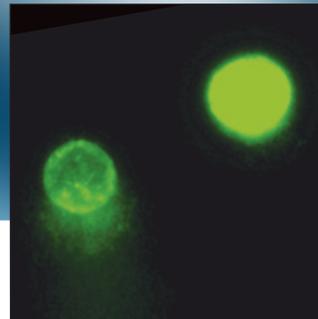
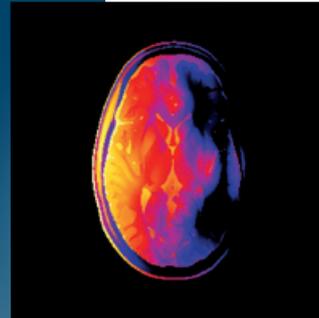
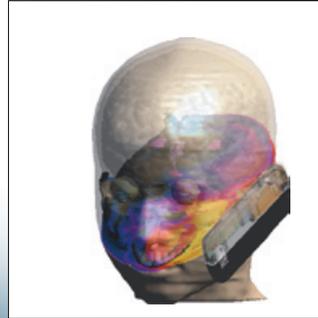


RESULTATE AUS DEM NATIONALEN FORSCHUNGSPROGRAMM ZU DEN MÖGLICHEN GESUNDHEITLICHEN RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER STRALUNG



INHALTSVERZEICHNIS

	EDITORIAL	3
	ÜBERBLICK	6
	ERGEBNISSE	10
	PROJEKTÜBERSICHT	30
	SCHLUSSFOLGERUNGEN	32
	INFORMATIONEN	36

WERTVOLLE NEUE ERKENNTNISSE ZU DEN MÖGLICHEN RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Ob beim Telefonieren, Radiohören, Surfen im Internet, in der medizinischen Diagnostik oder schlicht beim Betrieb sonstiger elektrischer Geräte: Elektromagnetische Strahlung begleitet unseren Alltag und ist ein Teil unserer Umwelt. Kontinuierlich kommen auch neue Technologien und Geräte auf den Markt, deren Einsatz mit elektromagnetischer Strahlung einhergeht. Es ist daher

sinnvoll, die möglichen Risiken dieser elektromagnetischen Strahlung auf die Gesundheit von Mensch und Umwelt zu erforschen. Dies wird auch weltweit seit vielen Jahren getan.

Um die möglichen Risiken der mobilen Kommunikation und weiterer nicht-ionisierender Strahlung besser einschätzen zu können, hat der Bundesrat das Nationale Forschungsprogramm «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit» (NFP 57) bewilligt und

den Schweizerischen Nationalfonds mit dessen Durchführung betraut. Nach drei Jahren intensiver Arbeit in elf Forschungsprojekten liegen nun die Resultate des Forschungsprogramms vor.

Wir freuen uns, Ihnen mit dieser Broschüre einen Einblick in die aktuelle Schweizer Forschung im Bereich «Nicht-ionisierende Strahlung» bieten zu können. Diese Publikation belegt, dass die Forschungsprojekte des NFP 57 wichtige Beiträge zu den internationalen Bemü-

hungen leisten, den Folgen von nicht-ionisierender Strahlung auf die Spur zu kommen. Die Schweiz verfügt auf diesem Forschungsgebiet über international herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und kann mit wertvollen neuen Erkenntnissen aufwarten.

Wir wissen heute – auch dank des NFP 57 – dass nichtionisierende Strahlung biologische Effekte in Zellen und Organen auslösen kann, die nicht auf eine Erwärmung des Gewebes zurückzuführen sind.

Was diese Effekte für die Gesundheit bedeuten, ob sie negativ, positiv oder überhaupt von Bedeutung sind, kann zur Zeit noch niemand sagen. Viele Fragen zur Wirkung nichtionisierender Strahlung können daher von der Wissenschaft noch nicht beantwortet werden. Umso wichtiger ist es, dass sich die Schweizer Forscherinnen und Forscher auch weiterhin diesen Fragen widmen und sich auf internationaler Ebene mit anderen Wissenschaftlern austauschen.



Prof. em. Alexander A. Borbély
Präsident der Leitungsgruppe



Prof. André G. Kléber
Delegierter des Forschungsrates des SNF

Ziel der Forschung muss es sein, wissenschaftliche Grundlagen zu schaffen, um mögliche gesundheitliche Risiken elektromagnetischer Strahlung heutiger und zukünftiger Technologien besser abschätzen und die geeigneten Massnahmen und Verhaltensregeln im Umgang mit diesen Technologien optimieren zu können. Die Forschungsprojekte des NFP 57 leisten dazu einen wichtigen Beitrag.

Wir hoffen, dass diese Resultate nicht nur in Forschungskreisen Beachtung finden. Nun liegt es an den Unternehmen, den Behörden und den politischen Instanzen, die Resultate des NFP 57 zu würdigen und in ihrer Arbeit zu berücksichtigen.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'A. Borbély'.

Prof. em. Alexander A. Borbély
Präsident der Leitungsgruppe des NFP 57

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'A. Kléber'.

Prof. André G. Kléber
Delegierter des Forschungsrates des SNF

ERFORSCHUNG MÖGLICHER GESUNDHEITLICHER FOLGEN VON NIEDRIG DOSIERTEN ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN

Durch die zunehmende Verbreitung von Handys, Wireless LAN und schnurlosen Telefonen sind wir im Alltag in immer grösserem Mass elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Im Zusammenhang mit möglichen gesundheitlichen Risiken dieser niedrig dosierten Strahlung sind immer noch viele Fragen offen, die das Nationale Forschungsprogramm «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit» (NFP 57) untersucht hat.

Die Schweiz ist eine Nation von Handy-Nutzern und Internet-Surfern. Laut Bundesamt für Statistik (BFS) verfügen hierzulande derzeit mehr als 90 Prozent der Haushalte über ein Mobiltelefon oder ein Smartphone; drei Viertel der über 14-Jährigen surft mehrmals pro Woche im Internet. Gleichzeitig drängen immer mehr neue technische Standards in der Mobiltelefonie und neue kabellose Geräte

auf den Markt. Damit sind die Menschen immer wieder neuen elektromagnetischen Feldern – oder nichtionisierender Strahlung – ausgesetzt.

Mobilfunk, Wireless LAN, aber auch Sendeanlagen für Radio und Fernsehen, produzieren hochfrequente Strahlung. Von elektrischen Geräten im Haushalt – wie etwa Induktionskochherden oder Sparlampen – und von Hochspannungsleitungen geht niederfrequente Strahlung aus. Der Volksmund spricht von «Elektro-

smog». Doch anders als bei der Belastung durch Luftschadstoffe weiss die Wissenschaft immer noch sehr wenig darüber, ob und inwiefern nichtionisierende Strahlung die Gesundheit von Mensch und Umwelt gefährdet. Diese Frage beschäftigt nicht nur Wissenschaftler, Behörden und die Industrie: Auch weite Kreise der Bevölkerung sind besorgt darüber, was sich in der regen Berichterstattung zu Risiken des Mobilfunks in den Medien widerspiegelt.

