenzwerte“ bekannt und gelten an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) und müssen dort eingehalten werden, wo sich Menschen mehr als 800 Stunden pro Jahr aufhalten. Diese schweizerischen Anlagegrenzwerte sind die weltweit strengsten Grenzwerte, die eine staatliche Behörde in Kraft gesetzt hat. In Liechtenstein gelten diese Anlagegrenzwerte ebenfalls und wurden von der liechtensteinischen Regierung in einer Verordnung über nichtionisierende Strahlung übernommen.

Die Grenzwerte zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung ist per Verordnung geregelt. Ein Gesetz ist in Vorbereitung.

Die Schweiz und Liechtenstein haben die Grenzwertempfehlungen der ICNIRP an Orten mit empfindlicher Nutzung nochmals auf 1/10 reduziert.

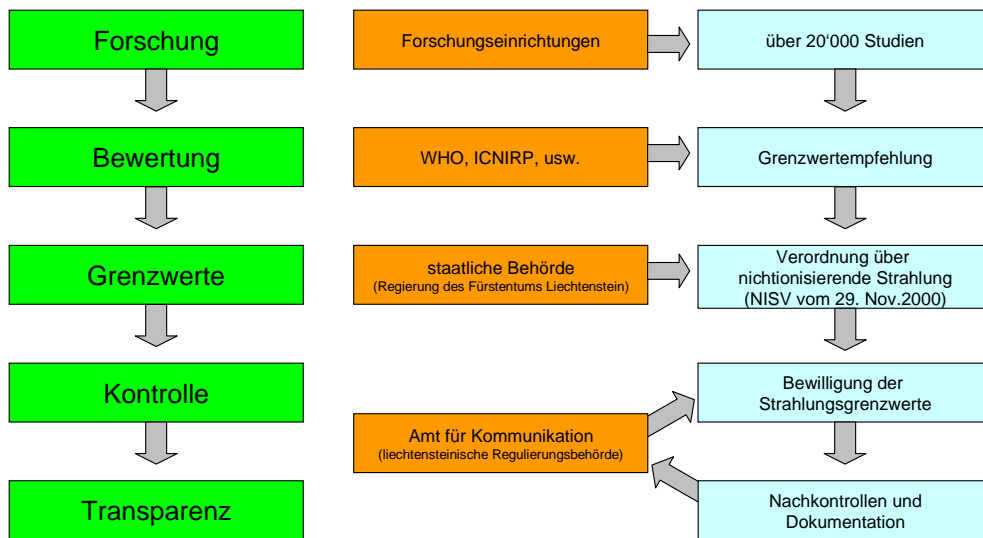


Abb. 11: Entstehung von Grenzwerten

5.2 Grenzwerte im internationalen Vergleich

Folgende Tabelle zeigt die rechtlich festgelegten Grenzwerte der umliegenden Staaten im Vergleich zu den Empfehlungen der ICNIRP:

Quelle/Land	Elektr. Feldstärke [V/m]		Leistungsflussdichte [W/m ²]	
	900 MHz	1800 MHz	900 MHz	1800 MHz
ICNIRP ¹⁾	42	58	4,5	9
Deutschland	42	58	4.5	9
Österreich	48	61	6	10
Schweiz / Liechtenstein ²⁾	41	58	4.5	9
Schweiz / Liechtenstein ³⁾	4	6	0,042	0,095

¹⁾ Die **ICNIRP** ist eine internationale, unabhängige Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, welche von der WHO und EU offiziell anerkannt ist. Ihre 14 Mitglieder sind industrieunabhängige anerkannte Experten für Fragestellungen aus dem Bereich der nichtionisierenden Strahlung, wobei ihr ausserdem in vier Komitees weitere ca. 80 Wissenschaftler für Epidemiologie, Biologie, Physik und Optik zuarbeiten.

Die Hauptaufgaben der ICNIRP bestehen in der kontinuierlichen Analyse und gesundheitlichen Bewertung des Kenntnisstandes auf allen Gebieten, die für den Strahlenschutz relevant sind, einschliesslich der Analyse der jeweils aktuellen Forschungsergebnisse. Diese Analysen, verbunden mit Empfehlungen, werden

regelmässig veröffentlicht. Ziel ist eine weltweite Harmonisierung der Verfahren und Vorgehensweisen zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung.

