

Inhalt

Indoor-Versorgung und ihr Einfluss auf die Höhe der Exposition.....	1
Forschungsspektrum.....	7
Impressum	8

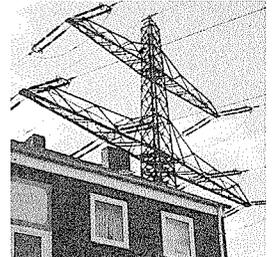
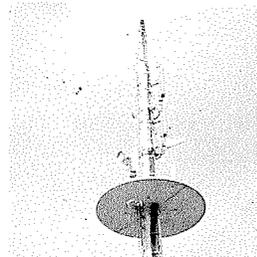
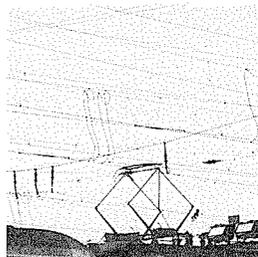
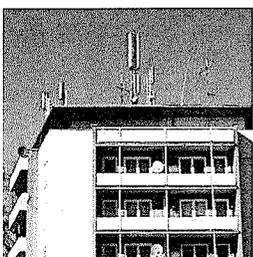
Indoor-Versorgung und ihr Einfluss auf die Höhe der Exposition

Peter Nießen und Hartmut Voigt

Durch die Einführung des Mobilfunks sollte ermöglicht werden, auch 'mobil', z.B. unterwegs im Freien oder im Fahrzeug (schwere 'Autotelefone' – mit höherer Sendeleistung als heute und meist mit Außenantenne), erreichbar zu sein. Hierfür wurden relativ wenige Sendestationen, aber – um eine große Fläche zu versorgen – mit hoher Sendeleistung (typisch pro Kanal: 20-40 W), benötigt. Ihre Errichtung außerhalb der Ortschaften führte zunächst nur zu einer geringen Exposition der Nichtnutzer.

Die Entwicklung der kleineren und mit geringerer Sendeleistung ausgestatteten 'Handys' machte mehr Sendeanlagen nötig, damit diese trotz ihrer begrenzten Reichweite möglichst flächendeckend eine Basisstation erreichen konnten (und können). Gleichzeitig reichte die Kapazität der wenigen Sendestationen für die größer werdende Anzahl von Nutzern und damit von gleichzeitig geführten Gesprächen nicht mehr aus, was ebenfalls zu einem größeren Bedarf an Basisstationen führte. Durch diesen Netzausbau wurde natürlich die von einer Basisstation versorgte Fläche (im Mittel) kleiner, was dazu führte, dass immer mehr Basisstationen in der Nähe von und auch in Siedlungsgebieten gebaut wurden. Dadurch stieg zwangsläufig die Exposition der Bevölkerung gegenüber hochfrequenter Mobilfunkstrahlung an, sowohl in der Spitze für die (eher wenigen) Nachbarn der Basisstationen als auch im Mittel für die Gesamtbevölkerung. Allerdings war diese Auswirkung nicht so stark, wie zu befürchten gewesen wäre: Denn im Zuge des Netzausbaus mit immer mehr Basisstationen wurden diese mit deutlich geringerer Sendeleistung pro Sendekanal (typisch pro Kanal: 10-20 W) ausgestattet. Und dies, die Versorgung einer Fläche mit vielen kleinen Sendern, führte – im Vergleich zur Versorgung mit wenigen starken Sendern – im Flächenmittel eher zu einer etwas, in der Spitze zu einer deutlich geringeren (Dauer-) Immission (vgl. Kasten 1, die Kästen finden sich am Ende des Textes). Zusätzlich sank die sehr viel höhere sporadische Exposition der Handy-Nutzer erheblich, da die Entfernung zur nächsten Basisstation in den meisten Fällen nun deutlich kleiner wurde. Auf der anderen Seite führte die größere Anzahl jetzt auch innerörtlicher Basisstationen natürlich dazu, dass mehr Menschen einer höheren Dauerexposition ausgesetzt wurden.

(Fortsetzung auf Seite 2)



Mit der weiter ansteigenden Zahl der Nutzenden und Nutzungsarten, die mit den modernen Smartphones möglich sind, wächst auch das Funkverkehrsaufkommen und damit die (mittlere) Exposition der Bevölkerung: Je häufiger Mobiltelefone genutzt werden, desto größer ist die mittlere, tatsächlich abgestrahlte Sendeleistungssumme aller Basisstationen, unabhängig von der Verteilung auf viele schwache oder auf wenige starke Sender.

In den letzten Jahren entstand in gegenseitigem Wechselspiel zwischen technischen Möglichkeiten und tatsächlicher Nutzung ein unausgesprochenes 'Übereinkommen' der Handy-Nutzer mit den Mobilfunkversorgern: Der Mobilfunk kann und wird nicht mehr nur im Freien bzw. unterwegs genutzt, sondern möglichst immer und überall, auch in Gebäuden. Es wird derzeit eine allgemeine, möglichst flächendeckende Indoor-Versorgung erwartet und bereitgestellt, zwangsläufig auch für diejenigen, die gar nicht – zumindest nicht im Haus – mit dem Handy telefonieren möchten. Teilweise wird dieses 'Übereinkommen' auch zum Prinzip erhoben, wenn von den Mobilfunkfirmen für eine vollständige Telefon- und Internet-Anbindung über Mobilfunk (unter Verzicht auf einen Festnetzanschluss) geworben wird.

Inzwischen werden die Basisstationen, auch in Siedlungsgebieten und bei kleinen Funkzellen, wieder mit deutlich höheren Sendeleistungen pro Kanal ausgestattet (typisch derzeit pro Kanal: 20-40 W). Dies geschieht im Wesentlichen, um die Indoor-Versorgung zu gewährleisten. Die Folge ist eine erhöhte Exposition der Bevölkerung. Die (wieder) höheren Sendeleistungen können bei gleichzeitig kleineren Funkzellen zu Störungen in anderen Bereichen, z.B. der übernächsten 'Nachbar'-Funkzelle führen. Dies wird nicht dadurch vermieden, dass die Sendeleistungen wieder reduziert werden, sondern dadurch, dass die Hauptabstrahlrichtung stärker nach unten geneigt wird (der 'Downtilt' wird vergrößert), so dass die Hochfrequenzwellen die anderen Funkzellen nicht erreichen. Diese größere Strahlabsenkung führt bei den Anwohnern einer Sendeanlage zu deutlich höheren Expositionen, da dadurch die Hauptabstrahlrichtung mit der höchsten Intensität dichter an ihren Aufenthaltsorten entlang verläuft – der 'Leuchtturmeffekt' ist nicht mehr oder nur noch geringer ausgeprägt. Durch dieses Vorgehen wird die Exposition auch derjenigen, die (zu Hause) den Mobilfunk nicht nutzen möchten, noch einmal erhöht.