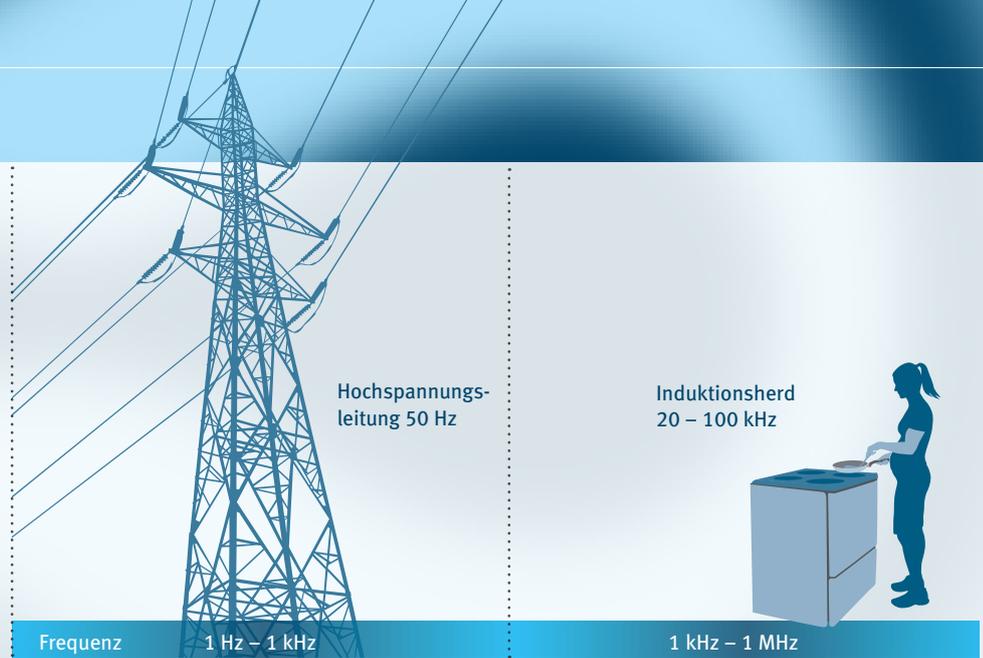
Zwar ist seit langem bekannt, dass hochdosierte elektromagnetische Felder biologisches Gewebe erwärmen und unter Umständen zu Zellschäden und gesundheitlichen Problemen führen können. Im Alltag sind wir hingegen nur schwacher Strahlung im Niedrigdosisbereich ausgesetzt. Diese ist so gering, dass eine Temperaturerhöhung im Körper nicht messbar ist, beziehungsweise sehr niedrig bleibt. Zudem legte der Bundesrat im Jahr 2000 Grenzwerte für elektromagnetische Felder – teilweise

strenger als international üblich – in der «Verordnung über nichtionisierende Strahlung» (NISV) fest. Trotzdem bleibt die Frage offen, ob es unterhalb der bestehenden Grenzwerte sogenannte nicht-thermische Effekte auf lebende Materie und damit den Menschen gibt.

WESENTLICHE FRAGEN IM ZUSAMMENHANG MIT NICHTIONISIERENDER STRALUNG KLÄREN

Das NFP 57 setzte sich zum Ziel, in einer dreijährigen Forschungsperiode wesentliche wissenschaftliche Fragen

ELEKTROMAGNETISCHE FELDER



im Zusammenhang mit den möglichen negativen gesundheitlichen Folgen von nichtionisierender Strahlung auf die Gesundheit von Mensch und Umwelt zu untersuchen. Das NFP 57 orientierte sich dabei an der Forschungsagenda, welche die Weltgesundheitsorganisation (WHO) aufgestellt hat. Die Agenda definiert jene Gebiete, die am dringlichsten erforscht werden müssen. Deshalb

untersuchte das NFP 57 insbesondere biologische Mechanismen von allenfalls vorhandenen nicht-thermischen Effekten wie Veränderungen am genetischen Material einer Zelle. Insgesamt sollten die Forschungsprojekte des NFP 57 – wie auch weitere internationale Forschungsprogramme – dazu beitragen, mögliche gesundheitliche Risiken neuer Technologien besser abschätzen zu können.

Die elf Forschungsprojekte des NFP 57 waren thematisch in die folgenden vier Module gegliedert:

- Im Modul «Dosimetrie und Exposition» befasste man sich mit der Beschreibung und Messung von elektromagnetischen Feldern und damit, wie diese in Gewebe eindringen.
- Im Modul «Laborstudien und Epidemiologie» wurde erforscht, welchen

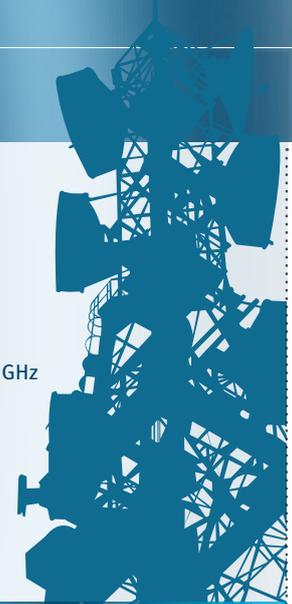
UKW-Rundfunk ca. 100 MHz



Mobilfunk
400 MHz –
2.6 GHz



Richtfunk 7 – 8 GHz



Frequenz

1 MHz – 3 GHz

3 GHz – 300 GHz

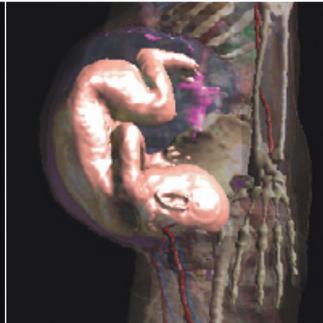
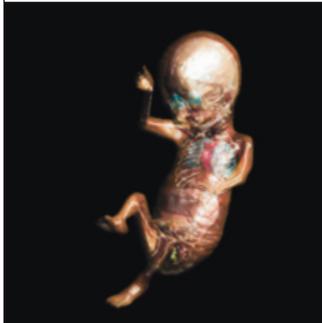
Einfluss nichtionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper und die Gesundheit haben kann und ob ein Zusammenhang zwischen langfristigen Kontakt mit nichtionisierender Strahlung und gesundheitlichen Problemen besteht.

- Im Modul «Zellbiologie» untersuchte man, über welche Mechanismen elektromagnetische Felder auf Zellen

wirken und wie sich die elektromagnetische Strahlung auf das genetische Material und die Aktivität von Genen auswirkt.

- Im Modul «Risikowahrnehmung» ging man der Frage nach, wie und aufgrund welcher Mechanismen Menschen die Risiken, die von elektromagnetischen Feldern ausgehen, wahrnehmen und bewerten.

Das NFP 57 spricht aufgrund der Alltagsrelevanz seiner Erkenntnisse nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die Politik, die Medien und insbesondere die interessierte Öffentlichkeit an. Die vorliegende Broschüre stellt die wichtigsten Ergebnisse ausgewählter Projekte dar und bewertet die Forschung im Rahmen der internationalen Forschungsbemühungen.



Mobiltelefone und Wireless LAN gehören immer mehr zum Alltag.

Anhand ausgeklügelter Computermodelle kann die Strahlenexposition von Menschen gemessen werden.

AUFNAHME UND VERTEILUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG IM GEWEBE MESSEN UND BESCHREIBEN

Wie sehr sind wir im Alltag nichtionisierender Strahlung ausgesetzt? Dieser Frage sind die Forschenden im Modul «Dosimetrie und Expositionsmessung» nachgegangen. Die Erkenntnisse liefern wichtige Grundlagen für weitere Studien, welche die gesundheitlichen Risiken elektromagnetischer Strahlung untersuchen und tragen dazu bei, dass Grenzwerte besser eingehalten und Vorsorgemassnahmen wirksamer gestaltet werden können.