Die ICNIRP geht aktuell davon aus, dass die Existenz von nichtthermischen Effekten durch Felder wie die vom Mobilfunk beziehungsweise die Relevanz dieser Effekte für die Gesundheit des Menschen zu wenig gesichert ist, um sie zur Festsetzung von Grenzwerten heranziehen zu können. Sie kommt daher zu dem Schluss, dass unterhalb der von ihr empfohlenen Grenzwerte nach gesicherten wissenschaftlichen Kenntnissen keine gesundheitsschädlichen Wirkungen zu erwarten sind. Der Vorsorgedanke wird in der Form von Sicherheitsfaktoren bei der Festlegung von Basisgrenzwerten berücksichtigt, sowie in der Annahme von worst-case Situationen bei der Definition von Referenzgrenzwerten (d. h. die Überschreitung von Referenzgrenzwerten bedeutet nicht automatisch eine Überschreitung der Basisgrenzwerte).

2) **OKA-Werte**

Orte mit kurzfristigem Aufenthalt = Immissionsgrenzwert

3) **Anlagegrenzwerte**

Eine elektrische Feldstärke von 4 V/m entspricht einer Leistungsflussdichte von ca. 0,042 W/m², das ist weniger als 1/100 des "normalen" Grenzwertes. Von Kritikern werden die in der NISV für "Orte mit empfindlicher Nutzung" festgelegten Grenzwerte oft als "Mogelpackung" bezeichnet, da die elektromagnetischen Felder beim Eintritt in Gebäude sowieso etwa um den Betrag gedämpft würden, der sie von den "normalen" Grenzwerten unterscheidet. Dadurch seien diese als Vorsorgewerte bezeichneten Grenzwerte in Wirklichkeit nicht anders als z. B. in Deutschland.

Diese Ansicht trifft jedoch nur in einem Teil der betrachtenswerten Fälle zu, da die Gebäudedämpfung stark von der Bauweise abhängt und in Dachwohnungen sowie Holz- oder Fertighäusern sehr gering sein kann.

Bei der Berechnung im Standortdatenblatt darf nach Schweizer Empfehlung keine Gebäudedämpfung verwendet werden, wenn die Gebäudefassade Fenster besitzt. Somit muss der niedrige Anlagegrenzwert bereits an der Gebäudefassade eingehalten werden. Auch die Messungen müssen üblicherweise direkt am geöffneten Fenster durchgeführt werden. Somit wird als Beurteilungsgrösse der Wert an der Gebäudefassade herangezogen und nicht etwa irgend welche Werte im Gebäudeinneren.

5.3 Sendeleistung und Grenzwerten

Die Sendeleistung eines Mobiltelefons ist zwar wesentlich niedriger als diejenige von Basisstationen. Die Belastung des Menschen durch ein Mobiltelefon während eines Gesprächs ist jedoch viel höher als diejenige, die sich selbst von der stärksten Basisstation ergibt. Dies rührt daher, dass das Mobiltelefon während des Telefonierens in der Regel nur wenige Millimeter vom Kopf entfernt ist, während man der Antenne einer Basisstation kaum näher als einige Meter kommt.

Bei Basisstationen bestimmen folgende Faktoren, wie hoch die Immissionen an einem spezifischen Aufenthaltsort sind:

- Die Sendeleistung: Die Immissionen steigen mit der Sendeleistung an.

Basisstationen und Mobiltelefone müssen jederzeit die verordneten Grenzwerte einhalten.