Ob diese ungefragte Indoor-Versorgung auch bei Nicht-Nutzern rechtlich zulässig ist, wird neuerdings von Juristen thematisiert und durchaus in Zweifel gezogen. So verweist Bernd Budzinski, ehemaliger Richter am Verwaltungsgericht Freiburg, auf die Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs für Menschenrechte (2007), wonach die Einstrahlung von Mobilfunkemissionen in eine Wohnung prinzipiell einen Eingriff in das durch die Europäische Menschenrechtskonvention geschützte Recht auf Unverletzlichkeit der Wohnung darstellt. "Die Indoor-Versorgung, d.h. das absichtliche Eindringen der Sender mit ihren Emissionen in alle Wohnungen durch die Außenwände, als Eingriff in die besonders geschützte Wohnung (Art. 8 Abs. 1 EMRK), bedürfte daher nach meiner Auffassung einer ausdrücklichen gesetzlichen Ermächtigung (Vorbehalt des Gesetzes, Art. 8 Abs. 2 EMRK, Art. 20a GG)." (Bernd Budzinski, private Mitteilung 07.05.2011, s.a. Budzinski 2009). Dieser rechtliche Aspekt soll hier neben den

Auswirkungen der Indoor-Versorgung auf die Höhe der Exposition nicht diskutiert werden. (EMRK ist die Abkürzung für Europäische Menschenrechtskonvention, bzw. Konvention zum Schutze der Menschenrechte und Grundfreiheiten.)

Um trotz der Dämpfung durch die Gebäudewände auch beim Umhergehen in Wohnungen eine ausreichende Empfangsqualität zu erreichen, muss die Immissionshöhe außerhalb des Gebäudes deutlich größer sein, als sie ansonsten für einen guten Empfang außerhalb der Gebäude erforderlich wäre. Je nach Situation macht dies einen Faktor zwischen 5 und 500 aus (vgl. Kasten 2). Um einen entsprechenden Faktor könnten die Sendeleistungen der Basisstationen verringert werden, wenn auf die allgemeine Indoor-Versorgung verzichtet würde. Die mögliche Höhe dieses Reduktionsfaktors hängt im Einzelfall von den konkreten Bedingungen ab. Außerdem ist die Höhe der Gebäudedämpfung frequenzabhängig, weshalb dieser Faktor für die verschiedenen Mobilfunksysteme unterschiedlich ist. Als grober Ansatz kann angenommen werden, dass der Verzicht auf die allgemeine Indoor-Versorgung in vielen Fällen dazu führen würde, dass die Sendeleistung und damit auch die Exposition im Mittel um den Faktor Zehn oder mehr gesenkt werden könnte.

Gegen einen Verzicht auf die allgemeine Indoor-Versorgung werden immer wieder verschiedene Argumente (●) ins Feld geführt, auf die hier etwas näher eingegangen werden (○) soll:

- Zunächst wird vielfach die Notwendigkeit nicht gesehen, die Expositionshöhen abzusenken, da die gesetzlichen Grenzwerte lediglich geringfügig ausgeschöpft würden.
- Nur unter der 'mutigen' Annahme, dass die gesetzlichen Grenzwerte einen völlig ausreichenden Schutz bieten, wäre dieses richtig. Doch es gibt eine Vielzahl von Forschungsergebnissen, die nahe legen, dass aus Vorsorgegründen eine Minimierung der Expositionen auch unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte angebracht ist. Selbst die Strahlenschutzkommission empfiehlt seit 2001 (SSK 2001) "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." Sie hat diese Empfehlung zur Minimierung seitdem mehrfach wiederholt, z.B. (SSK 2006): "Eine im Rahmen aller technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten zu realisierende Minimierung der Gesamtexposition ergibt sich auch ohne bisher nachgewiesene Gesundheitsrisiken als ein Gebot der vorausschauenden Technologieplanung". Eine dieser Maßnahmen könnte der Verzicht auf die allgemeine Indoor-Versorgung sein.

Durch einen Verzicht auf die Indoor-Versorgung soll ja nicht primär die Immissionen im Freien abgesenkt werden, sondern es sollen die Dauerexpositionen der Menschen in ihren Wohnungen vermindert werden. Im besonders schutzwürdigen Bereich der eigenen Wohnung (s.o.) sollte es gerade auch für diejenigen, die aus persönlicher Vorsorge heraus den Mobilfunk nicht nutzen möchten, nicht durch permanente, ungewünschte Einstrahlung von außen unmöglich gemacht werden, die eigene Exposition deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten zu halten.