Man weiss relativ viel darüber, wie stark das Gehirn während des Telefonierens mit einem Mobiltelefon elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist. Unklar war bis anhin hingegen, wie gross die Gesamtexposition durch nichtionisierende Strahlung im Alltag ist, die nicht nur von Mobiltelefonen, sondern von den unterschiedlichsten Quellen wie etwa Haushaltsgeräte oder Wireless LAN stammt.

Die Forschenden des Moduls «Dosimetrie und Expositionsmessung» wollten mit ihren Projekten diese Wissenslücke schliessen. Ist das Ausmass der Gesamtexposition durch nichtionisierende Strahlung im Alltag im Detail bekannt, können die bestehenden Grenzwerte besser eingehalten werden. Zudem lassen sich auf der Basis solcher Erkenntnisse künftige Studien über eine allfällige gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung besser planen.

MOBILTELEFON MACHT AM MEISTEN AUS

Niels Kuster von der Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT'IS) und seine Mitarbeitenden untersuchten, wie stark die Bevölkerung im Alltag elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist. Anhand von Computermodellen und direkten Messungen analysierte das Forschungsteam die gesamte Exposition des zentralen Nervensystems, insbesondere jene des Gehirns, durch hochfrequente elektromagnetische Felder. Die Studie deckte das Frequenz-

spektrum von 30 Mega- bis 6 Gigahertz ab und erfasste damit Geräte und Strahlungsquellen wie mobile und schnurlose Telefone, Transmitter, Babyphones, Wireless LAN oder Bluetooth.

Es zeigte sich, dass das Mobiltelefon die weitaus wichtigste Quelle elektromagnetischer Felder im Alltag ist. Dabei spielt aber nicht nur das Handymodell eine grosse Rolle: Wer mit einem Headset telefoniert, kann die Exposition durch Strahlen auf das Gehirn um das Zehn-

fache senken. Ausserdem reduziert der bei uns zurzeit am weitesten verbreitete Mobilfunkstandard UMTS die durchschnittliche Exposition – im Gegensatz zu GSM, dem technischen Standard der zweiten Generation – um das Hundertfache. Ein Handy auf UMTS belastet das Gehirn weniger stark als ein schnurloses Telefon zu Hause. In welcher Hirnregion und wie stark elektromagnetische Strahlung absorbiert wird, hängt zudem auch davon ab, wie man sein Mobiltelefon beim Telefonieren hält.

Interessanterweise entspricht die elektromagnetische Strahlung, die von der Basisstation eines schnurlosen Heimtelefons ausgeht, ungefähr jener einer Mobilfunkantenne, die draussen steht: In beiden Fällen ist das Gehirn nur äusserst geringen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt.

Weiterführende Forschungsarbeiten zur Gesamtexposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder im Alltag werden der technischen Weiter-

entwicklung Rechnung tragen müssen. Bereits ist in einigen Ländern LTE in Betrieb – der technische Mobilfunkstandard der vierten Generation. LTE (Long Term Evolution) verfügt über eine andere Signalstruktur und andere Zugangstechniken als die bisherigen Standards. Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass die neuen Smartphones anders als die klassischen Mobiltelefone eingesetzt werden, nämlich eher weg vom Kopf und näher am Körper.

VORSICHT MIT INDUKTIONSKOCHHERDEN BEI SCHWANGEREN FRAUEN

Werdendes Leben ist besonders schutzbedürftig. Schädigungen, die bereits im Mutterleib auftreten, können zu lebenslangen Behinderungen führen. Nicolas Chavannes und sein Forschungsteam der IT'IS-Foundation gingen deshalb der Frage nach, welchen elektromagnetischen Feldern schwangere Frauen im Alltag ausgesetzt sind, und wie die entsprechende Strahlung im Körpergewebe von Mutter und Kind aufgenommen

wird. Weil es aber ethisch nicht vertretbar wäre, Schwangere in Forschungsprojekten gezielt elektromagnetischen Feldern auszusetzen, arbeiteten die Forschenden mit Computermodellen. Ausgeklügelte anatomische Modelle von Frauen im dritten, siebten und neunten Schwangerschaftsmonat simulierten die sich verändernden Gewebeeigenschaften von Mutter und Kind und erlaubten den Wissenschaftlern detailliert abzuschätzen, in welchem Ausmass die Strahlung hochfrequenter elektromagnetischer Felder absorbiert

wird und wie niederfrequente elektromagnetische Felder im Gewebe von Mutter und Kind elektrische Ströme induzieren.

Die wichtigste Erkenntnis aus diesem Forschungsprojekt: Die Exposition von Schwangeren und ihren ungeborenen Kindern durch Strahlen aus alltäglichen Quellen im Haushalt – wie etwa Energiesparlampen, schnurlose Heimtelefone oder Wireless LAN – liegt unter den Grenzwerten, die für die allgemeine Bevölkerung gelten. Allerdings stellten die

Forschenden fest, dass die mittelfrequente elektromagnetische Felder moderner Induktionskochherde zum Problem werden können: Hält sich eine Schwangere in unmittelbarer Nähe eines Induktionskochherdes auf, der in Betrieb ist, kann die Exposition durch Strahlen über dem zulässigen Grenzwert liegen. Definitiv zu hoch ist die Exposition für Mutter und Kind durch die meisten Strahlenquellen, wenn sie einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt werden, das für Berufspersonal noch zulässig ist. Grenzwerte

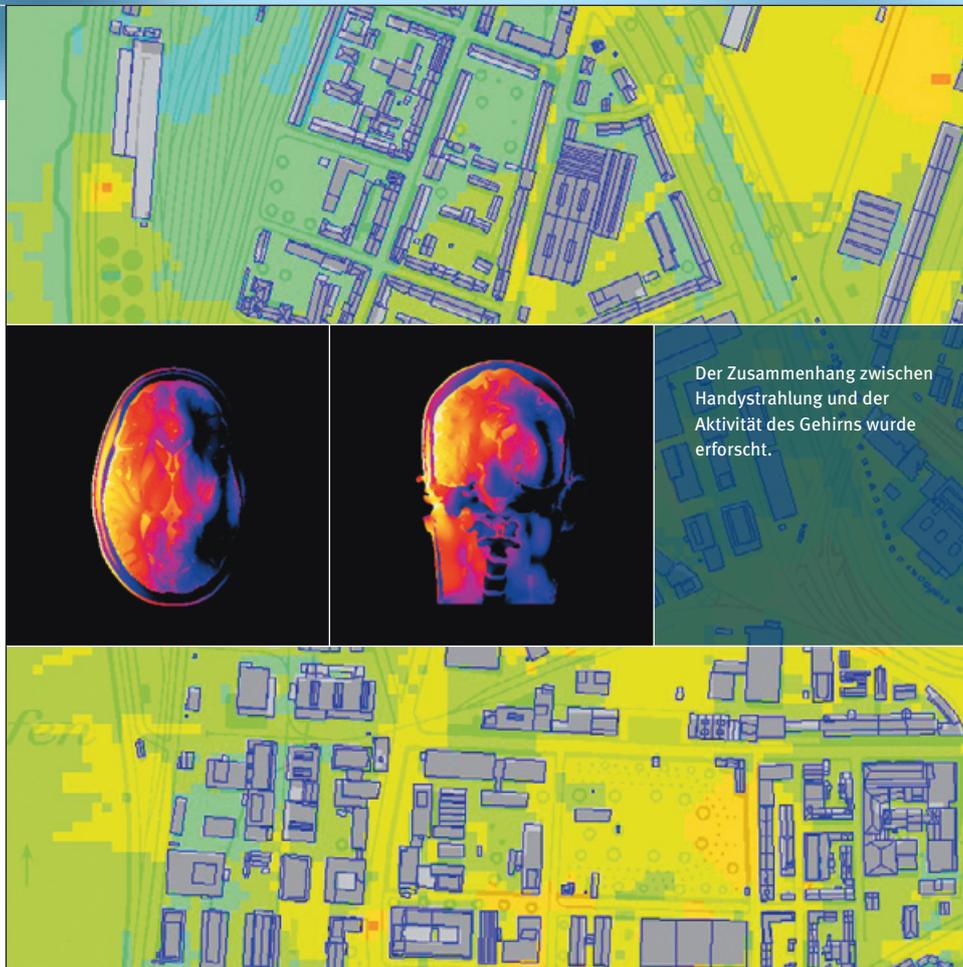
für Berufsleute sind höher angesetzt, weil diese in der Regel gesünder sind und sich besser schützen können als Kinder.