- Der Abstand zur Sendeantenne: Bei doppeltem Abstand sinken die Immissionen auf die Hälfte. (Siehe Abb. 9)
- Das räumliche Abstrahlungsmuster der Antenne: Die Antennen von Basisstationen strahlen nicht in alle Richtungen gleich stark. Sie sind mit einer fokussierenden Taschenlampe vergleichbar, die gebündelt in der Waagrechten und seitlich in einem Sektor von ungefähr 120 bis 180 Grad abstrahlt. Die Intensität ausserhalb dieses Strahlungskegels verschwindet zwar nicht vollständig, ist aber stark reduziert.
- Mauerwerk und Dächer: Sie schwächen die Strahlung ab, die von aussen auf ein Gebäude auftrifft.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch, wie sich die Immissionen in der Umgebung einer Basisstation mit 500 Watt Sendeleistung in Abhängigkeit des Abstandes und des Winkels verhalten. Die Prozentangaben beziehen sich auf den internationalen Immissionsgrenzwert für das 900 MHz-Band. Ausserhalb des stark gefärbten Bereichs (100 Prozent) ist der Immissionsgrenzwert eingehalten.

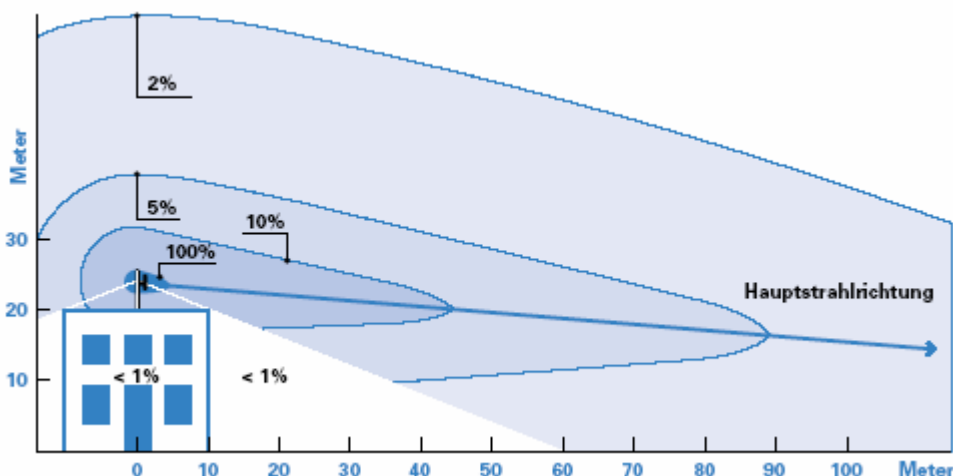


Abb. 12: Bündelungsverhalten (Quelle: Bundesamt für Gesundheit, Strahlung und Gesundheit - Mobile Telekommunikation)

Vergleicht man die in der Umgebung einer Basisstation vorherrschenden Immissionen mit den internationalen Immissionsgrenzwerten, so stellt man fest, dass diese Immissionsgrenzwerte bereits im Abstand von wenigen Metern von den Antennen unterschritten werden. Bei jeweils gleicher Entfernung von der Antenne sind die Immissionen in der Strahlrichtung am höchsten, unter der Antenne bereits deutlich niedriger und in einem Gebäude direkt unter der Antenne nochmals wesentlich niedriger.

Mit dem Mobiltelefon wird in erster Linie der Kopf der telefonierenden Person exponiert. Die Belastung ist dabei wesentlich höher als diejenige, die sich durch Basisstationen ergibt.

Bei Mobiltelefonen spielen eine Rolle:

- Die Sendeleistung: Die Immissionen steigen direkt mit der Sendeleistung an.
- Der Abstand zwischen der Telefon-Antenne und dem Kopf: In dieser Hinsicht schneiden Geräte mit einer Freisprecheinrichtung besser ab als solche, bei denen die Antenne nahe am Kopf anliegt.
- Die Konstruktion des Mobiltelefons und der Antenne: In diesem Bereich bestehen vielfältige Möglichkeiten, die im Kopf absorbierte Strahlung zu verringern.

Nachfolgende Abbildung zeigt, wie die Strahlung im Kopf einer telefonierenden Person absorbiert wird. Die Belastung ist nahe am Ohr am stärksten und nimmt gegen innen deutlich ab.