- Es wird gesagt, dass durch die Verringerung der maximalen Sendeleistung der Mobilfunkstationen auch die Reichweite der Mobilfunkstationen eingeschränkt würde. Die dadurch entstehenden Versorgungslücken müssten dann durch ergänzende Mobilfunkstationen geschlossen werden, um auch nach der Absenkung der Sendeleistungen eine ausreichende Überlappung der Funkzellen sicherzustellen, d.h. die Bereiche benachbarter Funkzellen mit ausreichender Empfangsqualität müssen sich soweit überlappen, dass ein problemloses 'Handover' (Übergabe der Funkverbindung von einer Basisstation zur nächsten während eines Gespräches) möglich ist.
 - Dies könnte im ländlichen Raum tatsächlich mitunter der Fall sein, nämlich dort, wo in den Bereichen zwischen den einzelnen Ortschaften eine Indoor-Versorgung nicht nötig und oft auch nicht gegeben ist. Hier müssten dann u.U. (z.B. zur Versorgung von Verkehrswegen) neue Füllsender gebaut werden, sofern sich die vorhandenen Basisstationen in der Nähe oder innerhalb von Wohngebieten befinden und deren Sendeleistungen verringert werden sollen.
- In Innenstädten sieht dies völlig anders aus, da dort praktisch überall eine Indoor-Versorgung gegeben ist, so dass nach einer Absenkung der Sendeleistungen aller Stationen zwar die Indoor-Versorgung nicht mehr gewährleistet wäre, die Versorgung im Außenraum aber in den meisten Fällen weiterhin völlig ausreichend sein sollte. Denn wenn vor der Umstellung eine Indoor-Versorgung gesichert war und bei der Umstellung die Sendeleistung nur soweit gesenkt wird, wie vorher zur Überwindung der Gebäudewanddämpfung erforderlich war, dann ist nach der Umstellung vor dem Haus die Outdoor-Versorgung weiterhin gesichert. Wenn vor der Umstellung eine ausreichende Überlappung für die Indoor-Versorgung (z.B. bei größeren Gebäuden an der Grenze zwischen zwei Funkzellen) vorhanden war, sollte diese Überlappung nach der Umstellung im Außenraum auch weiterhin vorhanden sein. Nur in seltenen Fällen könnte es sein, dass zur Aufrechterhaltung der Überlappung, ein Füllsender neu aufgestellt werden müsste (z.B. wenn zwischen den Häusern mit Indoor-Empfang an der Grenze zweier Zellen ein größerer Abstand besteht). Außerdem könnte in Ausnahmefällen, in denen die Versorgung vorher nur über mehrere Reflexionen erfolgte (z.B. bei Abschattung durch größere Gebäudekomplexe), die Intensität nach der Absenkung nicht mehr ausreichen und ebenfalls die Errichtung einer zusätzlichen Basisstation erforderlich sein.
- Es wird angeführt, dass durch die reduzierten maximalen Sendeleistungen der Mobilfunkstationen zwar die maximalen Immissionen der elektromagnetischen Felder im direkten Umfeld der Mobilfunkbasisstationen gesenkt würden, dass sich aber eine Absenkung der mittleren Immissionen, nicht zuletzt aufgrund der erforderlichen ergänzenden Mobilfunkstationen, nicht ergeben würde.
 - Dies ist schlicht falsch. Zum einen sind in städtischen Gebieten sicher kaum zusätzliche Mobilfunkstandorte nötig, um die Versorgung im Freien sicher zu stellen. Zum anderen gilt ganz allgemein, dass nicht nur die Immissionsspitzen gesenkt werden, wenn ein Gebiet statt mit wenigen starken mit vielen kleinen Sendeanlagen versorgt wird, sondern dass auch im Flächenmittel die Immission geringer wird (vgl. Kasten 1).
 - Es wird angeführt, dass der Verzicht auf die allgemeine

Indoor-Versorgung technik- und wirtschaftsfeindlich wäre.

- Dort, wo auch ohne Indoor-Versorgung in Wohnungen, Büros usw. mit dem Handy telefoniert oder im Internet gesurft werden soll, besteht die Möglichkeit, das Mobilfunksignal mit einer Dach- oder Fassadenantenne aufzufangen und in ein hausinternes (Funk-) Netz einzuspeisen. Da dies sicher häufig gewünscht wird, wäre der Verzicht auf die allgemeine Indoor-Versorgung auch eine Art Investitionsprogramm für Anlagenhersteller und Handwerker.

Weiterhin könnte der Verzicht auf eine Indoor-Versorgung auch als Antrieb für eine sinnvolle Weiterentwicklung der Technik dienen: Gerade dicht besiedelte Gebiete sind heute bereits mit (häufig mehreren) Kabelnetzen versorgt (Telefon, Kabelfernsehen, teilweise Glasfaserkabel bis in jedes Wohnhaus). Anstatt hier auf eine immer weitergehende Versorgung über externe Funktechnik (wie beim heutigen Mobilfunk) zu setzen, wäre es auch in Bezug auf eine sinnvolle Ausnutzung der (knappen) Ressource HF-Bandbreite für eine Versorgung innerhalb von Gebäuden wesentlich besser, für eine Anbindung gebäudeinterner Kommunikationsnetze an vorhandene Kabelnetze zu sorgen. Gebäudeinterne Netze könnten dann nach Wahl der Nutzer auch funkgestützt sein. Damit letztere auch für nicht im jeweiligen Gebäude wohnende Nutzer (Besucher, auch in Restaurants usw.) zugänglich sind, müssten innovative Techniken (z.B. Einbuchung der Besucherhandys in gebäudeinterne DECT-Netze) und entsprechende Abrechnungsmodelle entwickelt werden, die eine mobile Erreichbarkeit auch von Gästen ermöglichen würden.

Schon heute ist es so, dass weitere Mobilfunkstationen nur in Randbereichen aufgebaut werden, um Versorgungslücken zu schließen. Die meisten neuen Stationen werden errichtet, weil die Kapazität der bisherigen nicht ausreicht. Wenn durch den weiteren Ausbau der Indoor-Versorgung, das Festnetz zurückgedrängt wird, entsteht dadurch ein weiterer Anstieg der Mobilfunkverbindungen, was die Immissionen im zeitlichen Mittel vergrößert und im Endeffekt zum Aufbau weiterer Stationen führen wird, insbesondere wenn die mobile Datenanbindung (Internet-Nutzung) durch Smartphones usw. zunimmt.

Insgesamt wäre der Verzicht auf die allgemeine Indoor-Versorgung eine gute Möglichkeit, die Exposition der Bevölkerung signifikant zu verringern.

Quellen

Budzinski B. 2009: Bei Notruf: Funkstille - wie mobil funkt der Rechtsstaat. Natur und Recht (S. 846). Springer Verlag (2009)

Oberfeld G. 2008: Informationsmappe Elektromog. Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 9: Gesundheitswesen und Landesanstalten, <http://www.salzburg.gv.at/infomappe-elektromog-2.pdf>.

SSK 2001: Strahlenschutzkommission: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, Berichte der SSK, Heft 29, Urban & Fischer, München, Jena (2001)

SSK 2006: Mobilfunk und Kinder. Stellungnahme der SSK. Verabschiedet in der 213. Sitzung der SSK am 05./06.12.2006. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 61, S. 253-303. H. Hoffmann GmbH, Berlin (2007)

Kasten 1:

Vergleich der Immissionshöhe in einem Gebiet bei unterschiedlicher Versorgung:

(A) mit einem starken Sender und (B) mit mehreren kleineren Sendern

Unter Freiraum-Ausbreitungsbedingungen – d.h. ohne (!) zusätzliche Abschwächungen (s.u.) – bleibt (abstrahiert von den realen Gegebenheiten) die mittlere Immissionshöhe in einem Gebiet gleich, egal ob eine starke Sendestation (A) oder mehrere, z.B. zehn kleinere Stationen (B) mit einer dann um den Faktor zehn niedrigeren Sendeleistung die Versorgung sichern. In beiden Fällen ergibt sich dieselbe Gesamtsendeleistung für dieselbe Gesamtfläche und damit dasselbe Flächenmittel der Intensität. Dies ist eine logische Folge davon, dass einerseits die Größe der zu versorgenden Fläche mit dem Quadrat der Ausdehnung (beim Kreis: des Radius, beim Quadrat: der Seitenlänge) ansteigt, andererseits die Intensität mit dem Abstand quadratisch abnimmt. Der zweite Fall (B, viele kleine Sender) sorgt allerdings für eine 'gleichmäßigere' Verteilung, d.h. deutlich geringere Maximalwerte, aber dafür größere Bereiche, die über den Minimalwerten am Rande des Versorgungsbereiches liegen (vgl. Abbildung 1a und 1b):

- Unter Annahme einer gleichmäßigen Siedlungsdichte sind bei nur wenigen starken Sendern (Fall A, Abb. 1a) einige wenige Anwohner einer extremen Immissionshöhe (weiß) ausgesetzt, einige einer hohen (schwarz), etwas mehr einer mittleren (dunkel grau), viele einer geringen (mittelgrau) und sehr viele einer sehr geringen Immission (hellgrau).
- Bei vielen kleinen Anlagen (Fall B, Abb. 1b) ist kein Anwohner einer extremen Immissionshöhe ausgesetzt, sehr wenige einer hohen, etwas mehr einer mittleren, sehr viele einer geringen und nicht ganz so viele wie im Fall (A) einer sehr geringen Intensität.

Fall (A) erscheint vielen Bürgern 'ungerecht', da bei wenigen starken Sendern einige wenige Anwohner eine relativ hohe 'Belastung' erdulden müssen, damit alle telefonieren können, während sehr viele kaum exponiert werden. Im anderen Fall sind Nutzen und 'Belastung' etwas gleichmäßiger auf alle verteilt.

Die Zahlenwerte in dem Beispiel (Tab. 1) sind willkürlich, es sollen nur die Relationen der Immissionshöhe in der Ebene der Hauptstrahlrichtung dargestellt werden.

Die Sendeleistung jedes Senders ist so gewählt, dass in den Ecken des Quadrates, das von diesem Sender versorgt werden soll, die Intensität, die von diesem Sender herrührt, gerade den Wert Eins (in willkürlichen Einheiten) erreicht: beim starken Sender (Abb. 1a) in den Ecken des großen Quadrats, bei den vier kleinen Sendern in den Ecken der jeweils zugehörigen kleinen Quadrate (Abb. 1b). Durch die 'Reststrahlung' der anderen Sender liegt das Minimum im Fall (B) auch in den vier äußeren Ecken ein wenig höher als im Fall (A).

Das Maximum im Nahbereich wird durch die Höhe der Sendeleistung bestimmt und ist im Fall (A) etwa viermal so hoch wie im Fall (B).

Ob zur Sicherstellung einer ausreichenden Überlappung die mittlere Intensität für den Fall vieler kleiner Sender geringfügig ansteigt oder abnimmt gegenüber dem Fall weniger starker

Abbildung 1

Intensitätsverteilung (a) bei einem starken Sender und (b) bei vier schwächeren Sendern

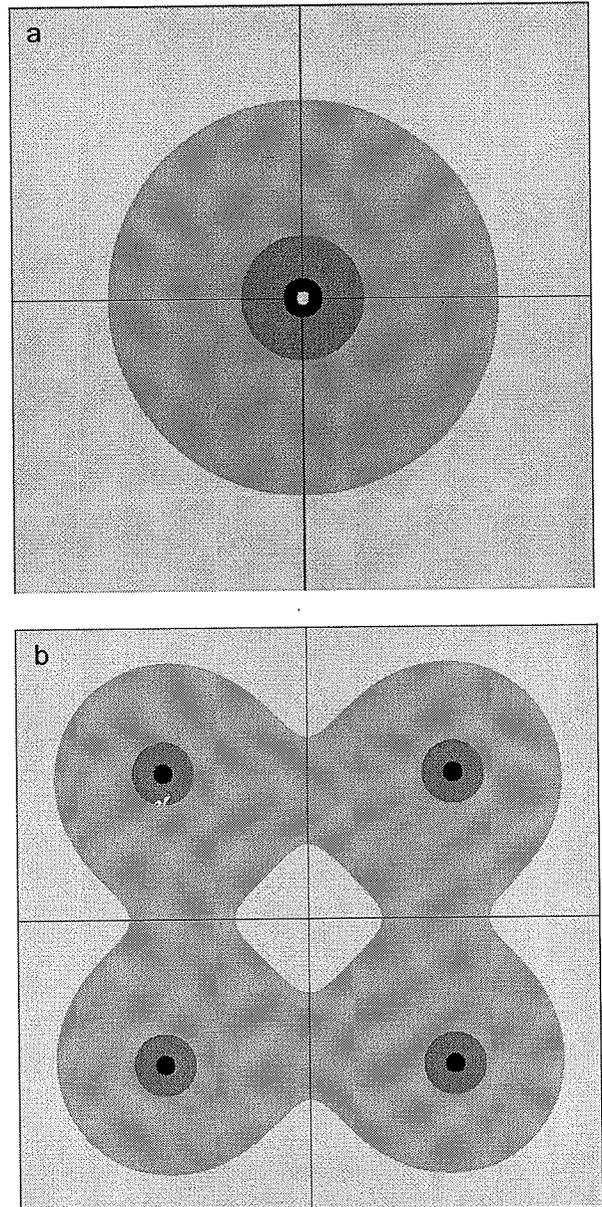


Tabelle 1

Werte der Intensität im Versorgungsgebiet in willkürlichen Einheiten

	1 Sender	4 Sender
Maximum	5.000	1.251
Mittelwert	~ 16	~ 16
Minimum	1,0	1,5

Sender, ist abhängig von der tatsächlichen Form des Versorgungsgebietes und den Möglichkeiten durch geschickte Standortwahl und passende Antennencharakteristiken diese Form 'nachzubilden'. Da bei vielen kleinen Sendern für diese Anpassung erheblich mehr Möglichkeiten bestehen, ist es wahr-