Als Konsequenz aus den Ergebnissen ihrer Forschungsarbeit empfehlen Nicolas Chavannes und seine Mitarbeitenden, dass die Produktnormen für Haushaltsgeräte und insbesondere Induktionskochherde den spezifischen Gesundheitsbedürfnissen von schwangeren Frauen angepasst werden sollten. Die Hersteller von Induktionskochherden haben

inzwischen entsprechende vorsorgliche Empfehlungen für Schwangere in die Bedienungsanleitung übernommen. Laut den Wissenschaftern sollten schwangere Frauen generell vermeiden, sich stärkeren elektromagnetischen Feldern auszusetzen, als dies die in der Schweiz geltenden Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung erlauben. Zudem sollten die Gesundheitsbehörden in Betracht ziehen, die Grenzwerte für Berufsleute nach unten anzupassen, wenn Schwangere an einem Arbeitsplatz tätig sind.

Nicolas Chavannes und seinem Team ist es erstmals gelungen, ein Computermodell zu erstellen, das die Exposition von schwangeren Frauen mit elektromagnetischen Feldern detailliert messen und erfassen kann. Künftige Forschungsarbeiten sollten sich darauf konzentrieren, die Aussagekraft dieser virtuellen Computermodelle weiter zu verbessern.

Der Immissionskataster zeigt die räumliche Verteilung der durch Mobilfunk-, Funkruf- und Rundfunkseanlagen verursachten Strahlenexposition im Kanton Basel-Stadt.



AUSWIRKUNG ELEKTROMAGNETISCHER FELDER AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

Die Projekte im Modul «Laborstudien und Epidemiologie» erforschten unter anderem, welchen Einfluss nichtionisierende Strahlung auf den Körper und die Gesundheit hat. Dabei untersuchten die Wissenschaftler einerseits die unmittelbaren Auswirkungen, andererseits gingen sie der Frage nach, ob ein Zusammenhang zwischen langfristiger Exposition und gesundheitlichen Problemen besteht.

Im ersten Modul des NFP 57 haben die Forschenden herausgefunden, wie stark die Menschen in bestimmten Situationen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind. Offen bleibt aber, ob sich diese Exposition in irgendeiner Form auf den menschlichen Körper auswirkt. Dieser Frage ging man im Modul «Laborstudien und Epidemiologie» nach. Um die kurzfristigen Auswirkungen elektromagnetischer

Felder – zum Beispiel auf die Aktivität des Gehirns, die Herzfrequenz oder den Hormonspiegel – zu untersuchen, bieten Laborexperimente unter kontrollierten Bedingungen die ideale Voraussetzung. Langfristige Auswirkungen lassen sich hingegen nur mit epidemiologischen Studien erkennen. Solche Studien untersuchen, ob über einen längeren Zeitraum hinweg zumindest indirekte Zusammenhänge zwischen der Exposition durch elektromagnetische Felder und dem allgemeinen Wohlbefinden eines Menschen bestehen.

ÄNDERUNGEN DER HIRNAKTIVITÄT DURCH HANDYSTRAHLUNG WÄHREND DES SCHLAFS

Seit längerem besteht der Verdacht, dass hochfrequente elektromagnetische Felder – wie sie im Mobilfunk üblich sind – einen Einfluss auf die Physiologie des Gehirns haben. Studien lieferten Hinweise, dass sich unter diesem Einfluss die kognitive Leistungen von Testpersonen verschlechterte, in manchen Fällen aber auch verbesserte. Peter Achermann vom Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Zürich und

seine Mitarbeitenden gingen deshalb in einer Reihe von Experimenten dem Zusammenhang zwischen Handystrahlung und der Aktivität des menschlichen Gehirns auf den Grund.

In einem ersten Versuch setzten die Forschenden rund 30 gesunde junge Männer während einer halben Stunde unterschiedlichen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern aus, unmittelbar bevor sich die Männer für ihren Nachtschlaf zu Bett legten. Die gewählten

elektromagnetischen Felder unterschieden sich in der Trägerfrequenz und darin, welche niederfrequente Komponente mit modulierender Wirkung im Signal vorhanden war.

Tatsächlich haben elektromagnetische Felder im Bereich des Mobilfunks einen Einfluss auf die spätere Hirnaktivität während des Schlafs. Im Elektroenzephalogramm (EEG) – der Darstellung der elektrischen Aktivität des Gehirns – waren bestimmte Erregungsmuster,

die typisch für den Schlafzustand sind, jeweils stärker ausgeprägt. Bei gleicher Strahlungsintensität führten nur modulierte Signale, nicht aber Signale ohne Modulation zu diesem Effekt. Mit dieser wichtigen Erkenntnis lässt sich die für die Wirkung auf das Gehirn entscheidende Signalkomponente genauer eingrenzen.

Die festgestellten geringfügigen Änderungen im EEG-Muster hatten bei den jungen Männern indessen keine Auswir-

kungen auf den Verlauf oder die Qualität des Schlafs. Zudem erzielten die Probanden bei einem Reaktionstest vor dem Schlafengehen und während sie dem elektromagnetischen Feld ausgesetzt waren genauso gute Resultate wie ohne «Bestrahlung».

In einem weiteren Versuch setzten die Forschenden 23 Jugendliche im Alter von 11 bis 13 Jahren im Wachzustand Handystrahlen aus und testeten dann ihre Reaktionsfähigkeit sowie ihr

Arbeitsgedächtnis. Die Resultate zu diesem Experiment stehen zur Zeit noch aus. Auch wenn die Experimente von Peter Achermann keine nachteiligen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf das Gehirn nachgewiesen haben, bleiben einige Fragen offen: So sollte zum Beispiel künftige Forschung klären, ob die Befunde nicht nur für Jugendliche und junge Erwachsene, sondern auch für ältere Menschen oder solche mit neurologischen Problemen gelten.