Abb. 13: Strahlungsexposition am Kopf (Quelle: Bundesamt für Gesundheit, Strahlung und Gesundheit - Mobile Telekommunikation)

5.4 Welcher Unterschied besteht zwischen einem Mobiltelefon und einem schnurlosen Telefon?

Moderne schnurlose Telefone arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie Mobiltelefone. Die Sendeleistung ist aber deutlich geringer, da der für einen Empfang mögliche Abstand zwischen der Hausbasis-Station und dem Handapparat maximal etwa 300 m beträgt. Die maximale mittlere Sendeleistung beträgt sowohl für die Hausbasis-Station als auch für den Handapparat ca. 0,01 W.

Die Sendeleistung von schnurlosen Haus-Telefonen ist wesentlich geringer als diejenige von Mobiltelefonen.

5.5 Was bezeichnet der SAR-Wert bei Mobiltelefonen und Basisstationen?

Hochfrequente elektromagnetische Felder, wie sie auch beim mobilen Telefonieren eingesetzt werden, können in den menschlichen Körper eindringen. Dort wird die Energie absorbiert und in Wärme verwandelt. Dies führt zu einer Temperaturerhöhung von Körpergewebe, was als so genannte thermische Wirkung bezeichnet wird.

SAR ist die Abkürzung für die „spezifische Absorptionsrate“. Sie ist das Mass für die Aufnahme elektromagnetischer Energie, die in Kör-

perwärme umgewandelt wird. Der SAR-Wert wird in Watt pro Kilogramm Körpermasse (Watt/kg) ausgedrückt.

Elektromagnetische Felder werden sowohl von Handys als auch von Mobilfunkbasisstationen wechselseitig ausgesandt. Diese Felder sind das Transportmittel für die Funksignale, die Informationen zum Teil über mehrere Kilometer vom Sender zum Empfänger übermitteln. Die elektromagnetischen Felder, die von Basisstationen aus auf den Menschen einwirken, sind dabei in der Regel weitaus geringer als die Felder, die beim mobilen Telefonieren direkt am Ohr erzeugt werden.

Für die Stärke der elektromagnetischen Felder von Mobiltelefonen und Basisstationen gibt es jeweils gesetzlich festgelegte Grenzwerte, die garantieren, dass keine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich ist. Diese auch international vereinbarten Basisgrenzwerte berücksichtigen die wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen auf die Gesundheit - sowohl thermischer als auch nichtthermischer Art.

Der SAR-Grenzwert für Felder von Mobilfunkbasisstationen beträgt 0,08 Watt/kg für die allgemeine Bevölkerung. Dieser Wert ist über den gesamten Körper gemittelt. Der Teilkörpergrenzwert für die elektromagnetischen Felder, die beim Gebrauch des Handys in der Höhe des Kopfes entstehen, beträgt 2 Watt/kg. Er ist über 10 g Körpergewebe gemittelt. Diese Grenzwerte stellen sicher, dass die mögliche Temperaturerhöhung des ganzen Körpers in der Nähe von Mobilfunkbasisstationen unter 0,02 °C liegt. Und auch die örtliche Temperaturerhöhung, die beim Gebrauch eines Handys in Teilen des Körpers entsteht, ist geringer als 0,1 °C. Der Teilkörpergrenzwert berücksichtigt zudem den theoretischen Maximalfall: Das bedeutet, ein Nutzer kann an sieben Tagen pro Woche jeweils 24 Stunden mobil telefonieren, ohne gesundheitlichen Risiken ausgesetzt zu sein.

6 Verwandte Systeme

6.1 Funkanwendungen mit ISM-Frequenzen

Die Abkürzung ISM steht für "Industrial Scientific and Medical", also für Hochfrequenzanwendungen in Industrie, Wissenschaft und Medizin.

Die dafür international zugewiesenen ISM-Frequenzen waren ursprünglich für leistungsstarke Geräte wie Funkerosionsmaschinen, Mikrowellenherde oder für die Hochfrequenzbestrahlung in der Medizin (Diathermie) gedacht, werden zunehmend jedoch auch für andere Funkübertragungssysteme mit geringer Sendeleistung des täglichen Gebrauchs wie Funkfernbedienungen oder Funkkopfhörer oder drahtlose Datenübertragung verwendet.