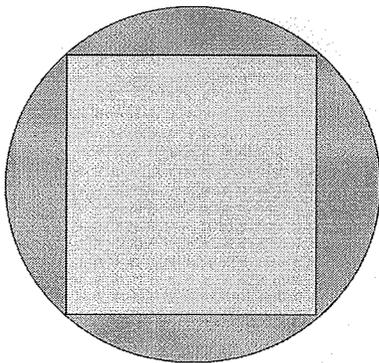
(Fortsetzung von Kasten 1)

scheinlich, dass durch eine geschickte Standortwahl die mittlere Intensität ein wenig sinkt. Anders ist es allerdings, wenn es einige gut geeignete Standorte (z.B. einzelne Hochhäuser) gibt, die Füllstationen dazwischen aber auf 'normalen' Häusern errichtet werden müssten.

Beispiel zur Veranschaulichung des 'Prinzips der automatischen Überlappung' (s. Abb. 2): Wenn eine quadratische Fläche von einem in der Mitte positionierten (flächig-) isotropen Rundstrahler bis in die Ecken hinein ausreichend versorgt werden soll, ergeben sich immer kleine Bereiche (dunkelgrau), die außerhalb des zu versorgenden Gebietes (hellgrau) liegen, in denen aber die Intensität für einen ausreichenden Empfang hoch genug ist. Diese Gebiete könnten so 'automatisch' für die nötige Überlappung sorgen, ohne dass dafür die Leistung des Senders angehoben werden muss. Die Tatsache, dass die Form des Versorgungsgebietes nicht identisch ist mit der Form der Abstrahlcharakteristik führt automatisch zu Bereichen, die zur Überlappung genutzt werden können.

Abbildung 2

ausreichende Mindestintensität (dunkler Kreis)
auch außerhalb des Versorgungsgebietes (helles Quadrat)



In der Realität nimmt die Intensität aber meist (z.T. deutlich) schneller ab, als es der ungestörten Freiraumausbreitung entspricht. Insbesondere Berge, Bäume und Häuser, die die Strahlung 'abschatten', aber auch Wechselwirkungen dieser Objekte mit den dicht über sie hinweg gehenden Strahlen, führen zu einer schnelleren Intensitätsabnahme als der $1/R^2$ -Ansatz vorhersagt. Ebenso bewirken Lufttrübungen (Staub, winzige Wassertropfchen usw.) eine Abschwächung. Dies führt dazu, dass zur ausreichenden Versorgung eines doppelt so großen Kreises (vierfache Fläche) die Sendeleistung des Senders mehr als viermal so groß sein muss. Dieser Effekt hat zur Folge, dass für die Versorgung desselben Gebietes die Summen-Sendeleistung vieler kleiner Sender (meist) kleiner sein kann als die Sendeleistung eines einzelnen starken Senders. D.h., dass (meist) nicht nur die Maximalwerte der Immission (Feldstärke oder Leistungsdichte), sondern auch die Flächen-Mittelwerte bei vielen kleinen Sendern geringer sein können als bei der Versorgung mit einem starken Sender.

Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass die vorstehenden Überlegungen in strenger Form nur für eine homogen besiedelte Fläche gültig sind und die Versorgung in beiden Fällen (wenige starke oder viele kleine Sender) von gleichartigen Senderstandorten erfolgt (z.B. Mobilfunkbasisstationen in 20 m Höhe über Boden). In realen Städten ist die Situation meist komplizierter und nicht allgemeingültig zu beantworten: Stehen zum Beispiel einige (wenige) besonders hohe Gebäude zur Verfügung, die sich für eine strahlungsminimierte Mobilfunkversorgung besonders eignen, so kann sich abweichend von der Theorie die Situation ergeben, dass durch wenige größere Basisstationen an den besonders geeigneten Standorten eine Mobilfunkversorgung realisiert werden kann, bei der sowohl die Spitzen-Expositionen (im Nahbereich) als auch die mittleren Expositionen geringer ausfallen als bei einer Versorgung durch eine größere Anzahl von kleinen Stationen an ungünstigen Standorten. Im konkreten Einzelfall kann dies nur durch eine detaillierte Analyse entschieden werden.

Kasten 2:

Vergleich der Immissionshöhe in 'normalen' und in optimierten Mobilfunknetzen mit und ohne Indoor-Versorgung

Der wesentliche Grund für die in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation auftretenden relativ hohen Immissionen liegt vor allem darin, dass die Sendeleistung der Mobilfunkbasisstation so hoch gewählt wird, dass das Mobilfunksignal auch nach vielfältigen Verlusten auf dem Weg von der Basisstation zu einem entfernten Teilnehmer am Rand des Versorgungsgebietes dort noch für eine Gesprächsverbindung ausreichen muss. Der erforderliche Versorgungspegel für ein einzelnes Mobilfunkgespräch liegt je nach der verwendeten Funktechnik (GSM-900, GSM-1800, UMTS usw.) zwischen $0,0001$ und $0,0005 \mu\text{W}/\text{m}^2$ und somit wesentlich niedriger als die auch von mobilfunkkritischer Seite geforderten Immissionsschutzwerte. Der erforderlichen Mindestpegel, der für ein einzelnes Mobilfunkgespräch erforderlich ist, wird hier mit $0,0005 \mu\text{W}/\text{m}^2$ angesetzt und liegt damit etwas höher als der

Mindestversorgungspegel entsprechend den Angaben der Landessanitätsdirektion Salzburg (Oberfeld 2008). Dort werden als Konzessionsbedingungen für die Schweiz Mindestversorgungspegel für GSM900 von ca. $0,0001 \mu\text{W}/\text{m}^2$ und für GSM1800 von $0,0003 \mu\text{W}/\text{m}^2$ angegeben. Trotzdem wird hier als Mittelwert über alle Mobilfunknetze $0,0005 \mu\text{W}/\text{m}^2$ angesetzt, um somit noch 'Reserven' für UMTS- bzw. LTE-Verbindungen mit hohen Datenraten zu haben.

Nachfolgend ist kurz dargestellt, aus welchen Gründen im realen Betrieb heutiger Mobilfunknetze tatsächlich drastisch höhere Immissionen auftreten und wie diese verringert werden können, z.B. durch Verzicht auf eine Indoor-Versorgung und/der eine Optimierung der Standorte.

Als wesentliche Intensitätsverluste sind zu berücksichtigen:

1. 'Indoor loss': Die Dämpfung (Intensitätsverlust), den die elektromagnetische Welle beim Durchgang durch die Hauswände erfährt, ist abhängig von der Frequenz und den Wandmaterialien und umfasst mindestens den Bereich zwischen 7 und 27 dB, dies entspricht Dämpfungs-

(Fortsetzung von Kasten 2)

faktoren zwischen 5 und 500. In der Mobilfunkplanung wird die Dämpfung typischerweise mit 18 dB (Faktor 63) angesetzt:

	Dezibel	Dämpfungsfaktor
Indoor loss	18	63

2. 'Fast fading': Die sehr kleinräumigen Intensitätsunterschiede, die sich innerhalb typischer Innenräume durch die komplizierten Reflexions- und Beugungsverhältnisse einstellen, werden angesetzt mit 10 dB:

	Dezibel	Dämpfungsfaktor
Fast fading	10	10

'Fast fading' und 'indoor loss' bedeuten somit zusammengefasst: Möchte man in der ungünstigen Raumecke eine Versorgung in Qualität des Mindestversorgungspegels erreichen, so ist dafür außen vor dem Gebäude schon ca. die 600-fache Leistungsdichte erforderlich.

3. Pfadverluste: Ausbreitungshindernisse wie Gebäude, Baumbestand, usw. führen zu unterschiedlichen Verlusten je nach Standort des Mobilfunknutzers. Soll ein Mobilfunkgespräch auch in einer innerstädtischen Straßenschlucht funktionieren, so führt dies naturgemäß dazu, dass an einer benachbarten Stelle in etwa gleicher Entfernung zur Basisstation, aber mit freier Sicht zu den Sendeantennen eine erheblich höhere Leistungsdichte auftritt:

	Dezibel	Dämpfungsfaktor
Pfadverluste	15	30

4. Netzhomogenitäten: Auch unter Freiraumbedingungen (d.h. ohne Berücksichtigung von Ausbreitungshindernissen) ergeben sich im Versorgungsgebiet einer Mobilfunkbasisstation stark unterschiedliche Immissionen, die wesentlich durch den Abstand zur Basisstation, aber (vor allem im Nahbereich) auch durch den Höhenunterschied, die Abstrahlcharakteristik der Antennen und viele weitere Details bestimmt werden. Grob abgeschätzt ergibt sich:

	Dezibel	Faktor
Netzhomogenitäten typisches Netz	15 bis 25	30 bis 300
optimiertes Netz	5	3

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Einflussfaktoren wird in Tabelle 2 noch einmal zusammengefasst, welche Gesamtimmisionen in verschiedenen Situationen zu erwarten sind. Dabei wird davon ausgegangen, dass von jedem der vier in Deutschland tätigen Netzbetreiber (im Mittel) zwei bis drei unabhängige Mobilfunknetze betrieben werden, in denen jeweils eine Versorgungsqualität entsprechend den Anforderungen der Mobilfunknetzbetreiber bereitgestellt wird.

Dies bedeutet:

Damit überall in einem schlecht versorgten Innenraum im Randbereich eines Versorgungsgebietes auch an einer ungünstigen Stelle die für ein einzelnes Mobilfunkgespräch erforderliche Leistungsdichte von $0,0005 \mu\text{W}/\text{m}^2$ zur Verfügung steht, müssen an einem Außenstandort in günstiger Lage im bestver-

Tabelle 2

Gesamtimmisionen bei verschiedenen Netzen mit und ohne Indoor-Versorgung

	Standard-Netz				Optimiertes Netz			
	mit Indoor-Versorgung		ohne Indoor-Versorgung		mit Indoor-Versorgung		ohne Indoor-Versorgung	
	Faktor	LD [#] ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Faktor	LD ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Faktor	LD ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Faktor	LD ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
Mindestpegel		0,0005		0,0005		0,0005		0,0005
Fast fading*	10	0,005	10	0,005	10	0,005	10	0,005
Indoor loss*	63	0,315			63	0,315		
Pfadverluste*	30	9,45	30	0,15	30	9,45	30	0,15
Netzhomogenitäten	100	945	100	15	3	28,35	30	4,5
3 Frequenzkanäle	3	2.835	3	45	3	85,05	3	13,5
2 bis 3 Mobilfunknetze pro Betreiber	2,5	7.088	2,5	112,5	2,5	212,6	2,5	33,75
4 Netzbetreiber	4	28.350	4	450	4	850,5	4	135

*) siehe oben #) LD = Leistungsdichte

(Fortsetzung von Kasten 2)

sorgten Bereich mit direkter Sicht zu einer Mobilfunkbasisstation bei einem optimierten Netz ca. $28 \mu\text{W}/\text{m}^2$ bereitgestellt werden. Erfolgt dies für viele Benutzer (drei Frequenzkanäle) in zehn verschiedenen Mobilfunknetzen gleichzeitig (zwei bis drei Netze pro Betreiber), so ergibt sich daraus selbst bei einem gut optimierten Netz eine Gesamtimmission von ca. $850 \mu\text{W}/\text{m}^2$. In Standardnetzen, so wie sie üblicherweise heute aufgebaut sind, ergeben sich durch die wesentlich größeren Netzinhomogenitäten Immissionen von bis zu ca. $30.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

Verzichtet man allerdings auf eine Indoor-Versorgung, so kann bereits in einem Standard-Netz die Immission auf einen Wert von ca. $450 \mu\text{W}/\text{m}^2$ gesenkt werden, also noch niedriger als in einem optimierten Netz mit Indoor-Versorgung ($850 \mu\text{W}/\text{m}^2$).

Das aus Sicht des Immissionsschutzes beste Ergebnis erhält man naturgemäß bei Verzicht auf eine Indoor-Versorgung in einem optimierten Netz. In diesem Fall müssen allerdings auch in einem optimierten Netz größere Netzinhomogenitäten berücksichtigt werden, so dass sich Gesamtimmissionen von ca. $135 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ergeben.

Auch wenn die Rahmenbedingungen der heutigen Mobilfunkversorgung (viele parallel betriebene Netze mit erdgebundenen Basisstationen), akzeptiert werden, so ergibt sich durch Verzicht auf eine (allgemeine) Indoor-Versorgung die Möglichkeit, die Immissionen deutlich zu reduzieren.

Korrespondenzadresse

Dr. Peter Nießen: info@emf-Institut.de, www.emf-Institut.de

Forschungsspektrum

Niederfrequente Felder

Einfluss von Magnetfeldern auf die Glukose-Aufnahme in das Hinterhirn von Ratten

In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, welche biophysikalischen Prozesse die Fähigkeit schwacher Magnetfelder, das An- und Ausschalten evozierter Potenziale zu beeinflussen, zugrunde liegen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass Veränderungen in der Gehirnaktivität mit einer Zunahme des Energiestoffwechsels und damit mit einem vermehrten Verbrauch von Glukose einhergeht. Die Versuche wurden mit Ratten durchgeführt, die 45 Minuten lang einem 60 Hz Magnetfeld mit der magnetischen Flussdichte von $250 \mu\text{T}$ ausgesetzt waren. Die Tiere waren entweder fixiert, so dass das Feld in einer konstanten Ausrichtung auf sie traf oder sie konnten sich frei im Käfig bewegen. Zudem wurden die immobilisierten Tiere einmal gegenüber einem kontinuierlichen (KF) und einmal gegenüber einem intermittierenden Feld (IF, zwei Sekunden an, zwei Sekunden aus) exponiert, während bei den frei beweglichen Ratten nur das intermittierende Feld zur Anwendung kam. Den Tieren wurde direkt vor der Exposition bzw. Scheinexposition mit ^{18}F markierte Fluorodesoxyglukose (FDG) injiziert und es wurde die FDG-Aufnahme ins Gehirn sowie die Regionen der Glukose-Aktivierung im Zusammenhang mit der Beeinflussung des EEGs durch das Feld untersucht. Bei den frei beweglichen Ratten konnte kein erhöhter Glukose-Verbrauch nachgewiesen werden. Bei den fixierten Tieren wurde direkt nach der Exposition bei beiden Feldtypen (intermittierend oder kontinuierlich) ein erhöhter Glukose-Verbrauch in den untersuchten Hinterhirn-Regionen nachgewiesen, hierbei war der Effekt des intermittierenden Feldes stärker ausgeprägt. Durch das intermittierende Feld wurden bei den Tieren durch jedes Umschalten des Feldes evozierte Potenziale verursacht (insgesamt 2.700), während bei den dem kontinuierlichen Feld ausgesetzten Tieren nur das einmalige Ein- und Ausschalten des Feldes zu jeweils einem evozierten Potenzial führte. Bei diesen Tieren war somit der Hauptstimu-

lus, der zu dem erhöhten Glukose-Verbrauch führte, das magnetische Feld. Das Gehirnvolumen, in dem bei den KF-Tieren der Glukose-Verbrauch erhöht war, machte nur 27 % des Volumens bei den IF-Tieren aus. Der in den Versuchen nachgewiesene erhöhte Glukose-Verbrauch in Abhängigkeit von der Feldrichtung deutet darauf hin, dass die Signaltransduktion dadurch erfolgt, dass elektrische Felder negativ geladene, an Ionenkanal-Tore gebundene Oligosaccharid-Seitenketten so beeinflussen, dass diese Tore mechanisch geöffnet werden und dass diese Prozesse im Hinterhirn stattfinden. Auf den Mechanismus der Signaltransduktion sind die Autorinnen und Autoren in einer früheren Arbeit (Marino et al. 2009) eingegangen. (OS)

Frilot C., Carrubba S. & Marino A.A. 2011: Transient and steady-state magnetic fields induce increased fluorodesoxyglucose uptake in the rat hindbrain. *Synapse* 2011: 617-623

Marino A.A., Carrubba S., Frilot C. & Chesson A.L. 2009: Evidence, that transduction of electromagnetic field is mediated by a force receptor. *Neurosc. Lett.* 452 (2): 119-123

Hochfrequente Felder

Prä- und postnatale Exposition durch Mobiltelefone und Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern – eine Replikationsstudie

In einer neuen Studie wurde der Einfluss der Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft und der frühen Kindheit auf das Verhalten von Kindern untersucht. Die Studie wurde durchgeführt, um die Ergebnisse einer früheren Untersuchung zu bestätigen oder zu widerlegen (s. EMF-Monitor 3/2008). Die neue Untersuchung wurde, wie die vorangegangene, in Dänemark mit einer 'neuen' Kohorte (NK) durchgeführt. Die Befragung fand im Jahre 2008 statt, die der ursprünglichen Kohorte (UK) im Jahre 2006. Die in der neuen Studie untersuchten Kinder wurden zwischen 1998 und 2002 geboren. Die NK wurde im Vergleich zur UK analysiert und

zusätzlich wurden beide Gruppen gemeinsam ausgewertet. Das Spektrum der Einflussfaktoren wurde in der jetzt vorliegenden Untersuchung erweitert, so wurden z.B. auch psychiatrische, kognitive und Verhaltens-Probleme während der Kindheit der Eltern, die Dauer der Schwangerschaft, der pränatale Stress der Mutter und das Stillen des Kindes berücksichtigt. Das Verhalten der siebenjährigen Kinder wurde mit Hilfe eines Fragebogens erhoben, in dem 25 Fragen zu Stärken und Schwächen zu beantworten waren. Bezüglich der Mobiltelefonnutzung wurde nach der Nutzung während der Schwangerschaft, dem Jahr der ersten regelmäßigen Nutzung, der Zahl der Gespräche pro Tag, der Anschaltdauer, der Nutzung von Freisprecheinrichtungen, dem Aufbewahrungsort des Mobiltelefons (Hosen-, Jackentasche) und der gegenwärtigen Nutzung gefragt. Bei den Kindern wurde die gegenwärtige Nutzung erhoben. Untersucht wurden in der NK 28.745 Kinder, in der UK waren es 12.796 Kinder. Die Einteilung gemäß des Mobiltelefonierens erfolgte in 4 Gruppen: 1: keine Exposition, 2: Exposition vor der Geburt, 3: Exposition nach der Geburt, 4: Exposition vor und nach der Geburt. 30 % der UK-Kinder und 35,2 der NK-Gruppe benutzten im Alter von sieben Jahren ein Mobiltelefon, jedoch weniger als 1 % telefonierte damit über eine Stunde pro Woche. Als grenzwertig verhaltensauffällig wurden 3,3 % eingestuft. 2,9 % der Kinder der UK und 3,1 % der NK waren verhaltensauffällig. Die Ergebnisse der neuen Untersuchung zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen Verhaltensproblemen und dem Mobiltelefonieren. Die höchsten Odds-Ratios für Verhaltens-Probleme im Vergleich zu nicht exponierten Kindern wurden bei Kindern beobachtet, die vor und nach der Geburt exponiert waren (OR 1,5, 95 %-Vertauensintervall 1,4-1,7). Damit bestätigt die vorliegende Studie die Ergebnisse der Untersuchung aus dem Jahr 2008. Es wäre jedoch wünschenswert, wenn zu dieser Thematik eine weitere Studie von einem anderen Forschungsteam durchgeführt würde. (OS)

Divan H.A., Kheifets L., Obel C. & Olsen J. 2008: Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology* 19 (4): 523-529

Divan H.A., Kheifets L., Obel C. & Olsen J. 2010: Cell phone use and behavioural problems in young children. *J. Epidemiol. Commun. Health Online* First doi: 10.1136/jech.2010.115402

Einfluss hochfrequenter Strahlung auf Temperatur und Durchblutung des Kortex bei Ratten

In den letzten Jahren gab es nur wenige Studien, in denen die lokalisierte Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und intensitätsabhängige physiologische Veränderungen im Gehirn untersucht wurden. Daher war es Ziel der vorliegenden Studie, reproduzierbare Reaktionen auf die lokalisierte Hochfrequenz-Exposition im parietalen Kortex (im hinteren Scheitelpol liegende Hirnrinde) von Ratten zu entdecken. Hierzu wurde die Zielregion des Kortex von betäubten Ratten 18 Minuten lang einem 2.000 MHz Feld mit den SAR-Werten 10,5, 40,3, 130 und 263 W/kg ausgesetzt bzw. scheinexponiert. Während der Exposition wurden die lokale zerebrale Durchblutung, sowie die Temperaturen in der Zielregion, rektal und in einer analog behandelten Kälberepidermis gemessen. Alle Werte, mit Ausnahme der Temperatur der Kälberhaut, stiegen im Vergleich zu denen bei den scheinexponierten Tieren signifikant an. Am Ende der Exposition war die Zunahme der Durchblutung korreliert mit dem Temperaturanstieg in der Zielregion und im Rektum. Das Ausmaß dieser Veränderungen war abhängig von der Intensität der Hochfrequenz-Exposition. Die lokale Durchblutung und Temperatur stiegen linear mit der Expositionsintensität an und waren signifikant korreliert. In der Anfangsphase der Exposition und bei niedriger Intensität bestand keine positive Korrelation zwischen der stärkeren lokalen Durchblutung des Kortex und dem Temperaturanstieg im Rektum. Dies lässt vermuten – so das Forschungsteam – dass die hochfrequente Exposition des Kortex zu einer Regulation der cerebralen Durchblutung führt, die von einem Temperaturanstieg begleitet wird. Die Autorinnen und Autoren vertreten die Ansicht, dass dieses Ergebnis bei der Erörterung physiologischer Veränderungen, die durch die lokale Exposition des Kortex des Menschen verursacht werden, hilfreich sein könnte. (OS)

Masuda H., Hirata A., Kawai H., Wake K., Watanabe S., Arima T., Poulliet de Gannes F., Lagoye I. & Veyret B. 2011: Local exposure of the rat cortex to radiofrequency electromagnetic fields increases local cerebral blood flow along with temperature. *J. Appl. Physiol.* 110 (1): 142-148

Impressum

Herausgeber und Verlag: ECOLOG-Institut
für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH,
Nieschlagstr. 26, D-30449 Hannover
Tel.: (+49)-511-47 39 15-16, Fax.: (+49)-511-47 39 15-29
E-mail: mailbox@ECOLOG-Institut.de
Internet: www.ECOLOG-Institut.de

Redaktion: Dr. H.-Peter Neitzke (HPN) (verantwortl.),
Dr. Julia Osterhoff (OS), Dr. Hartmut Voigt (HV)

Druck: Stempel- und Kopierzentrum Linden, Tel.: 05 11-44 79 01
Erscheinungsweise: zweimonatlich, ISSN 0949-488X

Beiträge von Gastautoren geben nicht notwendigerweise den Kenntnisstand und die Meinung der Redaktion wieder.

Bezug:

Einzelheft	12,00 €
Einzelabonnement für Privatpersonen:	55,00 €
Einzelabonnement für Institutionen:	75,00 €
Sammelabonnement für Privatpersonen (ab 10 Exemplare):	35,00 €
Sammelabonnement für Institutionen (ab 10 Exemplare):	55,00 €

(alle Preise enthalten 7 % MwSt., bei Versand in das europäische Ausland erhöht sich der Preis um 12,00 €)

© 2011 ECOLOG-Institut, alle Rechte vorbehalten