STRAHLENEXPOSITION ZU GROSSEN TEILEN SELBST VERURSACHT

Während sich das Team von Peter Achermann in ihren Laborversuchen auf die kurzfristigen Auswirkungen elektromagnetischer Felder konzentrierten, untersuchte Martin Rösli vom Schweizerischen Tropen- und Public-Health-Institut in Basel mögliche längerfristige Folgen. Insbesondere wollten er und seine Mitarbeitenden wissen, ob die tägliche Exposition durch Strahlen aus hochfrequenten Quellen wie Handys,

schnurlosen Telefonen zu Hause oder Wireless LAN die Gesundheit der Menschen beeinträchtigt.

Um zu aussagekräftigen Schlüssen zu kommen, gingen die Präventivmediziner methodisch neue Wege. Zum einen rüsteten sie 166 Personen in der Region Basel mit sogenannten Exposimetern aus. Das sind tragbare Geräte, die alle 90 Sekunden die Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder aufzeichnen. Zum andern erfassten sie

mit räumlichen Modellierungen die gesamte Strahlenexposition, der die Basler Bevölkerung ausgesetzt ist – also auch jene aus festen Quellen wie Mobilfunkantennen. Schliesslich verfolgten sie als eine der ersten Forschungsgruppen weltweit einen sogenannten prospektiven Ansatz: Sie begleiteten rund 1200 Menschen während eines Jahres, befragten sie zweimal zu ihrem gesundheitlichen Wohlbefinden und setzten die Ergebnisse in Bezug zu deren Strahlenexposition im gleichen Zeitraum.

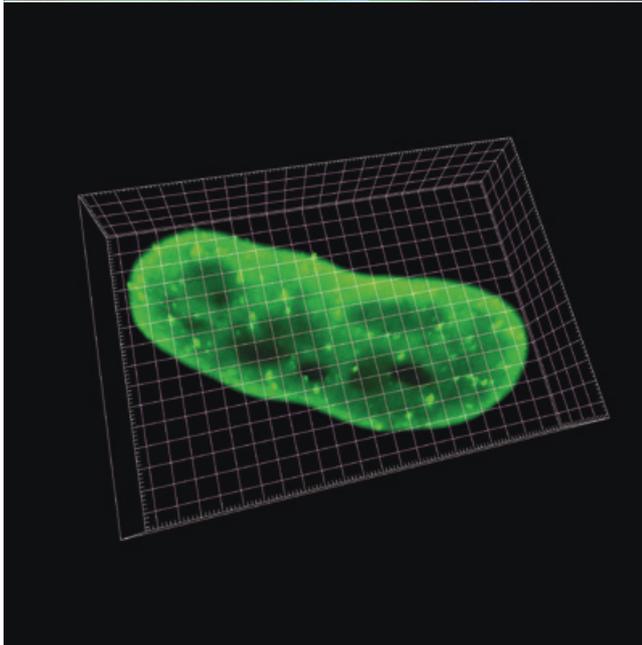
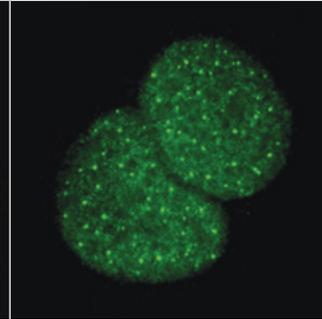
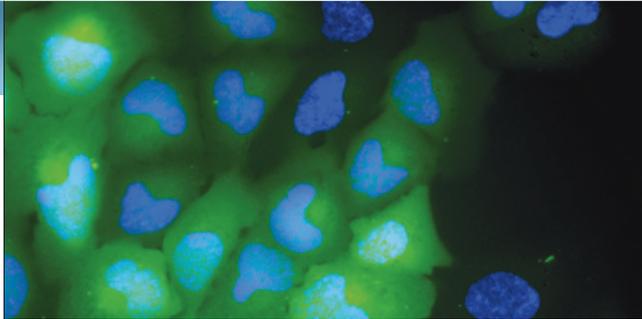
Die Menschen sind für einen Grossteil der Strahlenexposition selbst verantwortlich: Laut den Exposimeter-Messungen geht hochfrequente elektromagnetische Strahlung in erster Linie von Handys, schnurlosen Heimtelefonen sowie Mobilfunkantennen aus. Wobei aber zu beachten ist, dass die festgestellte durchschnittliche Stärke der Strahlung nur 0,21 Volt pro Meter beträgt und damit deutlich unter den geltenden Grenzwerten liegt. Trotzdem: Wer kein schnurloses Heimtelefon besitzt und

nur selten mit dem Handy telefoniert, hat eine vergleichsweise niedrigere Exposition, weil zwei der Hauptquellen von Alltagsstrahlung fehlen oder stark vermindert sind. Zentral ist auch die Erkenntnis, dass die Exposition durch elektromagnetische Felder bei der Basler Bevölkerung zu keinen feststellbaren gesundheitlichen Problemen führt. Weder Kopfweg, noch Konzentrationsmängel oder Schlafstörungen lassen sich über ein Jahr betrachtet in Zusammenhang mit der Strahlenexposition bringen.

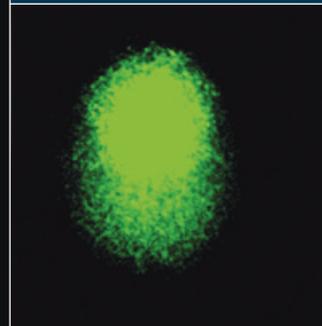
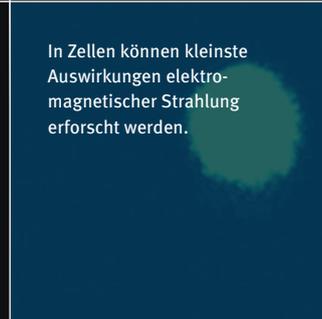
Die Wissenschaftler haben keine Hinweise darauf gefunden, dass Menschen, die sich selbst als «elektrosensibel» bezeichnen, in irgendeiner Weise stärker auf elektromagnetische Strahlung reagieren als andere.

Trotz dieser Befunde sehen die Basler Präventivmediziner weiteren Forschungsbedarf: Da die festgestellten Strahlungstärken so tief waren, bleibt unklar, wie Menschen auf hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren, die näher bei den heutigen Grenzwerten liegen.

Anhand verschiedener Tests wurde untersucht, welche biologischen Mechanismen nicht-ionisierende Strahlung in menschlichen Zellen in Gang setzt.



In Zellen können kleinste Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung erforscht werden.



AUSWIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG AUF DAS GENETISCHE MATERIAL VON ZELLEN

Die Forschungsprojekte im Modul «Zellbiologie» untersuchten unter anderem, welche Auswirkungen elektromagnetische Strahlung auf das genetische Material von Zellen hat. Dabei interessierte die Forschenden vor allem, unter welchen Umständen DNA-Strangbrüche auftreten und ob diese Strangbrüche harmlos sind oder zu dauerhaften genetischen Veränderungen führen können.