Vorteil dieser Anwendungen bei ISM-Frequenzen ist der Wegfall der Anmeldepflicht und der gebührenfreie Betrieb; sie benötigen alleine eine gerätespezifische Prüfung und Zulassung (CE-Zeichen).

6.2 Anwendungen

Von den unten aufgeführten ISM-Funkanwendungen werden besonders diese um 27 MHz, 433 MHz und 2400 MHz genutzt, wobei den Geräten mit grossen Leistungen bis einige hundert Watt wie Amateurfunkgeräte, Mikrowellenherde oder Diathermiegeräte auf der anderen Seite Geräte mit sehr kleinen Sendeleistungen gegenüber stehen

Einige Beispiele für Funkanwendungen im Bereich ISM (Industrial Scientific and Medical):

Babyphones	Fahrzeugöffner	Funkalarmanlagen
Handfunkgeräte	Garagentoröffner	PC-Funkmäuse
Funkmikrophone	Wegfahrsperrern	Drahtlose PC-Tastaturen
Funk-Kopfhörer	Zutrittskontrollsysteme	Paging-Systeme
Videoübertragungssysteme	Funkthermometer	Wireless LAN's
Fernsteuerungen	Drahtlose Bewegungsmelder	Bluetooth

6.3 DECT - Digitales schnurloses Telefonsystem

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) ist ein mittlerweile quasi-weltweiter Standard für ein digitales schnurloses Telefonsystem. Die Anlagen bestehen aus einer (oder auch mehreren) Basisstationen, welche an das normale Telefonnetz angeschlossen werden und einem oder mehreren Mobilgeräten, welche mit diesen kommunizieren können. Die Basisstationen für die Heimanwendung sind für gewöhnlich mit dem Ladegerät für das Mobilgerät kombiniert und kennzeichnen sich durch eine kurze Stummelantenne aus.

Diese Anlagen arbeiten mit einem digitalen Übertragungsverfahren und verwenden zur Erhöhung der verfügbaren Kanalanzahl (Teilnehmerzahl) sowohl verschiedene Frequenzkanäle wie auch eine Zeitschlitzstruktur, was zu einem gepulsten Sendesignal führt.

Durch ihren Betrieb innerhalb der eigenen Wohnung erhöhen DECT-Telefone die Belastung durch elektromagnetische Felder zusätzlich, wobei kritische Stimmen besonders drei Merkmale dieses DECT-Standards negativ hervorheben:

DECT-Systeme benutzen zum Datentransfer ein gepulstes Signal, das mit einer Pulsfrequenz von 100 Hz arbeitet.

DECT-Basisstationen senden ihr gepulstes Signal nicht nur im Sendebetrieb, sondern auch im stand-by-Betrieb.

Die Ausgangsleistung der DECT-Telefone ist nicht regelbar, d.h. die Telefone passen, im Gegensatz zu Mobiltelefonen, ihre Ausgangsleistung nicht den Ausbreitungsbedingungen an, sondern senden stets mit maximaler Ausgangsleistung, diese beträgt jedoch im Mittel nur 10 mW.

6.4 Bluetooth - Eine drahtlose Datenschnittstelle

Bluetooth (benannt nach dem Wikingerkönig Harald Blauzahn) ist eine international standardisierte Datenschnittstelle mit Funkübertragung. Bluetooth-Geräte arbeiten im lizenzfreien 2,4 GHz ISM-Band (Industrial Scientific Medical Band) und sollen z. B. Handys mit Notebook-Computern verbinden, aber auch PC mit Druckern oder Waschmaschinen mit einer Hauszentrale. Grundgedanke ist der Ersatz von Kabel-Datenleitungen durch eine standardisierte und sichere Funkübertragung mit einer Brutto-Datenrate von bis zu 1 MBit/s. Durch eine kleine Baugröße (geldstückgross), niedrige Kosten (zukünftig ca. 5 Euro) und eine geringe, für Dauerbatteriebetrieb geeignete Stromaufnahme wird für die Zukunft eine weite Verbreitung vorhergesehen. Die Reichweite beträgt standardmässig ca. 10 Meter, für besondere Anwendungen mit Zusatzverstärkern jedoch bis zu 100 m.