Wenn man herausfinden will, wie sich elektromagnetische Felder auf den menschlichen Körper auswirken, dann stellen die Messung und Erfassung der Strahlenexposition sowie das Beobachten der allfällig daraus resultierenden gesundheitlichen Folgen nur die ersten Schritte dar. Entscheidend ist es, genau zu analysieren und zu verstehen, welche biologischen Mechanismen nichtionisierende

Strahlung in menschlichen Zellen in Gang setzen. Aus solchen zellbiologischen Studien lassen sich dann unter Umständen direkte Schlüsse auf mögliche gesundheitliche Gefahren ziehen, die durch elektromagnetische Strahlung entstehen können. So ist es zum Beispiel denkbar, dass die Exposition durch elektromagnetische Felder die Stabilität der DNA beeinträchtigt, was Krebs oder frühzeitiges Altern auslösen könnte.

EINFLUSS DER STRAHLUNG AUF DIE ZELLEN BESTÄTIGT

Verschiedene – allerdings umstrittene – Studien aus den letzten Jahren kamen zum Schluss, dass sowohl nieder- als auch hochfrequente elektromagnetische Felder zu sogenannten Strangbrüchen in der DNA führen. Diese Befunde veranlassten die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2006 dazu, der Erforschung von solchen möglichen genetischen Veränderungen eine hohe Priorität einzuräumen. Allerdings drehte sich die wissenschaft-

liche Diskussion bisher vor allem um die Frage, ob diese Effekte überhaupt vorhanden sind – und nicht so sehr darum, welche biologische Bedeutung sie haben, und wie sie zu interpretieren sind. Primo Schär und seine Mitarbeitenden vom Institut für Biochemie und Genetik der Universität Basel wollten deshalb im Modul «Zellbiologie» nicht nur klären, unter welchen Umständen DNA-Strangbrüche auftreten, sondern auch, ob diese harmlos sind oder zu dauerhaften genetischen Veränderungen führen können.

Um allfällige Schäden an der DNA durch elektromagnetische Felder zu erfassen, griffen die Forschenden auf den sogenannten Comet-Test zurück. Dieses äusserst empfindliche Verfahren erfasst Veränderungen auf der Ebene der ganzen Zelle, die auftreten, wenn es im Molekül DNA zu Strangbrüchen gekommen ist. Entsprechend den früheren Studien haben auch Primo Schär und sein Team festgestellt, dass in menschlichen Bindegewebszellen unter dem Einfluss von niederfrequenten Magnetfeldern,

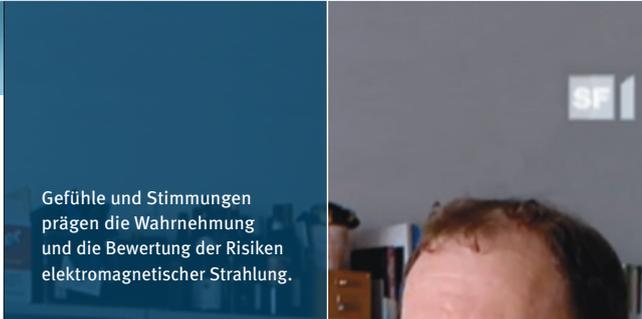
die periodisch ein- und ausgeschaltet wurden, DNA-Strangbrüche gehäuft auftreten. Teilweise ist das auch der Fall, wenn die Bindegewebszellen den im Mobilfunk üblichen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt werden.

Vertiefte biochemische Analysen im Rahmen des Forschungsprojektes haben nun ergeben, dass diese Veränderungen an der DNA nicht etwa das Ergebnis einer direkten physischen Schädigung des genetischen Materials sind. Was die

Forschenden in ihren Untersuchungen beobachtet haben, entspricht vielmehr einem etwas häufigeren Auftreten natürlicher Prozesse, zumal Strangbrüche an der DNA bei der normalen Vermehrung einer Zelle keineswegs aussergewöhnlich sind. Die Forschenden um Primo Schär vermuten denn auch, dass die von ihnen festgestellten Strangbrüche an der DNA für die Zellen kein grosses Risiko darstellen, und dass die Zellen diese Strangbrüche relativ leicht reparieren können.

Die Basler Wissenschaftler haben ihre Erkenntnisse an ganz bestimmten Zellen unter speziellen Bedingungen gewonnen. Deshalb ist es wichtig, dass weitere Forschungsgruppen künftige ähnliche Experimente an anderen Zelltypen als denen von Primo Schär und seinem Team untersuchten Zellen durchführen.

Gefühle und Stimmungen prägen die Wahrnehmung und die Bewertung der Risiken elektromagnetischer Strahlung.



Gregor Dürrenberger
Forschungsstiftung Mobilkommunikation, Zürich



Aus sozialwissenschaftlichen Studien lässt sich lernen, wie die Kommunikation über die Folgen nichtionisierender Strahlung den Sorgen der Bevölkerung besser gerecht wird.

WAHRNEHMUNG UND BEWERTUNG DER RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG

Die Besorgnis der Bevölkerung in Bezug auf Risiken elektromagnetischer Strahlung hängt auch davon ab, wie sie die Risiken wahrnehmen und bewerten. Solchen Aspekten sind die Forschungsprojekte im Modul «Risikowahrnehmung» nachgegangen. Die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Studien können dazu beitragen, die Sorgen der Menschen besser zu verstehen und ihnen in der Kommunikation über die Folgen elektromagnetischer Strahlung besser gerecht zu werden.

Naturwissenschaftliche und medizinische – also objektive – Erkenntnisse über mögliche Risiken elektromagnetischer Felder auf Mensch und Umwelt sind das eine. Ob aber die Menschen eine Technologie als Gefahr für ihre Gesundheit einschätzen oder nicht, hängt auch davon ab, wie sie die entsprechenden Risiken subjektiv bewerten, wie sie diese wahrnehmen und wie sie darauf reagieren.

Aus diesem Grund untersuchten die Forschenden im Modul «Risikowahrnehmung» mit Hilfe sozialwissenschaftlicher Studien, welche Faktoren dafür verantwortlich sind, dass Menschen die Elektrotechnologie als eine Chance oder als ein Risiko verstehen. Aus solchen Erkenntnissen lässt sich lernen, wie man in der Kommunikation über die Folgen nichtionisierender Strahlung den Ängsten und Sorgen der Bevölkerung besser gerecht wird.

GEFÜHLE UND STIMMUNGEN PRÄGEN DIE WAHRNEHMUNG DER MOBILFUNKTECHNOLOGIE STARK

Einen besonders wichtigen Einfluss auf die Wahrnehmung von Risiken hat der Affekt, also Gefühle und Stimmungen. Wenn sich Fachleute in ihren Einschätzungen von Wahrscheinlichkeiten, logischen Überlegungen oder Fakten leiten lassen, vertrauen Laien eher auf ihre subjektiven Erfahrungen. Und diese sind oft von weichen Faktoren wie Metaphern, Erzählungen oder Gefühlen geprägt.

In einer Reihe von Experimenten und Befragungen untersuchte Michael Siegrist vom Institut für Umweltentscheidungen der ETH Zürich und sein Team, wie solche prägende Mechanismen zustande kommen.

Der implizite Assoziationstest (IAT) ist ein Verfahren, das innere Überzeugungen von Menschen erfasst, indem es misst in welcher Art und wie schnell eine Versuchsperson auf ein bestimmtes Stichwort reagiert. Mit diesem Test haben Michael

Siegrist und seine Mitarbeitenden an rund 60 Personen in einem Experiment festgestellt, dass ihre Haltung gegenüber elektromagnetischen Feldern tatsächlich von Affekten bestimmt ist. So hat das Stichwort «Sendemasten» unter Mobilfunk-Experten positive Assoziationen geweckt, unter Laien neutrale, unter Mobilfunkgegnern aber negative Assoziationen.

Bei einer Befragung haben 500 Personen im Grossraum Zürich mehrheitlich negative Vorstellungen mit Sendemasten

in Verbindung gebracht. Dabei zeigte es sich, dass jüngere Befragte mit der mobilen Kommunikation vertrauter und zu ihr weniger negativ eingestellt waren. Aus den Antworten der Befragten hat sich auch gezeigt, welche Rolle Angst und Ärger in der Wahrnehmung der Kommunikationstechnologie spielen. Wer vor Sendemasten Angst hat, ist eher auf die möglichen Risiken fixiert; und wer sich darüber ärgert, hat Mühe, ihren Nutzen anzuerkennen.

Schliesslich haben Michael Siegrist und sein Forschungsteam im Rahmen ihrer Befragung auch herausgefunden, dass neben den Gefühlen und Stimmungen auch das eigene technische Verständnis die Wahrnehmung und Bewertung der Mobilfunktechnologie stark beeinflusst. Je weiter entfernt in einer Ortschaft eine Mobilfunkantenne steht, umso stärker strahlt ein Mobiltelefon, wenn es versucht, eine Verbindung herzustellen. Menschen, die über diesen Sachverhalt informiert sind, akzeptieren eher

Mobilfunkantennen in ihrer unmittelbaren Umgebung als Menschen, die diesen Sachverhalt nicht kennen.

Siegrists Forschungsergebnisse machen klar, dass Gefühle und Stimmungen, die tief sitzen und unmittelbar zum Ausdruck kommen, die Wahrnehmung der Mobilfunktechnologie stark prägen. In Zukunft wird es daher wichtig sein, in der Kommunikation jene Faktoren besonders zu berücksichtigen, die an diesen Empfindungen rühren.

PROJEKTLISTE

Insgesamt wurden im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 57 elf Forschungsprojekte in vier Themenbereichen durchgeführt.

DOSIMETRIE UND EXPOSITIONSMESSUNG

Bestimmung der Belastung des Fötus durch elektromagnetische Felder in unkontrollierter Umgebung

Dr. Nicolas Chavannes, Dr. Andreas Christ

Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT^{IS}), Zürich

Seite 11 – 15

Kumulative Exposition des zentralen Nervensystems im Zeit und Frequenzbereich

Prof. Dr. Niels Kuster, Dr. Sven Kühn

Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT^{IS}), Zürich

Seite 11 – 15

Mikroskopische Untersuchungen von Zellen während der Exposition durch elektromagnetische Felder

Andreas Christ und Myles Capstick von der Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT^{IS}) entwickelten ein Mikroskop, das es möglich macht, Zellen zu beobachten, währenddem diese elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt sind.

Dr. Andreas Christ, Dr. Myles Capstick

Foundation for Research on Information Technologies in Society (IT^{IS}), Zürich

LABORSTUDIEN UND EPIDEMIOLOGIE

Auswirkungen von pulsmodulierten elektromagnetischen Feldern im Mobilfunkbereich auf das menschliche Gehirn: kritische Feldparameter, Ort der Interaktion und Sensitivität in der frühen Adoleszenz

Prof. Dr. Peter Achermann

Institut für Pharmakologie und Toxikologie
Universität Zürich

Seite 17 – 21

Prospektive Kohortenstudie zum Einfluss von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität

Prof. Dr. Martin Röösli

Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Universität Basel

Seite 17 – 21

Untersuchung der Effekte von UMTS-Feldern auf die Gehirndurchblutung mit Nahinfrarot-Imaging

Martin Peter Wolf von der Klinik für Neonatologie des Universitätsspitals Zürich untersuchte, wie elektromagnetische Felder, die vom Mobilfunkstandard UMTS ausgehen, den Blutfluss sowie die Sauerstoffzufuhr im Gehirn beeinflussen.

PD Dr. Martin Peter Wolf

Forschungslabor für Biomedizinische Optik
Klinik für Neonatologie, Universitätsspital Zürich

ZELLBIOLOGIE

Effekte nichtionisierender Strahlung im Modellorganismus *Caenorhabditis elegans*

Pierre Goloubinoff vom Departement für pflanzliche Molekularbiologie der Universität Lausanne erforschte den Einfluss nichtionisierender Strahlung auf den Fadenwurm *Caenorhabditis elegans*, der in der Forschung als Modellorganismus weit verbreitet ist.

Prof. Dr. Pierre Goloubinoff

Departement für pflanzliche Molekularbiologie
Universität Lausanne

Wirkungen von elektromagnetischen Feldern *in vitro* und *in vivo*: Interaktionen mit Faktoren der Stressantwort

Meike Mevissen von der Abteilung für Veterinär-Pharmakologie und Toxikologie der Universität Bern analysierte, ob hochfrequente elektromagnetische Felder in einzelnen Zellen Stressreaktionen auslösen.

Prof. Dr. Meike Mevissen

Abteilung für Veterinär-Pharmakologie
Vetsuisse Fakultät Bern
Universität Bern

Gentoxische Effekte von nicht-ionisierender Strahlung

Prof. Dr. Primo Schär

Institut für Biochemie und Genetik
Departement für Klinisch-Biologische Wissenschaften
Universität Basel

Seite 23 – 25

RISIKOWAHRNEHMUNG

Strukturen und Wirkungen gesellschaftlicher Kommunikation über nichtionisierende Strahlung

Peter Schulz vom Health Care Communication Laboratory der Università della Svizzera italiana untersuchte Mechanismen der Meinungsbildung in Bezug auf elektromagnetische Strahlung sowie die öffentliche Berichterstattung darüber.

Prof. Dr. Peter J. Schulz

Health Care Communication Laboratory
Facoltà di scienze della comunicazione
Università della Svizzera italiana

Affekt und Wahrnehmung von nichtionisierender Strahlung: Folgen für die Risikokommunikation

Prof. Dr. Michael Siegrist

Institut für Umweltentscheidungen
ETH Zürich

Seite 27 – 29

INTERNATIONAL BEDEUTENDER ERKENNTNISGEWINN UND BEITRAG ZUR KLÄRUNG OFFENER FRAGEN

Das NFP 57 «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit» hat einen wichtigen Beitrag geleistet, um offene Fragen über gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf die Gesundheit der Menschen zu klären. Es hat nicht nur die Forschung auf diesem Gebiet in der Schweiz gestärkt, sondern auch dafür gesorgt, dass Schweizer Forschungsarbeiten international vermehrt wahrgenommen werden.

Die Forschungsthemen, die durch das NFP 57 untersucht wurden, entsprechen weitgehend der Liste der Forschungsprioritäten für hochfrequente Strahlung, welche die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2010 formuliert hatte. Besonderes Gewicht legten die Wissenschaftler des NFP 57 auf die Erforschung der grundlegenden Mechanismen, die erklären können, wie sich elektromagnetische Felder auf

biologische Systeme auswirken. So ist es den Forschenden gelungen, Effekte auf der Ebene der einzelnen Zelle und auf der Ebene des Gehirns nachzuweisen und in der Folge möglichen Wirkmechanismen nachzugehen. Diese Forschung wurde denn auch international sehr stark beachtet.