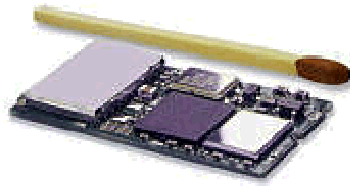


Abb. 14: Ein Bluetooth-Modul (Quelle: www.ralf-woelfle.de)

Da Bluetooth-Geräte oft für Batteriebetrieb bestimmt sind, besitzen sie unterschiedliche Stromsparmechanismen, wozu auch die Reduzierung der Sendeleistung gehört. So gibt es für Phasen ohne notwendige Datenübertragung einen völlig sendefreien Stand-By-Betrieb, wo sie nur im Abstand von 1,28 Sekunden passiv den gesamten Frequenzbereich abhören, oder einen so genannten "Sniff"-Modus, während welchem in unterschiedlicher Häufigkeit sendeaktiv nach dem Bedarf an Kommunikation nachgefragt wird.

Grob berechnet beträgt im Sendebetrieb die Leistungsflussdichte (bei 1 mW Sendeleistung) in einem Meter Abstand ca. $125 \mu\text{W}/\text{m}^2$, in 10 Meter Abstand ca. $1,25 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

6.5 Polycom (Sicherheitsfunksystem)

Das schweizerische Sicherheitsnetzwerk POLYCOM beruht auf der Basis von Tetrapol und ist in Liechtenstein für die neue Funkübertragung vorerst für die Grenzschutz und Polizei in Vorbereitung. Dieses Sicherheitsfunksystem arbeitet zwar wie beim GSM-Mobilfunk mit digitaler Übertragung der Sprach- und Datensignale, doch unterscheidet es sich im Kanalzugriffsverfahren. POLYCOM erlaubt grössere Reichweiten bei gleicher Sendespitzenleistung, so dass weniger Basisstationen benötigt werden und verfügt über eine Sende-Leistungsregelung für das Mobilgerät, was in entsprechenden Umgebungen eine kleinere Sendeleistung ergibt. Auch für dieses Sicherheitsfunksystem gibt es Grenzwerte, die eingehalten werden müssen.

6.6 Der Mikrowellenherd

Bei einem Mikrowellenherd werden Speisen nicht durch Kontakt mit einer heissen Fläche oder heisser Luft, sondern durch Absorption von Mikrowellen erwärmt. Diese versetzen die Wassermoleküle des Garguts in Schwingungen. Deren Bewegungen erzeugen schliesslich Wärme.

Die beim Mikrowellenherd zum Erwärmen verwendete Frequenz liegt bei 2.455 MHz mit einer Leistung von ca. 300W zum Auftauen bis 1500W zum Erhitzen.

Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass diese Frequenz die Resonanzfrequenz von Wasser sei oder in dessen Nähe liegt: Die Resonanzfrequenz von Wasser liegt weit höher, für einzelne Moleküle nämlich in der Nähe von 20.000 MHz (20 GHz) und hat insgesamt kein ausgeprägtes Maximum.

Dagegen liegt die Frequenz von 2.455 MHz in einem eigens für technische Zwecke freigegebenen Frequenzband (ISM-Band, siehe 5.1) und wurde deshalb ausgewählt, da bei dieser Frequenz die Funkwellen noch tief genug ins Gargut eindringen und dieses dadurch effektiv erwärmen können.

Mehrere Sicherheitsschalter verhindern, dass das Gerät auch bei geöffneter Tür arbeitet. Daher sollte diese nicht manipuliert werden, ebenso wie ein an Fenster oder Türdichtung schadhafte Gerät repariert bzw. ausgetauscht werden sollte.

6.7 Radaranlagen

In der Radartechnik (Radar: Radio Detection and Ranging) werden die auf einen kurzen Sendeimpuls folgenden Echos zur Ortung von Funkwellenreflektierenden Objekten ausgewertet. Nach ersten Radaranwendungen bereits im Jahr 1904 erfolgte nach der Entwicklung leistungsstarker Senderöhren im Zweiten Weltkrieg der breite Durchbruch dieser Funkanwendung, wobei es heute sehr vielfältige Anwendungen von Ortungsverfahren aller Art über Satellitenleitsysteme bis zur Nutzung bei der Wettervorhersage gibt.

Bei vielen Radargeräten werden Funkwellen in kurzen Impulsen ausgesendet, um aus dem zeitlichen Abstand des vom reflektierenden Objekt zurückgesandten Signals die Entfernung berechnen zu können. Zudem kann aus der durch den Doppler-Effekt erfolgten Frequenzverschiebung des Empfangssignals abgeleitet werden, ob sich das Objekt nähert oder entfernt. Die verwendeten Frequenzen sind von dem Einsatzzweck abhängig, wobei die Reichweite mit wachsender Frequenz sinkt und die Auflösung dagegen steigt. Die meisten Radaranwendungen arbeiten im Frequenzbereich von etwa 1 bis 40 GHz. Die Sendeleistungen sind ebenfalls sehr unterschiedlich, sie reichen von wenigen Milliwatt für Abstandswarner bis hin zu mehreren Me-

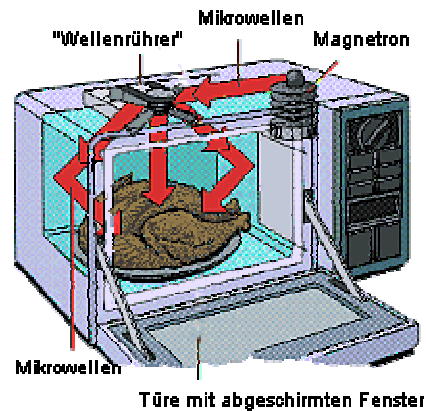


Abb. 15: Prinzipschema eines Mikrowellenherdes (Quelle: www.ralf-woelfle.de)



Abb. 16: Hochleistungsradar (Quelle: www.ralf-woelfle.de)

gawatt bei Radaranlagen mit grosser Reichweite. Die Sendeantennen sind stark bündelnde Richtantennen, die für Ortungsanwendungen zudem noch rotieren können, um einen weiteren Bereich abzudecken.

6.7.1 Verkehrsradar

Am bekanntesten sind hier die Systeme zur Geschwindigkeitsüberwachung, welche die Geschwindigkeit aufgrund der Frequenzverschiebung zwischen ausgesandter und empfangener Welle (Doppler-Effekt) messen können. Dazu arbeiten sie mit einem permanenten Sendesignal je nach Typ im Frequenzbereich von 9 bis 35 GHz und mit Sendeleistungen bis etwa 0,5 Watt Strahlungsleistung (EIRP). Die Leistungsflussdichte bei diesen Anlagen beträgt direkt an der Antenne bis zu 4 W/m², im Abstand von 5 Meter sind es noch bis zu etwa 0,07 W/m².

In letzter Zeit werden vermehrt auch radargestützte Abstandswarnsysteme für Fahrzeuge getestet und angeboten, welche im Frequenzbereich von 40 bis 150 GHz mit Sendeleistungen deutlich unter einem Watt arbeiten.

Weitere Radaranwendungen:

- Flugsicherungsradar
- Schiffsradar
- Militärisches Radar

7 Schlussbetrachtung

Die gegenwärtigen Diskussionen rund um das Thema Mobilfunk im Ausland sowie in Liechtenstein zeigen die grundsätzliche Problematik deutlich auf. Ein Grossteil der Menschen nutzt die mobilen Kommunikationsdienste täglich. Das Mobiltelefon ist dadurch zu einem wesentlichen Bestandteil des Alltags geworden. Dessen ungeachtet stellen sich in dieser Diskussion aber auch verschiedene Fragen betreffend die gesundheitlichen Auswirkungen dieser Entwicklung. Die Wissenschaft hat sich daher seit mehreren Jahren dieser Thematik angenommen und hat in unzähligen Untersuchungen nach wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen gesucht.

Jüngste Berichte bestätigen frühere Ergebnisse fachlicher Prüfungen, gemäss welchen es nach medizinischem Forschungsstand bis heute keine reproduzierbaren, eindeutigen Beweise für gesundheitliche Risiken gibt, die durch Exposition von hochfrequenten elektromagnetischen Felder (EMF) in einer unterhalb der von internationalen Normungsorganisationen festgelegten Stärke ausgelöst wurden¹. Trotzdem wird sich die Wissenschaft auch in den nächsten Jahren intensiv mit diesem Themenkomplex auseinandersetzen.

Die Regierung ist dabei der Auffassung, dass die gesundheitsverträglichen Aspekte des Mobilfunks einer laufenden Prüfung unterzogen werden müssen. Daher setzt sie sich dafür ein, dass diesbezügliche Argumente ernst genommen und so gesundheitsverträgliche Grenzwerte geschaffen und auch eingehalten werden. Die Regierung setzt dabei insbesondere auch auf die Eigenverantwortung der Mobilfunk-Benutzer. Schliesslich geht der Grundsatz, dass Wirtschaft und Bevölkerung ein zentrales Bedürfnis nach elektronischen Kommunikationsdienstleistungen und auch ein Recht auf mobile Kommunikation haben, mit einem hohen Mass an Eigenverantwortung einher. Auflagen würden einen massiven Eingriff in die Handlungsfreiheit eines jeden Individuums bedeuten, was nicht zuletzt auch einer liberalen Wirtschaftsordnung widersprechen würde. Die Regierung unterstützt die Bestrebungen von Interessensvertretern, gesundheitsverträgliche Grenzwerte umfassend zu diskutieren und diese entsprechend internationalen Normen und Abkommen festzulegen. Ziel der Regierung ist es dabei auch, die Grenzwerte mit den Nachbarstaaten zu harmonisieren, um so die Funktionalität der liechtensteinischen Ressourcen gleichwertig zu fördern und zu nutzen.

¹ Neuste Ergebnisse des Konsensusmeetings des Wissenschaftlichen Beirat Funk (Österreich) zum Thema ‚Mobilfunk und Gesundheit‘ vom 4. November 2004 (Quelle: <http://www.dr.bannert-pr.at/medien/04.11.04.htm>)

8 Abkürzungen und weitere Informationen

GSM	Global System for Mobile Communications (aktuelle Mobilfunktechnologie)
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data (Weiterentwicklung von GSM)
GPRS	General Packet Radio Service (Weiterentwicklung von GSM)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (zukünftige Mobilfunktechnologie)
SMS	Short Message Service
MMS	Multimedia Messaging Service
Frequenz	Anzahl Wellen pro Sekunde
Hertz (Hz)	Einheit für Frequenz
Amplitude	Feldstärke, ausgedrückt in der dafür notwendigen Leistung
Watt (W)	Einheit für Leistung
Volt (V)	Einheit der Feldstärke
SIM-Karte	Subscriber Identity Module, Chip mit Daten der Benutzerberechtigung
ICNIRP	Internationale Strahlenschutzkommission
SAR-Wert	Wert Spezifische Absorptionsrate

Weitere Informationen

Amt für Kommunikation

www.ak.llv.li

Informationen des Bundesamtes für Gesundheit

www.bag.admin.ch

Informationen des Bundesamtes für Wald, Landschaft und Umwelt

www.buwal.ch

Bundesamt für Strahlenschutz

www.bfs.de

Informationen zur Forschung

www.mobile-research.ethz.ch

Informationsdrehscheibe zum Mobilfunk

www.forummobil.ch

Verein für gesundheitsverträglichen Mobilfunk

www.telefonie.li

Informationszentrum Mobilfunk

www.izmf.de

Internationale Strahlenschutzkommission

www.icnirp.org

Impressum

Regierung des Fürstentums Liechtenstein

Ressort Verkehr und Kommunikation

Ressort Umwelt, Raum, Land- und Waldwirtschaft

Regierungsgebäude

FL-9490 Vaduz

November 2004