Forschende des NFP 57 haben zudem eine Bevölkerungsgruppe über einen bestimmten Zeitraum beobachtet und deren alltägliche Exposition durch Strahlen abgeschätzt. Keine andere Studie

umfasste bisher eine längere Beobachtungsdauer und konnte die Exposition durch Strahlen detaillierter einschätzen. Sie eignet sich daher bisher am besten um allfällige Zusammenhänge zwischen dem Wohlbefinden und der effektiven Strahlenexposition aufzudecken. Einen unmittelbaren Zusammenhang konnten die Forschenden aber nicht ermitteln.

Insgesamt hat die Forschung des NFP 57 keine alarmierenden, neuen Tatbestände zu Tage gefördert, welche ein sofortiges

Handeln seitens der Behörden notwendig erscheinen lassen würden. Aber noch ist nicht klar, ob die nachgewiesenen Effekte im Gehirn und in den Zellen für die Gesundheit eines Lebewesens von Bedeutung sind. Angesichts der Resultate aus dem NFP 57 werden daher Folgestudien über die Wirkung von elektromagnetischen Feldern auf Hirnfunktionen und den DNS-Stoffwechsel in der Zelle künftig besonders wichtig sein. Sie könnten den Weg ebnen, um künftig einen Wirkmechanismus von

elektromagnetischen Feldern auf Organe und Organismen zu erhärten und in der Folge allfällige gesundheitliche Folgen abschätzen zu können.

GROSSES KNOW-HOW DER SCHWEIZER FORSCHUNG

Wenngleich das NFP 57 mit Mitteln von 5 Millionen Franken und einer Forschungsdauer von drei Jahren im internationalen Vergleich ein relativ kleines und kurzes Forschungsprogramm war, so hat es doch seine Ziele erreicht. Die Mittel wurden gezielt dort eingesetzt, wo aufgrund der

vorbestehenden Forschungsaktivitäten ein hoher Nutzen zu erwarten war. Aus diesem Grund hat das NFP 57 auch darauf verzichtet zu erforschen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Entstehung von Krebs und nichtionisierender Strahlung gibt, denn das wurde in gross angelegten, internationalen Forschungs-kooperationen bereits gemacht.

Dass die Schweizer Forscherinnen und Forscher international eine wichtige Rolle spielen, zeigte sich zum Beispiel

auch daran, dass die Bioelectromagnetics Society (BEMS) und die European Bioelectromagnetics Association (EBEA) im Juni 2009 in Davos einen viel beachteten Wissenschaftskongress durchführten, an dem sich auch das NFP 57 mit einem Satellitensymposium beteiligte.

Um das Know-how, das sich die Experten des NFP 57 während drei Forschungsjahren erarbeitet haben, zu erhalten und weiterzuentwickeln, muss die Erforschung elektromagnetischer Felder und deren

möglichen negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt in der Schweiz weitergehen. Diese Art der Forschung ist ein langfristiges Unternehmen, das auch langfristige Unterstützung braucht. Gleichzeitig entwickeln sich die Technologien rasch und stellen eine Herausforderung dar, welche nur bei weiterer enger Zusammenarbeit von Forschenden aus verschiedenen Fachrichtungen bewältigt werden kann. Das NFP 57 hat die Grundlage dafür geschaffen.

HINTERGRUND

Das NFP 57 wurde von einer Gruppe von Fachpersonen geleitet. Sie standen den Forschenden mit Wissen und Erfahrung zur Seite und zogen Schlussfolgerungen aus den Resultaten des Programms.

Folgende Personen waren Mitglieder der Leitungsgruppe:

Prof. Dr. em. Alexander A. Borbély
(Präsident)

Institut für Pharmakologie und Toxikologie
Universität Zürich
Zürich, Schweiz

Prof. Dr. Anders Ahlbom

Institut für Epidemiologie, Karolinska Institut
Stockholm, Schweden

Prof. Dr. Jørgen Bach Andersen

Institut für Elektronische Systeme, Universität Aalborg
Aalborg, Dänemark

Prof. Dr. Elisabeth Cardis

Forschungszentrum für Umweltepidemiologie (CREAL)
Barcelona, Spanien

Prof. Dr. Yngve Hamnerius

Bioeffektgruppe, Technische Universität Chalmers
Göteborg, Schweden

Prof. Dr. Christian W. Hess

Universitätsklinik für Neurologie, Inselspital
Bern, Schweiz

Prof. Dr. Dariusz Leszczynski

Forschung und Umweltüberwachung
Behörde für Strahlenschutz und Nukleare Sicherheit (STUK)
Helsinki, Finnland

Prof. Dr. Ragnar Löfstedt

Zentrum für Risikomanagement, King's College London
London, Grossbritannien

WER IST DER SCHWEIZERISCHE NATIONALFONDS (SNF)?

Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) ist die wichtigste Institution zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in der Schweiz. Er unterstützt jährlich rund 7200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wovon fast 80 Prozent höchstens 35 Jahre alt sind. Im Auftrag und mit Mitteln des Bundes fördert er die Grundlagenforschung in allen wissenschaftlichen Disziplinen, von der Philosophie über die Biologie und die Medizin bis zu den Nanowissenschaften. In verschiedenen Bereichen investiert er auch in die praxisorientierte Forschung.

Im Zentrum seiner Tätigkeit steht die wissenschaftliche Begutachtung der von den Forschenden eingereichten Projekte. Die Besten werden vom SNF mit insgesamt rund 700 Mio. Schweizer Franken jährlich unterstützt.

Um die Unabhängigkeit für die Förderung der Forschung sicherzustellen, wurde der SNF 1952 als privatrechtliche Stiftung gegründet. Er unterstützt die Grundlagenforschung hauptsächlich in Form von Einzelprojekten und engagiert sich für den wissenschaftlichen Nachwuchs. Ausserdem sorgt er dafür, dass

sich die schweizerische Forschung auch international unter den besten Bedingungen entwickeln kann und setzt sich für den Dialog mit Gesellschaft, Politik und Wirtschaft ein.

Weitere Exemplare dieser Broschüre können kostenlos bezogen werden bei:

Elisabeth Hale, ehale@snf.ch

Tel. +41 (0)31 308 23 47

Weitere Informationen unter: www.nfp57.ch

Die Website des NFP 57 enthält Zusammenfassungen sämtlicher Forschungsprojekte, Medienmitteilungen und weiterführende Informationen und Links.

Cette brochure est également disponible en français.
Questo opuscolo è disponibile anche in italiano.

Impressum

© Mai 2011
Schweizerischer Nationalfonds (SNF)
Bern

Herausgeber

Nationales Forschungsprogramm NFP 57
Abteilung IV Orientierte Forschung
Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung
der wissenschaftlichen Forschung (SNF)
Wildhainweg 3, Postfach 8232
CH-3001 Bern
Tel. +41 (0)31 308 22 22
Fax +41 (0)31 301 30 09
www.snf.ch

Redaktion

Patrick Imhasly, Bern
advocacy AG, Zürich

Visuelle Gestaltung

Andreas Keller
SPLASH | Visual Communications GmbH, Zug

Fotos

Die Bilder stammen aus den Forschungsprojekten
des NFP 57 und sind urheberrechtlich geschützt.

Nationales Forschungsprogramm NFP 57

Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung

Wildhainweg 3, Postfach 8232, CH-3001 Bern

www.nfp57.ch



SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG