



Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit

Programmsynthese

Nationales Forschungsprogramm NFP 57



FONDS NATIONAL SUISSE
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
FONDO NAZIONALE SVIZZERO
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

**Schweizerischer Nationalfonds
zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung**

Abteilung IV, Orientierte Forschung
Nationale Forschungsprogramme
Wildhainweg 3, Postfach 8232, CH-3001 Bern

Telefon +41 (0)31 308 22 22

Fax +41 (0)31 301 30 09

E-mail nfp@snf.ch

www.snf.ch

Redaktion

Dr. Sonja Negovetic, Dr. Sabine Regel
und alle Mitglieder der Leitungsgruppe des NFP 57

Übersetzung

Scitrans, www.scitrans.ch

Massgebend ist der von der Leitungsgruppe verabschiedete englische Originaltext.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	5
2.	Einleitung und Ziele des NFP 57	13
2.1	Rahmenbedingungen	13
2.2	Früherer Forschungsstand und Hintergrund des Programms	14
2.3	Ziele	15
2.4	Ausgewählte Projekte und Budget	16
2.5	Umsetzung, Kommunikation und Publikationen	18
3.	Synthese der Ergebnisse	20
3.1	Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung	20
3.2	Modul 2: Laborstudien und Epidemiologie	24
3.3	Modul 3: Zellbiologie	28
3.4	Modul 4: Risikowahrnehmung	32
4.	Wissenschaftliche Implikationen und zukünftige Bedürfnisse	37
4.1	Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung	37
4.2	Modul 2: Laborstudien und Epidemiologie	38
4.3	Modul 3: Zellbiologie	40
4.4	Modul 4: Risikowahrnehmung	41
5.	Schlussfolgerungen für Gesundheit und Umwelt	45
5.1	Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung	45
5.2	Modul 2: Laborstudien und Epidemiologie	46
5.3	Modul 3: Zellbiologie	47
5.4	Modul 4: Risikowahrnehmung	47
6.	Errungenschaften des Programms	48
6.1	Physiologie und Zellmetabolismus	48
6.2	EMF Exposition und Gesundheitsfolgen	50
6.3	Dosimetrie und Expositionsmessung	50
6.4	Risikowahrnehmung	50
6.5	Perspektiven	51
7.	Anhang	52
7.1	Programmablauf	52
7.2	Organisation und Leitung	53
7.3	NFP 57 Programm-Workshops	57
7.4	Referenzen	57
7.5	Akronyme	58

Was ist ein Nationales Forschungsprogramm (NFP)?

Im Rahmen der NFP werden Forschungsprojekte durchgeführt, die einen Beitrag zur Lösung wichtiger Gegenwartsprobleme leisten. Gestützt auf Artikel 6 Absatz 2 des Forschungsgesetzes vom 7. Oktober 1983 (Stand am 1. März 2010) bestimmt der Bundesrat die Fragestellungen und Schwerpunkte, die in den NFP untersucht werden sollen. Für die vom Bundesrat entsprechend in Auftrag gegebene Durchführung der Programme zeichnet der Schweizerische Nationalfonds verantwortlich.

Das Instrument NFP wird in Artikel 4 der Verordnung zum Forschungsgesetz vom 10. Juni 1985 (Stand am 1. Januar 2009) wie folgt beschrieben:

«¹ Mit den Nationalen Forschungsprogrammen sollen untereinander koordinierte und auf ein gemeinsames Ziel ausgerichtete Forschungsprojekte ausgelöst und durchgeführt werden. Sie sollen wenn nötig ermöglichen, ein zusätzliches Forschungspotenzial zu schaffen.

² Als Gegenstand Nationaler Forschungsprogramme eignen sich vor allem Problemstellungen,

- a. deren wissenschaftliche Erforschung von gesamtschweizerischer Bedeutung ist;*
- b. zu deren Lösung die schweizerische Forschung einen besonderen Beitrag leisten kann;*
- c. zu deren Lösung Forschungsbeiträge aus verschiedenen Disziplinen erforderlich sind;*
- d. die weder ausschliesslich der reinen Grundlagenforschung, der Forschung der Verwaltung (Ressortforschung) noch der industrienahen Forschung zugeordnet werden können;*
- e. deren Erforschung innerhalb von etwa fünf Jahren Forschungsergebnisse erwarten lässt, die für die Praxis verwertbar sind.*

³ Bei der Auswahl wird auch berücksichtigt, ob die Programme

- a. als wissenschaftliche Grundlage für Regierungs- und Verwaltungsentscheide dienen können;*
- b. in einem internationalen Projekt bearbeitet werden könnten und auch für die Schweiz von grossem Interesse sind.»*

1. Zusammenfassung

Nicht ionisierende Strahlung (NIS) oder elektromagnetische Felder (EMF) werden sowohl von Mobiltelefonen als auch Netzgeräten, elektrischen Apparaten und zahlreichen anderen Geräten abgegeben. Die Zunahme des Gebrauchs von Mobiltelefonen ist beeindruckend: Im Jahre 2010 waren geschätzte 5 Milliarden Einheiten weltweit in Gebrauch. In der Schweiz alleine waren 2010 über 9 Millionen Mobiltelefonanschlüsse aktiv. Seit mehreren Jahren wird befürchtet, dass die hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF EMF), welche durch diese Geräte ausgesandt werden, nachteilige Gesundheitsfolgen hervorrufen könnten. Diese Frage konnte bisher nicht definitiv geklärt werden, obschon gegenwärtig keine klaren Belege für solche Gesundheitsrisiken vorliegen. Diese Unsicherheit wurde auch durch widersprüchliche Berichte über biologische Wirkungen hochfrequenter EMF im Niedrigdosisbereich verstärkt.

Das nationale Forschungsprogramm «Nichtionisierende Strahlung - Umwelt und Gesundheit»

Im Juni 2003 beauftragte das damalige Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW, heute Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF) den Schweizerischen Nationalfonds (SNF), die Durchführung eines nationalen Forschungsprogramms (NFP) über potentielle Auswirkungen von NIS auf die menschliche Gesundheit zu evaluieren. Im Juni 2004 beauftragte das Staatssekretariat für Bildung und Forschung den SNF mit der Erstellung des Ausführungsplans für ein inter- und transdisziplinäres, vierjähriges Forschungsprogramm mit einem Gesamtbudget von CHF 5 Millionen.

Eine Leitungsgruppe (LG) wurde etabliert und mit dem Entwurf des Ausführungsplans beauftragt. Das Hauptziel war es, wissenschaftliche Grundlagen zu erarbeiten, die dazu beitragen, potentiell negative Auswirkungen auf die Gesundheit durch NIS in der Folge von gegenwärtigen und zukünftigen Technologien abschätzen zu können. Das Programm sollte komplementär zu internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der NIS sein und sich auf spezifische Fragen konzentrieren, welche in der Forschungsagenda zu elektromagnetischen Feldern (EMF) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert sind. Besonderes Gewicht wurde auf die Umsetzung gelegt: Das Programm sollte die Verunsicherung der Schweizer Bevölkerung über potentielle Gesundheitsgefährdung durch NIS direkt ansprechen. Im März 2005 bewilligte der Bundesrat das «NFP 57: Nichtionisierende Strahlung - Umwelt und Gesundheit» und im November desselben Jahres genehmigte das Eidgenössische Departement des Inneren den Ausführungsplan. Die öffentliche Ausschreibung erfolgte im Dezember 2005. Insgesamt wurden 36 Projektskizzen eingereicht und von der LG und externen Fachleuten begutachtet. Die LG schlug 11 Projekte zur Unterstützung vor. Diese Empfehlung wurde im November 2006 vom Forschungsrat des SNF genehmigt. Die Forschungsarbeiten begannen im Januar 2007.

Ziele und Schwerpunkte

Da internationale Projekte bisher in erster Linie auf den Endpunkt Krebs ausgerichtet waren, wurde im Ausführungsplan festgehalten, dass im NFP andere potentiell Gesundheitsrisiken angesprochen werden, mit dem Ziel, grundlegende Wirkungsmechanismen von EMF auf biologische Systeme aufzuklären. Die Hauptforschungsgebiete wurden deshalb wie folgt definiert:

- _ Dosimetrie und Expositionsmessung
- _ Expositionsexperimente mit Menschen und epidemiologische Studien, welche auch den Bereich elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) abdecken
- _ Zellbiologie der Auswirkungen von NIS
- _ Abschätzung, Management und Kommunikation von Risiken.

Resultate der Projekte

Der vorliegende Abschlussbericht basiert auf den Projektberichten vom September 2010. Da die Datenanalyse bei einigen Projekten noch nicht abgeschlossen ist, wird auch auf kommende Publikationen verwiesen, die das Bild der Resultate vervollständigen werden.

Dosimetrie und Expositionsmessung

Bis jetzt wurde der Schwangerschaft keine besondere Aufmerksamkeit im Hinblick auf Expositionsgrenzwerte geschenkt. Zudem ist die Datenlage über die Exposition von Föten im Nahfeld beschränkt. Das Projekt von *Nicolas Chavannes und Andreas Christ von der IT'IS Foundation in Zürich* beschäftigte sich mit der Quantifizierung von elektromagnetischen Feldern und deren spezifische Absorption in Geweben der Mutter und des ungeborenen Kindes in verschiedenen Schwangerschaftsstadien in alltäglichen Expositionssituationen. Die Absorption wurde durch mathematische Modelle und numerische Techniken simuliert. Für drei Schwangerschaftsstadien (Monate 3, 7 und 9) wurden detaillierte Computermodelle zur Anatomie einer Frau entwickelt. Mit diesen Modellen wurde in der Folge die Exposition durch repräsentative, alltägliche elektromagnetische Felder simuliert. Getestet wurde die Exposition sowohl durch entfernte Feldquellen wie elektronische Warenüberwachungssysteme mit unterschiedlichen operationellen Frequenzbereichen, als auch durch Induktionskochherde oder durch Mobilfunkgeräte nahe am Bauch der Mutter. Die Resultate zeigen, dass für Störfelder, die mit Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung konform sind, die Basisgrenzwerte immer eingehalten werden. Wird die werdende Mutter dagegen maximalen Arbeitsplatzexpositionswerten ausgesetzt, kann die Exposition des Fötus über den Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung liegen.

Das Projekt von *Niels Kuster und Sven Kühn von der IT'IS Foundation in Zürich* untersuchte die Exposition des zentralen Nervensystems (ZNS). Ziel war es, die kumulierte Exposition des ZNS gegenüber HF EMF von den im Alltag wichtigsten Strahlungsquellen im Nah- und Fernfeldbereich zu bestimmen. Die Studie deckte das Frequenzspektrum von 30 MHz bis 6 GHz ab und umfasst damit aktuelle und absehbare zukünftige Geräte und Quellen wie mobile und schnurlose Telefone, Basisstationen, elektronische Kinderüberwachungssysteme, W-LAN und Freisprecheinrichtungen. Für eine realistische Einschätzung der Exposition mit HF EMF im Zeitverlauf wurden weitere Faktoren in Betracht gezogen; so etwa die Art der Kommunikationstechnologie, das Nutzerverhalten (z.B. Einfluss der Hand, welche ein Telefon hält) und die Umwelt (z.B. Fahrt im Auto). Die aus fernen Quellen stammenden elektrischen Felder wurden im freien Raum gemessen. Aus nahen Quellen induzierte Felder oder die spezifische Absorptionsrate (SAR) wurden dagegen in Phantomen gemessen, welche die elektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers abbildeten. Anatomische Modelle wurden mithilfe von Magnetresonanzbildern von gesunden Freiwilligen erstellt. Eine Vielfalt von menschlichen Modellen beider Geschlechter, vom Kind bis zum Erwachsenen, wurde berücksichtigt.

Die Studie zeigte, dass Mobiltelefone die stärkste Quelle für die Exposition des Gehirns gegenüber EMF ist. Die Exposition wird durch das Nutzerverhalten und die Wahl des Telefons beeinflusst. Wichtige Faktoren sind zum Beispiel die Bauart des Telefons, der Gebrauch von Freisprecheinrichtungen (die Exposition ist bei Gebrauch von Freisprecheinrichtungen mehr als 10-fach verringert) oder die Wahl von Telefonen, welche auch UMTS oder nur GSM (UMTS reduziert die durchschnittliche Exposition um mehr als das 100-fache) unterstützen. Die Studie zeigte auch, dass eine mehr als 1000-fache Variabilität im Hinblick auf die Exposition unterschiedlicher Hirnregionen durch verschiedene Mobiltelefone existiert. Ferne oder quasi-ferne Quellen führen zu wesentlich tieferer Exposition des Gehirns. Hausstationen (z.B. für schnurlose Telefone oder W-LAN) führen zu SAR-Werten in derselben Grössenordnung wie Mobilfunkantennen im Freien.

Im Rahmen des Projekts von *Andreas Christ und Myles Capstick von der IT'IS Foundation in Zürich* wurde ein neuartiges System entwickelt, das es ermöglicht, Vorgänge in Zellkulturen während der Exposition mit extremniederfrequenten Magnetfeldern (ENF MF) direkt zu beobachten. Dazu war die Integration des Systems in ein Mikroskop notwendig. Dieses neuartige ENF-Expositionssystem erlaubt flexible Signalanalyse, periodische Expositionsprotokolle und eine Vielfalt von Mikromanipulationen während der Beobachtung lebender Zellen. Das System ist dank automatisierter Kontrolle durch Software einfach zu bedienen, es liefert kontinuierliche Daten über Feldstärke und Zelltemperatur und unterstützt auch Blindstudien. Dieses neuentwickelte System wurde in einem weiteren Projekt des NFP 57 erfolgreich angewendet (vgl. Gentoxische Effekte von nichtionisierender Strahlung).

Expositionsexperimente mit Menschen und epidemiologische Studien

Es wurde nachgewiesen, dass HF EMF die Gehirnphysiologie beeinflussen kann. Veränderungen der elektrischen Gehirnaktivität (Elektroenzephalogramm; EEG) und der Hirndurchblutung waren aus früheren Studien bekannt. Das Projekt von *Peter Achermann von der Universität Zürich*

konzentrierte sich auf HF EMF-induzierte EEG Veränderungen. In einem ersten Unterprojekt wurden kritische Signalcharakteristiken untersucht. Probanden wurden während 30 Minuten einem mit Niederfrequenzkomponenten von 14 Hz oder 217 Hz (stärkste Komponente des GSM-Signals) gepulsten HF EMF ausgesetzt. In einem Folgeexperiment beinhalteten die Expositionsbedingungen 2 Hz pulsmodierte HF EMF und ein 2 Hz gepulstes Magnetfeld. Das letztere Experiment sollte die Frage beantworten, ob diese tiefmodulierte Komponente alleine ausreicht, um einen biologischen Effekt zu erzielen oder ob die Kombination mit HF EMF notwendig ist. In allen Experimenten diente eine Scheinexposition als Kontrolle. Nach der Exposition legten sich die Probanden schlafen und das Schlaf-EEG wurde aufgezeichnet. Die 2-Hz und 14-Hz pulsmodierte Behandlung bewirkte eine Zunahme der spektralen Leistungsdichte des Schlaf-EEG im Frequenzbereich von Schlafspindeln (12-15 Hz). Andererseits induzierte ein 2 Hz gepulstes Magnetfeld ohne den HF EMF Teil diesen Effekt nicht. Die Schlafqualität und die Schlafstadien wurden durch keine der Behandlungen beeinflusst.

In einem zweiten Unterprojekt wurde untersucht, ob der Thalamus, eine subkortikale Hirnstruktur, eine zentrale Rolle für die Auswirkungen von HF EMF auf das Schlaf-EEG spielt. Vor dem Einschlafen wurden die Probanden entweder einem GSM-Mobiltelefon-ähnlichen Signal mit Trägerfrequenzen von 900 MHz oder einem Signal mit Trägerfrequenzen von 2140 Hz ausgesetzt. Letzteres wurde gewählt, weil es nicht in tiefere Hirnregionen eindringt. Beide Expositionsbedingungen bewirkten jedoch die typischen Veränderungen des Schlaf-EEG in beiden Hirnhälften. Subkortikale Hirnstrukturen scheinen also nicht der primäre Wirkungsort von HF EMF zu sein.

Das dritte Unterprojekt sollte die Auswirkungen von HF EMF auf die kognitive Leistung und das Wach-EEG im frühen Jugendalter untersuchen. Mobiltelefone sind eine Hauptursache der HF EMF-Exposition bei Teenagern. In der WHO-EMF-Forschungsagenda 2006/2010 wurde die Untersuchung von EMF-induzierten Veränderungen von Kognition und EEG bei Kindern als prioritäres Forschungsgebiet identifiziert. Um herauszufinden, ob spezifische Komponenten des Wach-EEG in einer dosisabhängigen Weise beeinflusst werden, wurden Jugendliche (11-13 Jahre alt) einem GSM-Mobiltelefon-ähnlichen Signal mit Trägerfrequenzen von 900 MHz und zwei verschiedenen Signalstärken ausgesetzt. Die entsprechenden Daten werden gegenwärtig analysiert.

Das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ist die dritte Generation (3G) der Mobilfunktechnologie und der neue verbreitete Standard der Mobilkommunikation. Die Auswirkungen von intermittierender UMTS-HF-EMF-Exposition bei zwei verschiedenen Intensitäten auf die Hirndurchblutung wurden im Projekt von *Martin Wolf vom Universitätsspital Zürich* untersucht. Daten wurden durch Nahinfrarot-Imaging (NIRI) erhalten, einer empfindlichen nicht-invasiven Methode zur bildlichen Erfassung von Durchblutung und Sauerstoffkonzentration im Gehirn. Die NIRI-Technik wurde angepasst, damit sowohl kurzfristige (innert 80 s) als auch mittelfristige (80 s bis 30 min) Veränderungen von Durchblutung und Sauerstoffkonzentration im Gehirn als Folge einer UMTS-HF-EMF-Exposition erfasst werden können. Expositionsinduzierte Veränderungen von Blutzirkulation und Herzschlag wurden festgestellt. Kurzfristige Veränderungen waren kleiner als durch normale funktionelle Aktivierung des Gehirns ausgelöste Veränderungen. Mittelfristige Veränderungen lagen im Rahmen der funktionellen Fluktuation. Kurzfristige Veränderungen wurden nur bei der tieferen Intensität gemessen, was gegen Temperatureffekte als Ursache spricht.

Ziel des Projektes von *Martin Rössli von der Universität Basel* war die Charakterisierung der HF-EMF-Expositionsverteilung einer Bevölkerungsstichprobe, die Entwicklung und Validierung einer Expositionsabschätzungsmethode und die Abklärung eines Zusammenhangs zwischen HF EMF Exposition und Krankheitssymptomen mittels eines Kohortendesigns. In einem ersten Teil wurde die individuelle Exposition typischer Quellen von HF EMF mithilfe eines tragbaren Exposimeters während einer Woche bestimmt. Die Exposition gegenüber stationären Sendern am Wohnort wurde mit Hilfe eines geographisch-räumlichen Computermodells simuliert, welches genaue Parameter aller stationären Sender der Region enthielt. Diese Daten wurden benutzt, um die alltägliche Umweltexposition von 1375 Personen, welche an der Ausgangsbestimmung teilnahmen, gegenüber HF EMF im Frequenzbereich von 88-2500 MHz vorauszusagen. 1122 Personen aus dieser Gruppe nahmen an einer Folgestudie ein Jahr später teil. Zusätzlich wurden Daten über die Mobilfunkbenutzung von den Mobilfunkfirmen, welche alle ein- und abgehenden Anrufe der letzten sechs Monate abdeckten, verwendet. Messungen ergaben eine durchschnittliche Exposition von 0.21 V/m, was weit unter dem Grenzwert liegt. HF-EMF-Umweltexposition aus entfernten Quellen erfolgte vorwiegend durch die Mobiltelefone anderer Personen (39%), drahtlose Telefonsysteme (24%, ohne eigenes Telefonieren)

und Mobilfunkantennen (22%). Die Umweltexposition gegenüber HF EMF zu Beginn der Studie zeigte keinen Zusammenhang mit Gesundheitsstörungen, die ein Jahr später registriert wurden. Auch eine Zu- oder Abnahme der individuellen HF-EMF-Exposition innert eines Jahres wies keinen Zusammenhang auf mit einer entsprechenden Veränderung von Gesundheitsstörungen. Es konnte auch kein Zusammenhang zwischen Aktimeteraufzeichnungen während des Schlafes und HF-EMF-Exposition im Schlafzimmer beobachtet werden. In Bezug auf nahe am Körper liegende Strahlungsquellen gab es keinen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von mobilen oder drahtlosen Telefonen und gesundheitlichen Aspekten der Lebensqualität. Auch ergab die Studie keinen Hinweis darauf, dass Personen, die sich selbst als sehr empfindlich gegenüber EMF (Elektromagnetische Hypersensibilität; EHS) betrachteten, anfälliger gegenüber HF-EMF-Exposition waren als nicht EHS-Personen.

Zellbiologie von NIR Effekten

Sowohl *Pierre Goloubinoff* von der Universität Lausanne als auch *Meike Mevissen* von der Universität Bern verwendeten in ihren Projekten die Nematode *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) als Modellsystem. Dieser Rundwurm ist etwa 1 mm lang und hat eine Lebensdauer von 2-3 Wochen. Sein Genom ist komplett sequenziert und alle 959 somatischen Zellen seines transparenten Körpers sind unter dem Mikroskop sichtbar. Fluoreszierende Proteine (und Aggregate), die in genetisch veränderten Tieren akkumulieren, wenn die entsprechenden Reportergene exprimiert werden, sind deshalb einfach festzustellen. *Pierre Goloubinoff* fand signifikante biologische Effekte nach kleinen Veränderungen der Umgebungstemperatur, aber keine messbaren Veränderungen nach kontinuierlicher oder intermittierender HF-EMF-Exposition. Selbst nach der Herstellung eines empfindlicheren Subtyps von *C. elegans* durch zusätzliche Beeinträchtigung der Proteinhomöostase wurde keine Veränderung nach HF-EMF-Exposition beobachtet. Auch mit einer genetisch veränderten Moospflanze wurden keine Resultate erhalten. Basierend auf den untersuchten Parametern hat HF EMF keinen Effekt auf die zelluläre Proteinhomöostase.

Meike Mevissen fokussierte ihre Experimente auf den Transkriptionsfaktor DAF-16, der bei der Stress-Signalinduktion eine zentrale Rolle spielt. Nach Aktivierung tritt DAF-16 in den Zellkern über und aktiviert die Transkription einer grossen Anzahl von Effektorgenen. Die Resultate mit einer genetisch veränderten *C. elegans* zeigen, dass HF EMF die DAF-16 aktivierte Signaltransduktion zu beeinflussen scheint.

Als zweites Modell verwendete *Meike Mevissen* Kulturen von Säugetierzellen (von Menschen und Ratten), welche im undifferenzierten Originalzustand verbleiben oder nach Zugabe von gewissen Substanzen die Eigenschaften von Neuronen annehmen konnten. Um die Stressantwort zu analysieren, wurde der zeitliche Verlauf von Veränderungen in der Regulation von Hitzeschockproteinen untersucht. Zur Verfolgung von Apoptose (programmiertem Zelltod) wurde die Regulation von zwei an der Apoptose beteiligten Proteinen analysiert. In einigen Zellen wurden 16 Stunden nach HF EMF Exposition Veränderungen im Zellkern gefunden. Ebenfalls wurden zeitliche Veränderungen der Hitzeschockproteinregulation beobachtet, was darauf hindeuten mag, dass HF EMF als echter Stressor wirken und Proteine des Apoptosesignalwegs induzieren könnte.

Primo Schär von der Universität Basel untersuchte in seinem Projekt, ob EMF-Exposition die Integrität der Erbsubstanz beeinträchtigt und dadurch das Potential hat, durch eine Instabilität des Erbgutes ausgelöste Gesundheitsstörungen wie etwa Krebs oder vorzeitige Alterung zu bewirken. Widersprüchliche experimentelle Resultate von Studien zur Genotoxizität deuteten darauf hin, dass die Exposition gewisser menschlicher Zellen zu hoch- und tieffrequenten EMF-Strangbrüche in der genomischen DNS bewirken kann. In der Folge hat die Weltgesundheitsorganisation WHO für HF EMF in der Forschungsagenda 2006 die Instabilität des Erbguts als «Forschungsinhalt von hoher Priorität» eingestuft. Die wissenschaftliche Diskussion betraf vor allem die Frage, ob diese Wirkung tatsächlich vorhanden ist. Die mögliche Bedeutung der Befunde und ihre Interpretation erhielt wenig Aufmerksamkeit. Die Daten basierten auf dem Comet Assay, einer empfindlichen Methode, welche den Nachweis von DNS-Schädigung auf Einzelzellniveau erlaubt. Die in früheren Studien beobachteten Effekte konnten für ELF MF exponierten primären menschlichen Fibroblasten sowie teilweise auch für HF EMF exponierten Zellen bestätigt werden.

Spezifisch wurde beobachtet, dass intermittierende, nicht aber kontinuierliche Exposition von menschlichen Fibroblasten mit 50 Hz Sinus MF bei 1 mT eine leichte aber signifikante Zunahme

von DNA-Strangbrüchen im Comet Assay bewirkt. Neue Erkenntnisse im Hinblick auf Ursache und Art dieser Effekte konnten gewonnen werden: So wurde gezeigt, dass die kleinen Effekte im Comet Assay durch geringe Störungen der DNS-Synthese und gelegentliche Auslösung von zellulärer Apoptose bewirkt wurden und nicht durch Schädigung der DNS. Die Resultate von biochemischen Analysen und der Beobachtung lebender Zellen deuten darauf hin, dass die im Comet Assay beobachteten scheinbar genotoxischen Effekte von intermittierender ELF-MF-Exposition mit grosser Wahrscheinlichkeit durch eine sekundäre zelluläre Reaktion auf das Feld ausgelöst wurden und nicht eine direkt oder indirekt durch ELF MF bewirkte DNS-Schädigung darstellten.

Management, Abschätzung und Kommunikation von Risiken

Das beschränkte Wissen über mögliche Gesundheitsrisiken von Langzeitexposition zu Strahlung von Mobiltelefonen und Mobilfunkantennen führte zu einer verbreiteten Besorgnis in der Bevölkerung. Die Wahl der Kommunikationsstrategie wird durch die Art der Gefährdung erschwert: Die wahren Risiken von NIS sind noch unbekannt, weshalb die angemessene und umfassende Information der Bevölkerung eine Herausforderung darstellt.

Peter Schulz von der Universität der italienischen Schweiz führte in einem ersten Unterprojekt eine Inhaltsanalyse eines Webforums und der Berichterstattung von NIS-verbundenen Themen durch Massenmedien in der Schweiz durch. Die Massenmedien richteten ihre Aufmerksamkeit auf Mobilfunkantennen und vernachlässigten das Risikopotential von Geräten. In einem zweiten Unterprojekt wurde die Reaktion auf eine Pressemitteilung über Gesundheitsrisiken von Mobilfunkantennen untersucht. Die Risikowahrnehmung wurde wesentlich durch die schon existierende Haltung gegenüber Gesundheitsrisiken beeinflusst, weniger durch Glaubwürdigkeit und Quelle der Informationen. In einem dritten Unterprojekt wurde eine Umfrage in zwei schweizerischen Sprachregionen durchgeführt. Dabei ging es darum zu prüfen, ob die Wortwahl oder Empfehlungen oder andere Faktoren aus einer Informationsbroschüre die Risikowahrnehmung beeinflussen. Verschiedene Arten von Warnbotschaften (neutral, autoritär oder verstärkend) unterscheiden sich nicht in Bezug auf die Risikowahrnehmung; die verstärkende Botschaft wurde aber den anderen vorgezogen. Es war auch offensichtlich, dass die Grundhaltung der Leserinnen und Leser das Kommunikationsresultat beeinflusst. Personen, welche stark über Gesundheitsrisiken von NIS besorgt sind, tendieren dazu, Botschaften, die besagen, dass wenig Grund zur Sorge besteht, nicht korrekt aufzunehmen. Dieser Vorgang stellt ein ernsthaftes Problem für die Kommunikationsplanung dar.

Michael Siegrist von der ETH Zürich untersuchte in seinem Projekt die Rolle des Affekts, eines Faktors, der für die Entwicklung von Haltungen und Meinungen zu NIS wichtig sein könnte. Der Affekt ist eine bestimmende Grösse für Wahrnehmung und Verhalten. Affektive Reaktionen geschehen rasch und automatisch. Ziel des Projekts war zu untersuchen, welche Faktoren für die Wahrnehmung von Risiken und Nutzen der mobilen Kommunikation und auch für die Akzeptanz der Technologie verantwortlich sind. Der Einzelkategorie implizite Assoziationstest (IAT) misst implizite Einstellungen, indem er die Geschwindigkeit feststellt, mit der eine Versuchsperson Einschätzungen vornimmt. Der Test wurde bei verschiedenen Teilnehmergruppen angewandt und die Resultate deuteten darauf hin, dass affektive Beurteilungen verschiedener Risiken sehr rasch vorgenommen werden. Es wurde auch festgestellt, dass Mobilfunkantennen positive implizite Assoziationen bei einer Gruppe von Mobilkommunikationsexperten, neutrale Assoziationen bei einer Laiengruppe und negative Assoziationen bei einer Gruppe von Mobilfunkantennengegnern auslösten. Auch wurde festgestellt, dass Ärger die Wahrnehmung von Nutzen und die Akzeptanz von Mobilfunkantennen stark beeinflusste; im Gegensatz dazu beeinflusste Furcht die Risikowahrnehmung von Mobilfunkantennen stark.

Im Vergleich zu anderen Parametern ist der Standort von Mobilfunkantennen für die Bevölkerung von zentraler Bedeutung. Die Beurteilung von Mobilfunkantennen hatte auch einen Zusammenhang mit Gesundheitseinstellungen, Vertrauen und demografischen Variablen. Schliesslich wurde gezeigt, dass Teilnehmer, welchen technisches Wissen vermittelt wurde, günstigere Standortpräferenzen für Mobilfunkantennen hatten, das heisst Standorte, an denen die Exposition der telefonierenden Bevölkerung minimiert wird. Insgesamt wurde gezeigt, dass der Affekt für die Wahrnehmung des Risikos von nichtionisierender Strahlung zentral ist und dass er bei Experten, Gegnern und Laien sehr unterschiedlich ausfällt. Zusammenfassend legen die Resultate nahe, dass der Affekt als rasche, einfache und erste Einschätzung der mobilen Kommunikation und anderer Risiken dient. Diese erste Einschätzung sagt uns, ob der Reiz gut oder schlecht für uns ist oder, mit anderen Worten, ob er für uns persönlich wichtig ist.

Errungenschaften und Limitierungen

Sollte EMF Exposition die Gesundheit beeinträchtigen, müsste dies über den Einfluss auf biologische Vorgänge erfolgen. Das Ziel von fünf Projekten war zu untersuchen, ob derartige Wirkungen nachgewiesen werden können. Können Wirkungen eindeutig und reproduzierbar gezeigt werden, ist die Untersuchung des biologischen Wirkungsmechanismus erforderlich. Drei früher beobachtete HF-EMF-Effekte wurden bestätigt und vertieft untersucht: (1) die Zunahme der spektralen Leistung des Schlaf-EEG in einem spezifischen Frequenzbereich; (2) Veränderungen der Hirndurchblutung; und (3) eine Zunahme der DNS-Fragmentierung. Zwei dieser Projekte führten zudem zu neuen Erkenntnissen über den Wirkungsmechanismus.

- **Wirkungen auf das Gehirn:** Eine der konsistentesten Befunde von HF EMF ist die Zunahme der Leistungsdichte des Schlaf-EEG in einem spezifischen Frequenzbereich (12-15 Hz). Wie auch von einer anderen Forschungsgruppe wurde diese Wirkung von Peter Achermann und Kollegen in vier getrennten früheren Studien beobachtet. Der Befund wurde im Rahmen dieses Forschungsprogramms in drei weiteren Studien bestätigt. Mithilfe von veränderten Feldcharakteristika, denen die Probanden ausgesetzt wurden, konnte gezeigt werden, dass Pulsmodulation für die Wirkung notwendig ist. Die Trägerfrequenz alleine vermag die typischen Veränderungen des EEG im 12-15 Hz Bereich nicht zu bewirken. Auch wurde gezeigt, dass für ein Feld mit einer höheren Trägerfrequenz, und damit geringerer Eindringtiefe ins Gehirn, die Wirkung immer noch vorhanden ist. Diese Beobachtung ist ein Schritt zur Identifikation der kritischen Hirnstrukturen. Auch wurden frühere Berichte über Wirkungen von HF EMF auf die Hirndurchblutung bestätigt. Martin Wolf fand einen derartigen Effekt mithilfe eines neuartigen nichtinvasiven Bildgebungsverfahrens, das in experimentellen Studien einfacher anzuwenden ist als die bisher häufig verwendete Positronemissionstomographie (PET). Effekte von UMTS HF EMF wurden damit zum ersten Mal nachgewiesen. Verschiedene Faktoren erschweren sowohl die Interpretation der Resultate, als auch weitere Abklärungen. Dazu gehören die Variabilität von EEG-Veränderungen zwischen Probanden und deren verzögertes Auftreten. Es gilt festzuhalten, dass EMF-induzierte Effekte sich auf EEG-Veränderungen beschränkten und weder Schlafstadien noch die Schlafqualität beeinflussten.
- **Wirkungen auf die DNS:** Eine frühere Beobachtung von DNS-Fragmentierung in Säugetierzellen nach HF-EMF-Exposition führte zu Besorgnis über potentielle Gesundheitsgefährdungen als Folge von DNS-Schädigungen. Primo Schär bestätigte diese früheren Beobachtungen in menschlichen Fibroblasten. Zudem beobachtete er, dass die erhöhte DNS-Fragmentierung nach ELF-MF-Exposition auf geringe Störungen der DNS-Synthese und gelegentliches Auslösen von zellulärer Apoptose zurückzuführen ist. Es wurde keine direkte physikalische Schädigung der DNS und auch keine indirekte Schädigung als Folge einer Zunahme von reaktiven Sauerstoffverbindungen gefunden. EMF induzieren also im Unterschied zu ionisierender Strahlung keine irreparable DNS-Schädigung. Die Studie bestätigt also nicht nur den biologischen Effekt selbst, sondern erlaubt auch zum ersten Mal einen Einblick in den entsprechenden Wirkungsmechanismus.
- **Modellsysteme:** Modellsysteme können zum Nachweis von EMF-Effekten hilfreich sein. Die ursprüngliche Begeisterung über positive Resultate in Experimenten mit dem Rundwurm *C. elegans* wurde durch nachfolgende negative Resultate gedämpft. Die Studien von Meike Mevissen und Pierre Goloubinoff bestätigten, dass dieses Modellsystem, obwohl sehr empfindlich auf Umgebungseinflüsse, für weitere Studien zu EMF wenig geeignet ist. Die vorläufigen Befunde von Mevissen über EMF-induzierte Veränderungen von Proteinen, welche an Stressantwort und Apoptose beteiligt sind, erfordern weitere Analysen.
- **Epidemiologie:** In der Studie von Martin Rösli wurden zum ersten Mal objektive Daten über die Mobiltelefonbenutzung verwendet, um potentielle Effekte auf Symptome, insbesondere Kopfschmerzen, zu untersuchen. Neue Elemente waren auch das Kohortendesign zum Studium von HF-EMF-Exposition während eines Jahres und die Expositionsmessung mithilfe von tragbaren Geräten während einer Woche. Dies ermöglichte die Quantifizierung der Exposition und die Aufschlüsselung des Beitrags verschiedener Quellen. Hauptergebnis war das Fehlen eines Zusammenhangs zwischen Gesundheitsstörungen und der Exposition zu HF EMF aus der Umgebung im täglichen Leben. Insbesondere wurde kein Zusammenhang zwischen Schlafverhalten und Exposition im Schlafzimmer gefunden. Auch lieferte die Studie keine Hinweise darauf, dass Personen, die sich selbst als sehr empfindlich gegenüber EMF (Elektromagnetische

Hypersensibilität; EHS) betrachteten, anfälliger gegenüber HF-EMF-Exposition waren als nicht-EHS Personen. Insgesamt konnte die Studie keine Hinweise finden, dass die gegenwärtige EMF-Expositionssituation in der Schweiz Gesundheitsstörungen bewirken kann. Allerdings hat die Studie auch ihre Beschränkungen. So war zum Beispiel die durchschnittliche Exposition der Probandengruppe wesentlich tiefer als der in der Schweiz gültige Grenzwert und das Expositions-niveau war mit Unsicherheiten behaftet. Es können deshalb keine Schlussfolgerungen über die Auswirkungen von höheren Expositionsniveaus gezogen werden. Zu weiteren möglichen Limitierungen gehören ein möglicher Selektionsbias, die Stichprobengrösse und die Beschränkung der Studie auf ein Jahr. Trotzdem sollte festgehalten werden, dass die Resultate nicht darauf hindeuteten, dass HF-EMF-Exposition Gesundheitsstörungen bewirkt. Das unterstützt die Mehrheit der Literaturbefunde und stärkt die Beweislage des tatsächlichen Fehlens eines Effektes.

- **Dosimetrie:** Das Verdienst des Projekts von Niels Kuster und Sven Kühn liegt in der detaillierten Erfassung der Gehirnexposition zu HF EMF, sowohl aus nahen als auch fernen Quellen. Vor dem Start des Projekts fehlten viele Parameter und Methoden zur Durchführung von derartigen dosimetrischen Untersuchungen. Phantome, welche die elektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers und des Gehirns abbildeten sowie Simulationshilfsmittel wurden entwickelt und verwendet, um die SAR in verschiedenen Hirnregionen abzuschätzen. In Abhängigkeit von Nutzungsunterschieden, Apparatedesign und Signalcharakteristiken wurde eine grosse Variabilität der Resultate beobachtet. Die Modelle können die SAR, welche in Hirnregionen durch verschiedene HF-EMF-Quellen induziert wird, vorhersagen. Sie werden damit zu wertvollen Hilfsmitteln für Dosisabschätzungen in epidemiologischen Studien und für Konsumenteninformation über die Exposition von Personen. Um die Exposition des Fötus abzuschätzen, entwickelten Nicolas Chavannes und Andreas Christ Computermodelle mit integrierten elektrischen Gewebecharakteristiken von Frauen in verschiedenen Schwangerschaftsstadien. Das Hauptergebnis war, dass die beruflichen Expositionsgrenzwerte für schwangere Frauen zu hoch sind und dass einige Produktstandards (Induktionskochgeräte) revidiert werden müssen, da sie zu überhöhten SAR-Werten (spezifische Absorptionsrate Werte) im Fötus führen können. In der dritten dosimetrischen Untersuchung eröffneten Andreas Christ und Myles Capstick durch die Entwicklung eines in Echtzeit operierenden, miniaturisierten ELF MF Expositionsbildgebungsverfahrens neue Zugänge zu Studien auf der Ebene von Zellen.
- **Risikokommunikation:** Die Studie von Martin Siegrist zeigte, dass affektive Reaktionen für die Risikowahrnehmung von zentraler Bedeutung sind. Der Affekt kann als schneller Weg zur Entscheidungsfindung dienen. Vertrauen und andere affektverwandte Elemente müssen also in der Risikokommunikation berücksichtigt werden. Interessanterweise konnte die Vermittlung von Information dazu beitragen, Irrmeinungen abzubauen; sie führte zu einer realistischeren Einschätzung der Ortswahl für Mobilfunkantennen, welche gesundheitspolitische Überlegungen besser widerspiegelt. Das Projekt von Peter Schulz fand, dass Personen, welche das Gesundheitsrisiko von EMF als sehr tief einschätzten, durch eine beruhigende Botschaft weiter bestätigt wurden. Dagegen wurden Personen, welche das Gesundheitsrisiko als hoch einschätzten, als Folge einer beruhigenden Botschaft noch besorgter. Eine handlungsorientierte vorsorgende Botschaft scheint am überzeugendsten zu sein.

Perspektiven

Die Forschungsthemen, welche durch das NFP 57 abgedeckt werden, entsprechen weitgehend der Liste der Forschungsprioritäten der WHO-Agenda 2010 für das Gebiet Hochfrequenz. Angesichts der Resultate werden Folgestudien über die Wirkung von EMF auf Hirnfunktionen und DNS-Metabolismus besonders wichtig sein. Diese Ansätze erwiesen sich namentlich als erfolgversprechend für die Gewinnung neuer Einsichten in die Mechanismen, welche der Wirkung von EMF auf biologische Systeme zugrunde liegen. Obwohl physiologische und zelluläre Effekte in den entsprechenden Studien nachgewiesen werden konnten, ist deren Relevanz für die Gesundheit nicht klar und wird weiter untersucht werden müssen. Es ist offensichtlich, dass das NFP 57 zur Stärkung der EMF-Forschung in der Schweiz und zur Verbesserung der Interaktion zwischen schweizerischen Forschungsgruppen beigetragen hat. Es hat auch die internationale Beachtung der Forschung in der Schweiz erhöht. Um die Fachkompetenz und das Knowhow, welches während des Programms geschaffen wurde, zu bewahren, wird es wichtig sein, Wege zu finden, welche die Fortsetzung von Schlüsselprojekten erlauben. EMF-Forschung ist ein langfristiges Bestreben, welches einen

angemessenen organisatorischen und finanziellen Rahmen benötigt. Die sich rasch entwickelnden Technologien stellen eine Herausforderung dar, welche nur bei weiterer enger Zusammenarbeit von Experten in Dosimetrie, Naturwissenschaften und Epidemiologie bewältigt werden kann. Das NFP 57 hat die Grundlage dafür geschaffen.

2. Einleitung und Ziele des NFP 57

2.1 Rahmenbedingungen

Im Rahmen eines Nationalen Forschungsprogramms (NFP) werden Forschungsprojekte durchgeführt, die einen Beitrag zur Lösung von Gegenwartsproblemen mit nationaler Relevanz leisten. Nach Artikel 6, Paragraph 2, des Forschungsgesetzes vom 7. Oktober 1983 bestimmt der Bundesrat Fragestellung und Schwerpunkte der NFP und überträgt dem Schweizerischen Nationalfonds (SNF, Abteilung IV) die volle Verantwortung für deren Durchführung. Zweck und Inhalt von NFP sind definiert in Artikel 4 der das Forschungsgesetz betreffenden Verordnung vom 10. Juni 1985.

Im Juni 2003 beauftragte das damalige Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW, heute Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF) den Schweizerischen Nationalfonds (SNF), die Durchführung eines nationalen Forschungsprogramms (NFP) über potentielle Auswirkungen von nicht-ionisierender Strahlung (NIS) auf die menschliche Gesundheit zu evaluieren. Grundlage für diese Initiative war ein umfangreicher Bericht des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), welcher eine Metaanalyse von über 200 wissenschaftlichen Publikationen beinhaltet. Der Vorschlag wurde durch die Abteilung IV des Forschungsrats, unter Berücksichtigung der umfassenden Begutachtung einer internationalen Expertengruppe, im Hinblick auf Eignung und Durchführbarkeit evaluiert. Aufbauend auf dem positiven Resultat der Machbarkeitsstudie (Juni 2004) verfasste der SNF eine Programmskizze zuhanden des Bundesrates. Im Juni 2004 beauftragte schliesslich das Staatssekretariat für Bildung und Forschung den SNF mit der Erstellung des Ausführungsplans für ein inter- und transdisziplinäres, vierjähriges Forschungsprogramm mit einem Gesamtbudget von CHF 5 Millionen.

Eine Leitungsgruppe (LG) wurde etabliert und mit dem Entwurf des Ausführungsplans beauftragt. Das Hauptziel war es, wissenschaftliche Grundlagen zu erarbeiten, die dazu beitragen, potentiell negative Auswirkungen auf die Gesundheit durch NIS in der Folge von gegenwärtigen und zukünftigen Technologien abschätzen zu können. Das Programm sollte komplementär zu internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der NIS sein und sich auf spezifische Fragen konzentrieren, welche in der Forschungsagenda zu elektromagnetischen Feldern (EMF) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert sind. Besonderes Gewicht wurde auf die Umsetzung gelegt: Das Programm sollte die Verunsicherung der Schweizer Bevölkerung über potentielle Gesundheitsgefährdung durch NIS direkt ansprechen.

Da internationale Projekte bisher in erster Linie auf den Endpunkt Krebs ausgerichtet waren, wurde im Ausführungsplan festgehalten, dass im NFP andere potentielle Gesundheitsrisiken angesprochen werden, mit dem Ziel, grundlegende Wirkungsmechanismen von EMF auf biologische Systeme aufzuklären. Ein besseres Verständnis des kausalen Zusammenhangs zwischen NIS und neurophysiologischen Abläufen einerseits und Reaktionen auf zellulärem Niveau andererseits sollten die Risikoabschätzung von gegenwärtigen und auch zukünftigen Technologien erleichtern. Die Hauptforschungsgebiete wurden deshalb wie folgt definiert:

- _ Dosimetrie und Expositionsmessung
- _ Expositionsexperimente mit Menschen und epidemiologische Studien, welche auch den Bereich elektromagnetische Hypersensibilität (EHS) abdecken
- _ Zellbiologie der Auswirkungen von NIS
- _ Abschätzung, Management und Kommunikation von Risiken.

Im März 2005 bewilligte der Bundesrat das ‚NFP 57: Nichtionisierende Strahlung - Umwelt und Gesundheit‘ und im November desselben Jahres genehmigte das Eidgenössische Departement des Inneren den Ausführungsplan.

Die öffentliche Ausschreibung erfolgte im Dezember 2005. Insgesamt wurden 36 Projektskizzen eingereicht und von der LG und externen Fachleuten begutachtet. Die LG schlug 11 Projekte zur Unterstützung vor. Diese Empfehlungen wurden im November 2006 vom Forschungsrat des SNF genehmigt. Die Forschungsarbeiten begannen im Januar 2007 und dauerten insgesamt drei Jahre.

2.2 Früherer Forschungsstand und Hintergrund des Programms

In den 10-15 Jahren vor dem NFP 57 konzentrierten sich internationale (z.B. fünftes FTE-Rahmenprogramm), nationale (in Grossbritannien, Finnland, Frankreich, Italien, Japan und weiteren) und auch industriefinanzierte Programme (z.B. MMF, NTTDo-CoMo) auf Themen der WHO Agenda mit direktem Bezug zu Krebs. Nur wenige Studien befassten sich mit anderen Endpunkten. Auch war der Exposition durch andere Strahlungsquellen als Mobiltelefonen wenig Aufmerksamkeit gewidmet worden, und nur wenige Studien untersuchten einen potentiellen Interaktionsmechanismus zwischen EMF und biologischen Systemen. Zahlreiche umfassende Forschungsübersichten von nationalen und internationalen Amtsstellen (wie etwa die WHO, das U.S. National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS), das National Radiological Protection Board in Grossbritannien, das BAFU in der Schweiz und Berichte aus den Niederlanden, Frankreich, Kanada und Schweden) fassten den Stand des Wissens zusammen. Die Berichte kamen oft zum Schluss, dass einige Fragen betreffend möglicher Auswirkungen von NIS auf die menschliche Gesundheit offen blieben. Beschrieben wurden ein Zusammenhang zwischen erhöhtem Auftreten von Kinderleukämie und Exposition zu extremniederfrequenten Magnetfeldern (ENF MF), zwischen Akustikusneurinomen und Exposition zu hochfrequenter (HF) Strahlung, sowie eine Vielfalt von subtilen Wirkungen in menschlichen und tierischen Zellkulturen. Die Daten deuten darauf hin, dass Wirkungen von der Periodizität der Exposition, dem Leistungsspektrum und weiteren Signalcharakteristiken abhängen können, was die Unsicherheit in der Abwägung von Gesundheitsrisiken erhöht.

Viele internationale und nationale, öffentliche und private Forschungsstellen haben Projekte ausgeschrieben, mit dem Ziel der Bewertung von möglichen Gesundheitsrisiken von NIS bei Strahlungsstärken, welche unter den Grenzwerten liegen, die von der internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) empfohlen werden. Die internationale Forschung konzentriert sich dabei auf die folgenden Unterthemen:

- **Dosimetrie:** Im letzten Jahrzehnt wurden bedeutende Fortschritte in der Dosimetrie erzielt. Methoden, Messinstrumente und Techniken zur detaillierten dosimetrischen Analyse wurden entwickelt, sowohl für experimentelle und epidemiologische Studien als auch zur Expositionsbewertung von gängigen Technologien. Nur sehr wenige Bewertungen wurden jedoch für neuartige und zukünftige Technologien vorgenommen.
- **Kontrollierte Expositionsexperimente mit Menschen:** Laborstudien über nicht krebsartige, gesundheitsbeeinträchtigende Auswirkungen bei Menschen deckten ein grosses Gebiet ab und beschäftigten sich mit Auswirkungen von NIS auf elektrische Hirnaktivität (normalerweise durch Elektroenzephalogramme; EEG), Schlafphysiologie, kognitive Leistung, Herzschlagvariabilität, Stimmung, Hormonspiegel und Immunfunktion. Die Ergebnisse brachten kaum Nachweise für einen Zusammenhang zwischen NIS und Herzschlagvariabilität, Stimmungswechsel, Immunfunktion (bestimmt durch immunologische Variablen wie Blutchemie, Leukozyten- oder Lymphozytenanzahl und andere) oder Hormonspiegeln. Verschiedene Auswirkungen von NIS wurden jedoch in Studien über Schlafphysiologie und die kognitive Leistung beobachtet. Dazu gehörten HF induzierte EEG Veränderungen im Spindelfrequenzbereich der Non-REM («non-rapid eye movement»)-Schlafphase, sowie auch subtile Veränderungen der kognitiven Leistung, welche als Reaktionsgeschwindigkeit und Leistungspräzision gemessen wurden. Diese Beobachtungen deuteten darauf hin, dass die Hirnfunktion durch EMF beeinflusst werden kann. Als Folge der Schwierigkeit, geeignete Experimente zu entwickeln, wurden nur wenige Untersuchungen zur elektromagnetischen Hypersensibilität durchgeführt.
- **Epidemiologie:** Beträchtliche Mittel wurden für multinationale grossangelegte Untersuchungen (z.B. Interphone Studie) verwendet, welche sich auf den Zusammenhang zwischen EMF-Exposition als Folge von Mobiltelefonen und der Entwicklung von Hirn- und anderen Tumoren konzentrierten. Exposition durch Starkstromleitungen und andere ENF-Quellen wurde durch die internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) und das NIEHS als möglicherweise kanzerogen (2B) klassiert. Mit Blick auf Gesundheitsfolgen, welche nicht Krebs betreffen, schloss das Bundesamt für Umwelt (BAFU) aus einer Anzahl von Studien über mögliche Auswirkungen von EMF auf die Gesundheit (unter Berücksichtigung von Symptomen wie Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Schlaflosigkeit oder Tinnitus), dass aufgrund der verfügbaren Daten keine Schlüsse über das Gesundheitsrisiko gezogen werden können. Mit Bezug auf ENF-Exposition fand das NIEHS, dass, wenn überhaupt, nur wenig Hinweise vorhanden sind für einen Zusammenhang zwischen ENF-Exposition und dem Auftreten von neurodegenerativen

Erkrankungen, neurologisch bedingten Verhaltensstörungen, Herz-Kreislaufkrankungen oder Schwangerschaftsverlauf.

- **In vitro Studien:** Studien auf zellulärem Niveau sind essentiell zur Bestimmung der Wirkungsmechanismen von potentiell gesundheitsschädigenden Einflüssen. Einige Studien untersuchten Auswirkungen von NIS auf der Ebene von Zellmembranen, Genexpression und Signalübertragungswegen. Darüber hinaus haben verschiedene Studien die in vitro Zellproliferation und die Regulation des Zellzyklus untersucht und fanden Modifikationen und auch möglicherweise gen- und zelltoxische Auswirkungen. Im Weiteren wurden die Calcium-Homöostase und die Expression von Hitzeschockproteinen unter Expositionsbedingungen untersucht.
- **Tierstudien:** Eine Reihe von grossangelegten Karzinogenitätsstudien an Tieren wurden in einem internationalen Rahmen durchgeführt. Kein ursächlicher Zusammenhang mit irgendeiner Form von bösartigem Krebs konnte etabliert werden. Kleinere Studien konzentrierten sich auf relevante Faktoren für Endpunkte beim Menschen wie etwa Verhalten, Auswirkungen auf Innenohr und Cochlea, die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke und neurodegenerative Erkrankungen; auch hier wurde kein schlüssiger Zusammenhang gefunden. Desgleichen wurde kein Nachweis für Auswirkungen von NIS auf Blutparameter, das Immunsystem oder Fortpflanzung und Entwicklung gefunden.
- **Risikomanagement und Kommunikation:** Verschiedene Forschungsprogramme beinhalteten auch Projekte über Risikomanagement und Kommunikation. Die entsprechenden Studien berücksichtigten die Abschätzung des Einflusses von Risikokommunikationsstrategien, individuellen Risikowahrnehmungen, kognitiven Karten von Personen welche an selbsterkannter elektromagnetischer Hypersensibilität leiden und die Interpretation und Evaluation des Einflusses von vorbeugenden Massnahmen.

2.3 Ziele

Trotz zahlreichen Studien in vielen Forschungsfeldern blieb das Bild über potentielle Gesundheitsfolgen von NIS im Niedrigdosisbereich unklar. Angesichts der andauernden Unsicherheit und der Tatsache, dass auch kleine Auswirkungen auf die Gesundheit beträchtliche Folgen für das Gesundheitswesen haben könnten, verlangten Schweizerische Bundesämter und andere staatliche Organe, diese Wissenslücke durch weitere Forschung im Gebiet zu schliessen. Von spezifischem Interesse für das NFP 57 war Forschung über zentrale Wirkmechanismen von EMF auf biologische Systeme, da keine umfassenden internationalen Initiativen über *in vitro* Studien und zelluläre Mechanismen existierten. Angesichts der Wichtigkeit solcher Studien und deren Potential zur Identifikation von kritischen Charakteristiken von EMF, wurde dieser Ansatz zu einem Schwerpunkt des NFP 57 gemacht. Aufgrund der Tatsache, dass Expositionsoptimierung und umfassende dosimetrische Information Voraussetzungen für fundierte Studien zu EMF darstellen, wurde der Dosimetrie eine hohe Priorität zugeordnet. Ein weiterer Schwerpunkt des NFP 57 war die zunehmende Beunruhigung von grossen Teilen der Schweizerischen Bevölkerung mit Bezug auf NIS und NIS Risikomanagement und auch die Frage nach Parametern, welche die öffentliche Wahrnehmung und das öffentliche Bewusstsein beeinflussen.

Forschung über berufliche Exposition und Exposition als Folge von medizinischer Behandlung und Diagnose war nicht Teil dieses Programms. Angesichts hoher Kosten und umfassender internationaler Anstrengungen auf diesem Gebiet wurden im Rahmen des NFP 57 weder grossangelegte Tierstudien noch epidemiologische Kohorten- und Fallkontrollstudien mit Krebs als Endpunkt durchgeführt.

Das Hauptziel des NFP 57 war die Etablierung eines koordinierten umfassenden Forschungsefforts zur Schliessung von Wissenslücken über die Auswirkungen von niedrigdosierter NIS auf die menschliche Gesundheit. Die Ergebnisse sollten Daten liefern zur Frage, ob und wie EMF-Exposition zu Veränderungen in biologischen Systemen und allenfalls zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt. Sowohl Gesundheitsämter als auch die Industrie brauchen mehr Daten, um das potentielle Risiko von EMF für Gesundheit und Wohlbefinden abschätzen zu können. Abschätzungen und Massnahmen, welche auf wissenschaftlichen Befunden basieren, könnten das Vertrauen der Öffentlichkeit in die angemessene Nutzung von modernen Kommunikationstechnologien erhöhen. Die Förderung internationaler Forschungszusammenarbeit war ein weiteres Ziel. Auch hierfür war ein hoher wissenschaftlicher Standard der Projekte unverzichtbar.

Auf längere Sicht würde eine umfassende Risikoabschätzung, welche auch die Evaluation von NIS aus neuen Technologien beinhalten könnte, durch ein besseres Verständnis sowohl von Expositionsparametern, die biologische Veränderungen auslösen, als auch von entsprechenden Interaktionsmechanismen erleichtert. Im Weiteren wurde davon ausgegangen, dass die Forschungsprojekte des NFP 57 die Konkurrenzfähigkeit der Schweizerischen Forschung erhöhen würde und die Teilnahme schweizerischer Forschungsteams an internationalen Programmen erleichtern könnte.

2.4 Ausgewählte Projekte und Budget

In Übereinstimmung mit gebräuchlichen Abläufen für NFP verständigte sich die LG des NFP 57 (Anhang 7.2) auf ein zweistufiges Einreichungsverfahren für Forschungsprojekte. Projekte wurden nach den in der Ausschreibung festgehaltenen Kriterien ausgewählt. Die Qualitätssicherung während des Programms wurde gemäss Realisierungsplan vorgenommen.

Die LG begutachtete alle Projekte mit Hilfe internationaler Fachexperten, unter Berücksichtigung folgender Kriterien:

- Wissenschaftliche Qualität und Originalität: Projektskizzen und Forschungsprojekte sollten im Hinblick auf wissenschaftliche Originalität und methodische Standards dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen.
- Machbarkeit und Übereinstimmung mit den Zielen des NFP 57: Die Projekte sollten die wissenschaftlichen Ziele des NFP 57 aufnehmen und in dessen Gesamtrahmen hineinpassen.
- Anwendbarkeit: Von NFP wird die Förderung der praktischen Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit ausdrücklich erwartet. Folglich wurden umsetzungsorientierte Projekte mit hoher praktischer Relevanz bevorzugt.
- Mitarbeitende und Infrastruktur: Projekte sollten in einer Umgebung mit angemessener Infrastruktur und geeignetem Mitarbeiterstab realisiert werden.

Elf Projekte wurden ausgewählt und in vier Module aufgeteilt:

Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung

Bestimmung der Belastung des Fötus durch elektromagnetische Felder in unkontrollierter Umgebung <i>Dr. Nicolas Chavannes, IT'IS Foundation for Research on Information Technologies in Society, Zürich</i>	CHF 211'675.–
Kumulative Exposition des Zentralen Nervensystems im Zeit- und Frequenzbereich <i>Prof. Dr. Niels Kuster / Dr. Sven Kühn, IT'IS Foundation for Research on Information Technology in Society, Zürich</i>	CHF 296'909.–
Mikroskopische Untersuchungen von Zellen während der Exposition durch elektromagnetische Felder <i>Dr. Andreas Christ, IT'IS Foundation for Research on Information Technologies in Society, Zürich</i>	CHF 241'285.–

Modul 2: 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 <i>Prof. Dr. Peter Achermann, Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich</i>	CHF 563'828.–
Prospektive Kohortenstudie zum Einfluss von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität <i>Prof. Dr. Martin Röösli, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel</i>	CHF 553'255.–
Untersuchung der Effekte von UMTS-Feldern auf die Gehirndurchblutung mit Nahinfrarot-Imaging <i>PD Dr. Martin Peter Wolf, Klinik für Neonatologie, Universitätsspital Zürich</i>	CHF 303'394.–

Modul 3: Zellbiologie

Effekte nichtionisierender Strahlung im Modellorganismus <i>Caenorhabditis elegans</i> <i>Prof. Dr. Pierre Goloubinoff, Departement für pflanzliche Molekularbiologie, Universität Lausanne</i>	CHF 310'802.–
Wirkungen von elektromagnetischen Feldern in vitro und in vivo: Interaktionen mit Faktoren der Stress-Antwort <i>Prof. Dr. Meike Mevissen, Abteilung für Veterinär-Pharmakologie & Toxikologie, Vetsuisse Fakultät Bern, Universität Bern</i>	CHF 480'554.–
Gentoxische Effekte von nichtionisierender Strahlung <i>Prof. Dr. Primo Schär, Institut für Biochemie und Genetik, Departement für Klinisch-Biologische Wissenschaften, Universität Basel</i>	CHF 695'850.–

Modul 4: Risikowahrnehmung

Strukturen und Wirkungen gesellschaftlicher Kommunikation über nichtionisierende Strahlung <i>Prof. Dr. Peter J. Schulz, Health Care Communication Laboratory, Facoltà di scienze della comunicazione, Università della Svizzera italiana</i>	CHF 166'750.–
Affekt und Wahrnehmung von nichtionisierender Strahlung: Folgen für die Risikokommunikation <i>Prof. Dr. Michael Siegrist, Konsumentenverhalten, Institut für Umweltscheidungen, ETH Zürich</i>	CHF 173'078.–

Übersicht über die Verteilung des Programmbudgets

Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung	749'869.-
Modul 2: Laborstudien und Epidemiologie	1'420'477.-
Modul 3: Zellbiologie	1'487'206.-
Modul 4: Risikowahrnehmung	339'828.-
Umsetzung und Administration	1'002'620.-
TOTAL	5'000'000.-

2.5 Umsetzung, Kommunikation und Publikationen

Die öffentliche Diskussion über Gefahren und Nutzen mobiler Kommunikationsmittel und über die Sorge um «Elektrosmog» ist kontrovers. Aus diesem Grund konzentrierte sich die Umsetzung auf folgende Punkte:

- _ Weiterleitung von Wissen aus den Forschungsprojekten an die Praxis
- _ Bewältigung von Problemen
- _ Kommunikation des Forschungsprozesses und der Resultate aus den Projekten und dem Gesamtprogramm gegenüber verschiedenen Stakeholdergruppen.

Ziel der Kommunikation war es:

- _ Verschiedene Stakeholdergruppen rechtzeitig und transparent über Rahmen und Ablauf des NFP 57 zu informieren
- _ Ein realistisches Bild der erwarteten Ergebnisse der Forschungsprojekte zu geben
- _ Die Forschungsprojekte im Kontext internationaler Forschungsbemühungen zu präsentieren
- _ Die Forschungsgruppen bei der Kommunikation ihrer Resultate gegenüber nichtwissenschaftlichen Zielgruppen zu unterstützen.

Um diese Ziele zu erreichen, wendete sich die Umsetzung des NFP 57 an verschiedene Zielgruppen:

(1) Politik und Behörden

- _ Parlamentarier auf nationaler Ebene
- _ Nationale politische Parteien
- _ Bundesrat
- _ Bundesbehörden (BAFU, BAG, BAKOM, BFE, METAS, ESTI, COMCOM)
- _ Kantonsräte
- _ Kantonale Behörden
- _ Lokal- und Gemeinderäte

(2) Wirtschaft und Industrie

- _ Telekom-Industrie in der Schweiz
- _ Energieindustrie
- _ Industrieorganisationen

(3) Nichtregierungsorganisationen

- _ Nationale Konsumentenorganisationen
- _ Nationale Umweltorganisationen
- _ Nationale, regionale und lokale Organisationen, die sich mit der mobilen Kommunikation befassen
- _ Nationale Gesundheitsorganisationen

(4) Öffentlichkeit

- _ Nationale Medien
- _ Wissenschaftsjournalisten

Zur allgemeinen Information wurde eine Website auf Deutsch (www.nfp57.ch), Französisch (www.pnr57.ch) und Englisch (www.nrp57.ch) entwickelt und zu Beginn Forschungsphase aufgeschaltet. Parallel dazu wurde eine allgemeine Broschüre herausgegeben und bei den Zielgruppen breit verteilt. Der Programmstart wurde von einer landesweit veröffentlichten Pressemitteilung durch den SNF begleitet.

Um ein interessiertes Publikum zu informieren und um spezifische Fragen zu behandeln, organisierte der SNF zwei Veranstaltungen zuhanden von Politikern und Bundesbehörden, respektive Industrie, Nichtregierungsorganisationen und Medien. Während des Forschungsprogramms wurden interessierte Personen regelmässig über die Website und den elektronischen Newsletter über Fortschritte im Programm informiert. Ausgewählte Publikationen zu Forschungsprojekten wurden von Medienmitteilungen begleitet. Im Dezember 2010 wurde in Bern ein runder Tisch mit Stakeholdergruppen, die die Forschung im Bereich NIS unterstützen, zur Diskussion von zukünftigen Plänen und Perspektiven organisiert.

Um die Resultate des NFP 57 bekannt zu machen, wird eine Zusammenfassung jedes Forschungsprojekts auf der Website präsentiert und eine Broschüre, die die Ergebnisse und die Bewertung der LG beinhaltet, breit an die Zielgruppen verteilt. Zusätzlich wird der SNF eine nationale Medienkonferenz organisieren, in der die Gesamtergebnisse und einzelne ausgewählte Projekte des NFP 57 vorgestellt werden. Eine öffentliche Veranstaltung zur Diskussion der Ergebnisse mit spezifischen Zielgruppen wird in Bern stattfinden.

3. Synthese der Ergebnisse

Dieses Kapitel beruht auf den Berichten der Projektleiter. Viele Ergebnisse wurden noch nicht in peer-reviewed wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert. Kapitel 4 bis 6 beinhalten die Bewertungen der Ergebnisse und deren Bedeutung durch die Leitungsgruppe.

3.1 Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung

Bestimmung der Belastung des Fötus durch elektromagnetische Felder in unkontrollierter Umgebung

PI: Dr. Nicolas Chavannes/ Dr. Andreas Christ, IT'IS Foundation for Research on Information Technology in Society, Zürich

Dieses Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der Quantifizierung von elektromagnetischen Feldern und deren spezifischen Absorption in Geweben der Mutter und des ungeborenen Kindes, in verschiedenen Schwangerschaftsstadien und unter alltäglichen Expositionssituationen. Derartige Expositionsbewertungen sind essentiell zur Überprüfung der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten, insbesondere auch, weil bis heute der Schwangerschaft keine besondere Aufmerksamkeit im Hinblick auf Expositionsgrenzwerte geschenkt wurde. Nur wenige Daten existieren im Zusammenhang mit der Exposition von Föten aus nahen Quellen.

Die Absorption wurde durch mathematische Modelle und numerische Techniken simuliert. Zu diesem Zweck wurden für drei Schwangerschaftsstadien (Monate 3, 7 und 9) detaillierte Computermodelle zur Anatomie der Frau entwickelt. Im Vergleich zu existierenden Modellen, die in anderen Studien verwendet wurden, können die Modelle, welche im Rahmen dieses Projektes entwickelt wurden, als die detailliertesten und genauesten angesehen werden. Bilddatensätze zur Entwicklung von anatomischen Modellen schwangerer Frauen werden üblicherweise aus verschiedenen Quellen zusammengestellt, da normalerweise aus ethischen Gründen keine Ganzkörperscans gemacht werden können. In neueren Studien wurde bis heute ein Dutzend Modelle von schwangeren Frauen beschrieben. Im Vergleich dazu sind die Modelle, welche im Rahmen des NFP 57 entwickelt wurden, in mehrfacher Hinsicht von überlegener Qualität. Beispielsweise unterscheiden die Modelle etwa 80 verschiedene Gewebetypen der Mutter und bis zu 17 Gewebe des Fötus (z.B. Knochen, subkutanes Gewebe oder Haut). Die elektrischen Charakteristiken dieser Gewebe sind in einer entsprechenden Datenbank verfügbar und sind auch publiziert worden. Dadurch wird eine realistischere Wiedergabe von Feld- und Stromverteilung in Simulationen ermöglicht.

Mit diesen Modellen wurde anschliessend die Exposition durch repräsentative, alltägliche elektromagnetische Felder simuliert. Getestet wurde die Exposition sowohl durch entfernte Feldquellen wie elektronische Warenüberwachungssysteme mit unterschiedlichen operationellen Frequenzbereichen, als auch durch Induktionskochherde oder durch Mobilfunkgeräte nahe am Bauch der Mutter. Ziel war die Charakterisierung der Exposition von Mutter und Fötus mithilfe einer grossen Anzahl von numerischen Simulationen für verschiedene Expositionslagen einerseits und mithilfe der Evaluierung von induzierten Strömen und spezifischen Absorptionsraten und Temperaturanstiegen andererseits.

Bei Frequenzen über 100 kHz werden die Basisgrenzwerte der Sicherheitsnormen durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) definiert. Die SAR ist eine Messgrösse für die elektromagnetische Kraft, welche durch das Gewebe des Körpers absorbiert wird; sie hängt deshalb mit der Erwärmung des Gewebes zusammen. Grenzwerte für die höchste lokale Exposition und die spezifische Absorptionsrate für den ganzen Körper werden für diese Frequenzen definiert. Bei Frequenzen unter 10 MHz können im Körper induzierte Ströme Nerven anregen; Grenzwerte liegen unterhalb dieser Schwelle und sind als durchschnittliche Stromdichte über einen kleinen Gewebequerschnitt festgelegt. Da solche Werte unter wirklichkeitsnahen Expositionsbedingungen nur schwer gemessen werden können, definieren die Richtlinien zu EMF Exposition Referenz- oder Grenzwerte als Feldstärke ohne Gegenwart einer exponierten Person. Solche Referenzwerte wurden mithilfe von vereinfachten mathematischen Modellen des durchschnittlichen menschlichen Körpers erhalten, mit dem Ziel einer konservativen Beurteilung. Z.B. sollten, wenn Referenzwerte eingehalten werden, auch die Grenzwerte immer eingehalten sein. Sonst müssten besondere Massnahmen ergriffen werden, um sicherzustellen, dass die Grenzwerte ebenfalls eingehalten werden. Für die Allgemeinheit und für berufliche Exposition wurden unterschiedliche Grenzwerte definiert.

Die wichtigsten Resultate zeigen, dass für Felder welche am Ort des Fötus mit den Referenzwerten für die Allgemeinheit konform sind, auch die Basisgrenzwerte in allen untersuchten Fällen eingehalten werden. Basierend auf den vorliegenden Resultaten kann diese Aussage jedoch als Folge von kleinen Sicherheitsmargen nicht verallgemeinert werden. Weitere Forschung ist notwendig, um die bestehenden Unsicherheiten besser zu verstehen. Wird die werdende Mutter dagegen maximalen Arbeitsplatzexpositionswerten (welche höher liegen als die Referenzwerte für die Allgemeinheit) ausgesetzt, kann die Exposition des Fötus über den Basisgrenzwerten für die Allgemeinheit liegen. Folglich sollten schwangere Frauen bei der Formulierung von Produktstandards speziell in Betracht gezogen werden. Einige Produktstandards müssen revidiert werden, da sie Expositionen zulassen, welche um einen Faktor 10 über den Grenzwerten liegen.

Eine grosse Anzahl von Studien untersuchte die Ganzkörperexposition von Mutter und Kind durch ferne Quellen. Derartige Publikationen kommen oft zur Schlussfolgerung, dass das ungeborene Kind durch die Mutter genügend geschützt ist und die Basisgrenzwerte folglich bei Einhaltung der Referenzwerte für die Allgemeinheit nicht verletzt werden. Trotz der grossen Unterschiede in den verwendeten Modellen stimmen die Resultate der Studien in ihrer Grössenordnung überein. Sie stehen auch in guter bis befriedigender Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Studie. Wenige Daten sind bis heute über Exposition aus nahen Quellen publiziert worden; im Allgemeinen sind die verfügbaren Resultate aber in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieses Projektes. Ein direkter Vergleich wird jedoch durch die unterschiedlichen Anatomien, welche verwendet wurden, und durch die kleinere Distanz zwischen Zielgewebe und Quelle erschwert.

Kumulative Exposition des zentralen Nervensystems im Zeit und Frequenzbereich

PI: Prof. Dr. Niels Kuster/ Dr. Sven Kuehn, IT'IS Foundation for Research on Information Technology in Society, Zürich

Die Exposition der Allgemeinheit zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF EMF) hat während der letzten 20 Jahre dramatisch zugenommen. Dies ist insbesondere der Fall für maximale im menschlichen Hirn induzierte HF EMF. Das Gehirn wurde als ein primäres Organ klassiert, das möglicherweise empfindlich auf solche Felder ist und auch darunter leiden mag, besonders während der Entwicklung. Nur wenig ist jedoch über die tatsächlichen Stärken der EMF bekannt, welche im menschlichen Gehirn und seinen funktionalen Unterregionen durch HF Quellen induziert werden.

Ziel dieses Projekts war, eine Grundlage zur Bestimmung der kumulierten Exposition des zentralen Nervensystems (ZNS) gegenüber HF EMF von den in unserer Gesellschaft wichtigsten nahen und fernen Quellen zu etablieren. Umfassende Information über die Exposition des ZNS ist notwendig zum Erstellen einer aussagekräftigen Expositionsmatrix für epidemiologische Studien und für eine verbesserte Expositionsplanung für zukünftige Projekte über negative Gesundheitsfolgen auf das ZNS. Das Projekt musste auch experimentelle Resultate über Auswirkungen auf das ZNS angemessen gewichten. Das Projekt sollte zudem zuständige Gremien mit einer Grundlage zur Expositionsabschätzung versorgen und, falls notwendig, auch zur Entwicklung von brauchbaren Empfehlungen zur Expositionsreduktion der Allgemeinheit beitragen. Darüber hinaus mag Information über die Exposition des ZNS zur Identifikation von Lücken in gültigen Produktstandards zur Überprüfung der Einhaltung von EMF Grenzwerten beitragen.

Die Studie deckte das Frequenzspektrum von 30 MHz bis 6 GHz ab und umfasst damit aktuelle und absehbare zukünftige Geräte und Quellen wie mobile und schnurlose Telefone, Mobilfunkantennen, elektronische Kinderüberwachungssysteme oder W-LAN und Freisprecheinrichtungen. Für eine realistische Einschätzung der Exposition mit HF EMF im Zeitverlauf wurden weitere Faktoren in Betracht gezogen; beispielsweise die Art der Kommunikationstechnologie, das Nutzerverhalten (z.B. Einfluss der Hand, welche ein Telefon hält) oder die Umwelt (z.B. Fahrt im Auto). Da die Allgemeinheit nicht gleichmässig gegenüber HF EMF exponiert ist, unterschied die Studie zwischen verschiedenen Benutzertypen, wie Nichtnutzer oder intensive Nutzer von Mobiltelefonen.

Die Geräte wurden in zwei Kategorien aufgeteilt: Nahe Quellen, welche direkt am menschlichen Kopf verwendet werden (z.B. Mobiltelefone) und ferne Quellen, welche in grösserer Distanz zum menschlichen Körper verwendet werden. Da es nicht möglich ist, EMF, welche im menschlichen Kopf und Körper induziert werden, direkt zu messen, wurden die Felder aus fernen Quellen im freien Raum gemessen.

Aus nahen Quellen induzierte Felder oder die spezifische Absorptionsrate (SAR) wurden dagegen in Phantomen gemessen, welche die elektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers abbildeten. Felder und die SAR, welche in den einheitlichen Phantomen induziert wurden, wurden durch Schätzungsfaktoren, welche mithilfe von Simulationstools erhalten wurden, in einen Bezug zu der SAR in verschiedenen Geweben und Hirnregionen der anatomischen Modelle von Menschen gesetzt. Anatomische Modelle wurden ursprünglich mithilfe von Magnetresonanzbildern von gesunden Freiwilligen erstellt. Eine Vielfalt von menschlichen Modellen beider Geschlechter, vom Kind bis zum Erwachsenen, wurde berücksichtigt. Schwankungen der SAR entstanden durch die unterschiedliche Anatomie der verschiedenen menschlichen Modelle. Zur Bestimmung der SAR in den funktionellen Untergruppen des Gehirns, welche nicht anatomisch unterschieden werden können, wurde ein Hilfsmittel entwickelt.

Die HF EMF Exposition der unterschiedlichen Gewebe des menschlichen Körpers und der verschiedenen Hirnregionen wurde mithilfe der entwickelten Werkzeuge abgeschätzt. Das Modell wurde zum Vergleich der Exposition von verschiedenen Quellen verwendet, insbesondere in den empfindlichen Hirnregionen. Dies wurde durch die Entwicklung von Transformationen verschiedener Arten von EMF Quellen zu induzierter regionspezifischer SAR erreicht. Diese Transformationen wurden dann benutzt, um zu zeigen, wie verschiedene Quellen zur Gesamtexposition beitragen und welchen Einfluss Faktoren wie Dauer und Modulierung von Nutzung resp. Exposition haben.

Grosse Unterschiede zwischen Expositionsquellen wurden gefunden. Die Studie zeigt, dass Mobiltelefone die stärkste Quelle für die Exposition des Gehirns gegenüber EMF ist. Die Exposition wird durch das Benutzerverhalten und die Wahl des Telefons beeinflusst. Wichtige Faktoren sind zum Beispiel die Bauart des Telefons, der Gebrauch von Freisprecheinrichtungen (die Exposition ist bei Gebrauch von Freisprecheinrichtungen mehr als 10-fach verringert) oder die Wahl von Telefonen, welche auch UMTS oder nur GSM (UMTS reduziert die durchschnittliche Exposition um mehr als das 100-fache) unterstützen. Die Unterschiede zwischen UMTS und GSM werden durch eine hocheffiziente Leistungssteuerung und Kodierung verursacht, welche die Output-Leistung auf ein Mindestmass reduziert. Im Vergleich zu einem UMTS-Telefon könnte ein drahtloses Telefon, welches innerhalb des Hauses verwendet wird, eine höhere Hirnexposition verursachen.

Die Studie zeigt auch, dass eine mehr als 1000-fache Variabilität im Hinblick auf die Exposition unterschiedlicher Hirnregionen durch verschiedene Mobiltelefone existiert. Um diese Erkenntnisse der Allgemeinheit und staatlichen Stellen zugänglich zu machen, wurden die Forschungsergebnisse in das am weitesten verbreitete Messverfahren für SAR integriert. Jedes Telefon kann nun im Hinblick auf hirnregionsspezifische Exposition charakterisiert werden. Im Vergleich zu den weit verbreiteten SAR Werten stellt dies eine viel bessere Expositionsabschätzung dar.

Ferne oder quasi-ferne Quellen führen zu wesentlich tieferer Exposition des Gehirns. Hausstationen (z.B. für schnurlose Telefone oder W-LAN) führen im Durchschnitt zu SAR Werten in derselben Größenordnung wie Mobilfunkantennen im Freien.

Vor Beginn dieses NFP 57 Projektes fehlten viele Parameter und Methoden zur Durchführung dosimetrischer Messungen. Eine Haupterrungenschaft des Projektes war, einen dosimetrischen Zusammenhang zwischen den verschiedenen hochfrequenten elektromagnetischen Quellen herzustellen. In der durchgeführten Arbeit wurden Grundlagen zur Evaluation der Exposition durch heutige Mobiltelefone in echten Netzen in Stadt und Land etabliert und damit auch der Stand der Wissenschaft vorangebracht. Die Untersuchung des Leistungssteuerungsverhaltens in echten Netzwerken ist besonders wichtig, da die statistische Evaluation bestehender Testdaten über das Einhalten von Grenzwerten durch Mobiltelefone gezeigt hat, dass die zu erwartende Exposition am stärksten vom Kommunikationsverfahren selbst abhängt. Im Weiteren wurde eine Methode zur Ableitung von gewebe- und hirnregionsspezifischer SAR von Feldern entwickelt. Dieses Modell wird zur Abschätzung von SAR aus fernen und quasi-fernen Quellen nützlich sein. Dies ist für Dosisabschätzungen in epidemiologischen Studien von besonderer Bedeutung, da die Allgemeinheit, als Folge der steigenden Anzahl von Mobiltelefonnetzwerken und drahtlosen Geräten, beinahe dauernd tiefdosierte EMF ausgesetzt ist.

Mikroskopische Untersuchungen von Zellen während der Exposition durch elektromagnetische Felder

PI: Dr. Andreas Christ/ Dr. Miles Capstick, IT'IS Foundation for Research on Information Technology in Society, Zürich

Zum Studium der biologischen Auswirkungen der Exposition von Zellkulturen zu ENF Magnetfeldern, müssen gut charakterisierte, einheitliche Expositionsbedingungen etabliert werden, damit das Experiment ungestört durchgeführt werden kann. Der gängigste Ansatz dazu besteht darin, Zellen für eine definierte Zeit unter definierten Bedingungen zu bestrahlen. Eine bemerkenswerte Vielfalt von *in vitro* Installationen wurde bis heute dafür verwendet. Normalerweise wird die Reaktion der Zellen nach der Exposition mithilfe von zellspezifischen Parametern analysiert. Derartige Experimente zeigten verschiedene biologische Endpunkte, welche von keinen Veränderungen bis zu erhöhten DNS-Strangbrüchen reichen. Dieser Ansatz kann zu Ergebnissen führen im Hinblick auf die Gesamtveränderungen, welche durch MF Exposition ausgelöst werden. Falls jedoch Auswirkungen beobachtet werden, bleibt der genaue Mechanismus, der für die Veränderung verantwortlich ist, unbekannt, da vorübergehende Zellreaktionen während der Exposition nicht beobachtet werden können. Deshalb fehlt spezifische Information über zelluläre Reaktionen auf Stimulierung durch MF oder über Signalwege, welche für die beobachteten Veränderungen verantwortlich sind. Darüber hinaus ist für biologische Experimente ein Messsystem, welches nur die Möglichkeit der Exposition von Zellen zu MF bietet, nicht angemessen, wenn die erwarteten Veränderungen äusserst subtil sind und die Unterschiede zwischen exponierten und nicht-exponierten Zellen gering sind. Ein computergesteuertes System zur Etablierung und laufenden Messung und Aufzeichnung von Expositionswerten und anderen relevanten Parametern während des Experimentes war notwendig.

Das Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines Instrumentes, das die direkte Beobachtung von zellulären Reaktionen auf MF erlaubt. Ein solches System würde die Untersuchung der Mechanismen, welche an Reaktionen wie DNS-Strangbrüchen beteiligt sind, erlauben. Das Instrument wäre ein hocheffizientes Werkzeug zum Studium möglicher nicht-thermischer Interaktionsmechanismen und der gleichzeitigen Durchführung von Mikromanipulationen ohne Störung des Mikroskopsystems. Präziser ausgedrückt war das Ziel des Projektes die Entwicklung eines miniaturisierten ENF Expositionssystems, welches in ein Mikroskop integriert werden kann und die dauernde Beobachtung von Zellen ebenso erlaubt, wie auch die Anwendung anderer moderner Mikroskopietechniken (konfokale Laserscan- oder Fluoreszenzmikroskopie). Zusätzlich zur Systementwicklung selbst, wurden zur ständigen Verfolgung der Expositionsbedingungen während des Experimentes auch numerische und experimentelle Werkzeuge wie Nahfeldabtastung und rasche Temperatursonden benötigt. Diese Anforderungen sind notwendig, um experimentelle Resultate anderer Forschungsgruppen überprüfen zu können

Das resultierende miniaturisierte ENF Expositionssystem erlaubt direkte Beobachtung der Zellantwort auf MF. Damit geht es über die klassische Analyse, welche anschliessend an Experimente erfolgt, hinaus. Es erlaubt flexible Signalanalyse, periodische Expositionsprotokolle und eine Vielfalt von Mikromanipulationen während der Beobachtung lebender Zellen. Das System ist dank automatisierter Kontrolle durch Software einfach zu bedienen, es liefert kontinuierliche Daten über Feldstärke und Zelltemperatur und unterstützt auch Blindstudien. Induktorströme und Kabinentemperaturen werden während des Experimentes kontinuierlich registriert. Temperaturdifferenzen zwischen exponierten und scheinexponierten Zellen werden unter 0.1°C gehalten, mit zeitlicher Variabilität unter $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ bis zu 3mT rms .

Dieses neuentwickelte System wurde auch in einem anderen Projekt des NFP 57 erfolgreich angewendet (*Gentoxische Effekte von nichtionisierender Strahlung*). Die Installation wurde optimiert für einheitliche Magnetfeldexposition und minimale nichtmagnetische Felddifferenzen zwischen Exposition und Scheinexposition (Kontrolle).

3.2 Modul 2: 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

PI: Prof. Dr. P. Achermann, Universität Zürich

Eine wachsende Zahl von Befunden zeigt, dass HF EMF, wie sie z.B. durch Mobiltelefone ausgestrahlt werden, physiologische Prozesse im Gehirn beeinflussen können. Veränderungen der Hirnfunktion werden gewöhnlich untersucht durch Beobachtung von HF EMF induzierten EEG-Veränderungen oder durch Veränderungen der kognitiven Funktion, wie beispielsweise Aufmerksamkeit oder Gedächtnis. Darüber hinaus wurden bildgebende Untersuchungen durchgeführt, um mögliche Veränderungen des regionalen Blutflusses im Gehirn zu untersuchen.

Eine beträchtliche Forschungsaktivität konzentrierte sich in den letzten Jahren auf Kurzzeit-Effekte von HF EMF Exposition auf die menschliche Schlafphysiologie. Veränderungen der elektrischen Hirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf sind derzeit die konsistentesten Befunde. Die spektrale Leistungsdichte des EEG im sogenannten Alpha Band (8-12 Hz) und im Frequenzbereich der Schlafspindeln (12-15 Hz) sind die zwei Variablen, welche im Wachzustand respektive im Schlaf in verschiedenen Studien in gleicher Art verändert wurden. Im Weiteren scheint die Pulsmodulation des Feldes essentiell für die Induktion einer Veränderung zu sein. Im Unterschied zu den Auswirkungen auf das EEG sind Veränderungen der kognitiven Leistung nicht konsistent. Frühere Studien fanden eine Verbesserung der Leistung wie verkürzte Reaktionszeiten oder verbesserte Genauigkeit in den Leistungstests; dagegen fanden neuere Studien eine Beeinträchtigung der mentalen Fähigkeiten oder überhaupt keine Veränderung.

Der genaue Wirkungsort von HF EMF im Gehirn ist immer noch unbekannt. Die Tatsache, dass sowohl unilaterale als auch bilaterale Kopfexposition zu EEG-Veränderungen führte, deutet darauf hin, dass die empfindlichen Bereiche tief im Hirn liegen könnten.

Zur Untersuchung der Mechanismen, welche an HF EMF induzierten Veränderungen beteiligt sind, wurden drei Unterprojekte durchgeführt. Das erste Unterprojekt hatte zum Ziel abzuklären, welche Komponenten der niederfrequenten Modulation von HF EMF, welche durch Mobiltelefone erzeugt werden, für die biologischen Veränderungen verantwortlich sind. Es wurde vermutet, dass Frequenzkomponenten im Frequenzbereich von Spindeln hier eine zentrale Rolle spielen könnten. In einem ersten Experiment wurden Pulsmodulationskomponenten von 14 Hz (Spindelfrequenzbereich), von 217 Hz, der stärksten Komponente des Signal des ‚Global System for Mobile Communications‘ (GSM) und eine Scheinexposition (kein Feld) verwendet. In einem Folgeexperiment beinhalteten die Expositionsbedingungen 2 Hz pulsmodulierte HF EMF, ein 2 Hz gepulstes Magnetfeld und eine Scheinexposition als Kontrolle. Diese Behandlung sollte die Frage beantworten, ob die tiefmodulierten Komponenten alleine ausreichen, um einen biologischen Effekt zu erzielen oder ob die Kombination mit HF EMF notwendig ist.

In einem zweiten Unterprojekt wurde untersucht, ob der Thalamus, eine subkortikale Hirnstruktur, welche eine Rolle in der Schlafsteuerung spielt, für Auswirkungen von HF EMF auf das Schlaf-EEG wichtig ist. Es wurde vermutet, dass eine relativ starke Exposition des Thalamus (vergleichbar zu vielen früheren Studien) zu einer erhöhten spektralen Leistungsdichte des EEG führen würde, wogegen eine oberflächliche Hirnexposition, welche vor allem die Grosshirnrinde betrifft, diesen Effekt kaum oder gar nicht bewirken würde oder dann zu Veränderungen, welche vor allem eine Hemisphäre betreffen, führen könnte. Die Expositionsbedingungen beinhalteten ein GSM-mobiltelefonähnliches Signal mit Trägerfrequenzen von 900 MHz (subkortikale oder Thalamusexposition) und ein Signal mit Trägerfrequenzen von 2140 Hz (oberflächliche Exposition resp. ‚Nicht-Exposition‘ des Thalamus) sowie eine Scheinexpositionskontrolle.

An beiden Unterprojekten waren 24 bis 30 gesunde junge Männer beteiligt. Die Studien folgten demselben Protokoll und bestanden aus drei Sitzungen von zwei Nächten, welche jeweils durch eine Woche getrennt waren. Jede Sitzung bestand aus einer Anpassungsnacht, welcher die Experimentnacht folgte. Die Anpassungsnacht diente dazu, die Probanden mit der EEG Prozedur und der Laborumgebung bekannt zu machen. Während der Experimentnacht wurden die Probanden für 30 min entweder einem Feld oder einer Scheinexposition (Kontrolle) ausgesetzt. Anschliessend wurde der Schlaf während 8 h registriert. Die Probanden führten während der Exposition auch eine Reihe von Reaktionszeits- und Arbeitsgedächtnisaufgaben durch.

Das dritte Unterprojekt sollte die Auswirkungen von HF EMF auf die kognitive Leistung und das Wach-EEG im frühen Jugendalter untersuchen. Mobiltelefone sind eine Hauptursache der HF EMF Exposition bei Teenagern. In der WHO EMF Forschungsagenda 2006/2010 wurde die Untersuchung von EMF-induzierten Veränderungen von Kognition und EEG bei Kindern als prioritäres Forschungsgebiet identifiziert. Kinder beginnen im frühen Jugendalter (11-13 Jahre) Mobiltelefone intensiv zu nutzen und es gibt Bedenken, dass sie besonders empfindlich auf HF EMF sein könnten, da die Reifung des Gehirns noch nicht abgeschlossen ist. Eine Reihe von früheren Studien mit gesunden jungen Erwachsenen zeigte eine Zunahme der spektralen Leistungsdichte des EEG im Alpha-Frequenzbereich während oder nach HF EMF Exposition. Es gibt jedoch sehr wenig Daten über Vorkommen und/oder Intensität dieses Effekts bei Kindern. Um herauszufinden, ob die Alpha-Aktivität des Wach-EEG in einer dosisabhängigen Weise beeinflusst wird, wurden 23 Jugendliche (11-13 Jahre alt) einem GSM-mobiltelefon-ähnlichen Signal mit Trägerfrequenzen von 900 MHz bei 1.4 W/kg und 0.35 W/kg oder einer Scheinexposition (Kontrolle) ausgesetzt. Es wurden drei Sitzungen in wöchentlichen Abständen durchgeführt. Die Exposition erfolgte für alle Probanden jeweils zur gleichen Tageszeit. Während der 30 minütigen Exposition führten die Jugendlichen jeweils eine Serie von Reaktions- und Gedächtnistests durch. Zusätzlich zu einer Basislinienbestimmung vor der Exposition wurde unmittelbar nach der Exposition und nochmals 30 und 60 Minuten später ein Wach-EEG (2 min mit geschlossene Augen gefolgt von 3 min mit geöffneten Augen) bestimmt.

Die 2-Hz und 14-Hz pulsmodierte Exposition zu HF EMF bewirkte eine Zunahme der spektralen Leistungsdichte des Schlaf-EEG im Frequenzbereich von Schlafspindeln. Andererseits induzierte ein 2 Hz gepulstes Magnetfeld ohne den HF EMF Teil diesen Effekt nicht. Diese Resultate zeigen gemeinsam mit früheren Ergebnissen, dass weder die Pulse, noch die HF EMF Trägerfrequenz für sich alleine genommen die typischen Veränderungen im Schlaf-EEG bewirken, welche für pulsmodierte HF EMF Exposition wiederholt beobachtet worden waren. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass pulsmodierte Komponenten im physiologischen Frequenzbereich (2 Hz und 14 Hz) für induzierte EEG Veränderungen wesentlich sein können. Obschon pulsmodierte HF Expositionen bei 14 Hz und 2 Hz beide zu signifikanten Erhöhungen der spektralen Leistungsdichte im Schlaf-EEG führten, wurde auch eine kleine aber nicht signifikante Zunahme nach pulsmodulierter Exposition bei 217 Hz beobachtet. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Spezifität der Pulsmodulation nicht den wichtigsten Faktor darstellt, da mehrere unterschiedliche Pulsmodulationsfrequenzen während des Schlafes eine Veränderung im Spindelfrequenzbereich bewirkten. Im Hinblick auf die kognitive Leistung (erste Studie) war die Reaktionsgeschwindigkeit unter Expositionsbedingungen tendenziell tiefer als unter Kontrollbedingungen. Dagegen wurde die Präzision der Leistung nicht beeinflusst.

Die Ergebnisse des zweiten Unterprojekts zeigten, dass einseitige Exposition zu HF EMF einen Anstieg der Spindelfrequenzen in beiden Hemisphären trotz der beschränkten Tiefenwirkung der Strahlung bewirkt. Subkortikale Hirnstrukturen wie der Thalamus scheinen also nicht der primäre Wirkungsort zu sein, welcher die EEG Veränderungen auslöst. Die HF EMF induzierte Zunahme der Leistung im Spindelfrequenzbereich könnte andererseits durch eine indirekte Wirkung auf den Thalamus und/oder durch eine Auswirkung auf die Grosshirnrinde verursacht werden. Der zeitliche Verlauf dieser Veränderungen wies über die Studien hinweg eine gewisse Variabilität auf: Der Effekt wurde entweder während der ganzen Schlafperiode beobachtet (2 Hz Pulsmodulation), nahm während des Schlafes zu (subkortikale oder oberflächliche Exposition) oder wurde nur zu spezifischen Zeitpunkten (14 Hz Pulsmodulation) beobachtet. Unterschiedliche Expositionsbedingungen könnten eine Erklärung für diese Variabilität darstellen. Die Schlafarchitektur wurde durch keine der Expositionsmanipulationen beeinflusst, was eine Bestätigung früherer Ergebnisse darstellt: EEG Veränderungen gehen nicht mit Veränderungen in Architektur oder Qualität des Schlafes einher.

Die Resultate des dritten Unterprojektes werden gegenwärtig analysiert.

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

PI: PD Dr. M. Wolf, Universitätsspital Zürich

Das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ist die dritte Generation (3G) der Mobilfunktechnologie und der neue verbreitete Standard der Mobilkommunikation. Die meisten bis jetzt durchgeführten Untersuchungen verwendeten in den Experimenten ein GSM Signal der zweiten Generation (2G). Nur sehr wenige Studien untersuchten potentielle Effekte von UMTS auf die Physiologie des menschlichen Gehirns.

Die Unsicherheit über allfällige Auswirkungen von UMTS HF EMF, zusammen genommen mit der rasch fortschreitenden Einführung, bewirkt Besorgnis in der Öffentlichkeit vieler Länder. Eine Reihe neuerer Untersuchungen, welche bildgebende Verfahren wie Positronen-Emissions-Tomographie (PET) verwenden, deutet darauf hin, dass eine Zunahme des regionalen Blutflusses im Gehirn nach GSM HF EMF Exposition wahrscheinlich ist, wogegen keine Veränderung mit UMTS EMF beobachtet wurde. Nahinfrarot-Imaging (NIRI), manchmal auch Nahinfrarotspektroskopie (NIRS), Diffuses Optical Imaging (DOI) oder Optical Topography (OT) genannt, ist eine weitere empfindliche nicht-invasive Methode zur bildlichen Erfassung von Funktion, Durchblutung und Sauerstoffkonzentration im Gehirn. Die Technik verwendet unsichtbares, nahinfrarotes Licht (~ 650 nm – 1000 nm im elektromagnetischen Spektrum) und besteht aus einer Quelle und einem hochempfindlichen Lichtempfänger. Das Licht dringt tief in das biologische Gewebe ein und wird durch oxygeniertes [O₂Hb] und nicht oxygeniertes [HHb] Hämoglobin absorbiert. Die Hirnaktivierung kann aus hämodynamischen Mustern abgeleitet werden, da neuronale Entladungsraten eng mit Volumen und Durchblutung des Gehirns zusammenhängen. Weitere Veränderungen, die einen Einfluss auf die Blutzirkulation haben mögen, werden auch erfasst.

Die NIRI Technik wurde für dieses Projekt angepasst, damit sowohl kurzfristige (innerhalb 80 s) als auch mittelfristige (80 s bis 30 min) Veränderungen von Durchblutung und Sauerstoffkonzentration (d.h. die Menge Blut, welche Sauerstoff transportiert) im Gehirn als Folge von UMTS HF EMF Exposition (mit einer für Mobiltelefone typischen Leistung) erfasst werden können. Ein Standard NIRI Instrument wurde durch neue faseroptische Sensoren und Abschirmung EMF-unempfindlich gemacht. Jeder Teilnehmer durchlief drei verschiedene Expositionsbedingungen (jeweils 0.18 W/kg und 1.8 W/kg bei einer Trägerfrequenz von 1.9 GHz und eine Scheinexpositionskontrolle) an drei verschiedenen Tagen. An einem vierten Tag wurde das Gehirn zusätzlich durch Fingerklopfen stimuliert, um potentielle Auswirkungen von UMTS HF EMF auf diese Hirnaktivierung zu vergleichen. Eine Messung bestand aus 16 Zyklen: Expositions/Stimulations Segmente, (20 s) UMTS HF EMF Exposition (ON) oder Fingerklopfen alternierten mit 60 s Erholung (OFF). Eine Messung dauerte 31 min, wobei Gesamthämoglobinkonzentration, Herzfrequenz, subjektives Wohlbefinden, Müdigkeit und Zählleistung festgehalten wurden.

Die Daten zeigten einen kurzfristigen signifikanten Anstieg der Oxy- und Gesamthämoglobinkonzentration während der Exposition zu 0.18 W/kg. Eine Abnahme der Deoxyhämoglobinkonzentration im Bereich der physiologischen Schwankungen wurde bei Expositionen von 0.18 W/kg und 1.8 W/kg gefunden. Auch war die mittelfristige Herzfrequenz bei Expositionen von 1.8 W/kg signifikant höher als bei Scheinexpositionskontrollen. Keine weiteren Variablen wurden beeinflusst.

Die Untersuchung zeigte, dass zeitweilige Exposition zu UMTS HF EMF Hirndurchblutung und Herzfrequenz beeinflussen kann. Kurzfristige Veränderungen waren kleiner als diejenigen, welche während normaler funktioneller Aktivierung beobachtet wurden, und mittelfristige Veränderungen bewegten sich im Rahmen der physiologischen Schwankungen. Kurzfristige Veränderungen wurden nur bei der tieferen Intensität gemessen, was gegen Temperatureffekte als Ursache spricht. Mittelfristige Effekte könnten die Folge eines verminderten Sauerstoffverbrauchs sein. Obwohl eine Veränderung der Herzfrequenz beobachtet wurde, deuten die widersprüchlichen Ergebnisse in der Literatur darauf hin, dass weitere bestätigende Untersuchungen angezeigt sind.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Untersuchung, dass UMTS HF EMF Oxygenierung und Hirndurchblutung beeinflussen kann. Die verwendeten Feldstärken entsprachen denjenigen von Mobiltelefonen, während die Modulation derjenigen von Mobilfunkantennen entsprach. In zukünftigen Untersuchungen sollte die Modulation derjenigen von Mobiltelefonen entsprechen, um die Exposition durch Mobiltelefone genauer zu simulieren.

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

PI: Prof. Dr. M. Rösli, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel

Die Umweltexposition zu HF EMF hat während der letzten wenigen Jahrzehnte substantiell zugenommen, was zu Besorgnis über mögliche Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Technologien wie drahtlose oder Mobiltelefone, W-LAN oder Rundfunksendeanlagen geführt hat. Die meisten Bedenken betreffen eine gesundheitlich beeinträchtigte Lebensqualität als Folge von Langzeitexposition

zu HF EMF in der täglichen Umgebung. Kurzfristige Effekte von HF EMF sind in randomisierten Doppelblindstudien mit Freiwilligen in Laborumgebungen untersucht worden. Langfristige Auswirkungen müssen dagegen mittels beobachtenden Studien angegangen werden. Bislang wurden epidemiologische Untersuchungen meist als Querschnittstudien durchgeführt, was bedeutet, dass Exposition und Gesundheit zur gleichen Zeit bestimmt wurden. Das führt zu einer Limitierung von ursächlicher Interpretation. Weil keine zuverlässigen Methoden zur Expositionsbestimmung vorhanden waren, verliessen sich mehrere Studien auf selbstberichtete Expositionsdaten oder Abstand zwischen Wohnort und der nahegelegensten Sendeanlage. Derartige Expositionsbestimmungen sind fehlerhaft. Tragbare Strahlungsmessgeräte („Exposimeter“) erlauben nun genauere Messungen der individuellen Exposition. Mehrere Studien haben die Anwendbarkeit von Exposimetermessungen in Bevölkerungsstichproben gezeigt.

Ziel des NFP Projektes war die Charakterisierung der HF EMF Expositionsverteilung einer Bevölkerungsstichprobe, die Entwicklung und Validierung einer Expositionsabschätzungsmethode und die Abklärung eines Zusammenhangs zwischen HF EMF Exposition und Gesundheitsstörungen mittels eines Kohortendesigns. Es sollte untersucht werden, ob alltägliche Exposition zu HF EMF Gesundheitsstörungen wie Kopfschmerzen, Konzentrationsschwierigkeiten oder Schlafstörungen führt.

In einem ersten Teil wurde die individuelle Exposition zu typischen HF EMF Quellen mithilfe eines tragbaren Exposimeters bei 166 Probanden während einer Woche bestimmt. Die Exposition gegenüber stationären Sendern am Wohnort wurde mit Hilfe eines geographisch-räumlichen Computermodells simuliert, welches genaue Parameter aller stationären Sender der Region enthielt. Diese Daten wurden benutzt, um die alltägliche Umweltexposition von 1375 Personen, welche an der Basislinienbestimmung teilnahmen, gegenüber HF EMF im Frequenzbereich von 88-2500 MHz vorauszusagen. 1122 Personen aus dieser Gruppe nahmen nach einem Jahr an einer Folgestudie teil. Die Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit des geographisch-räumlichen Verbreitungsmodells und auch des prädiktiven Expositionsbewertungsmodells wurden früher gezeigt. Zusätzlich wurden Daten über die Mobilfunkbenutzung von den Mobilfunkfirmen, welche alle ein- und abgehenden Anrufe der letzten sechs Monate abdeckten, verwendet.

Da die Latenzzeit für potentielle Gesundheitseffekte unbekannt war und bisher auch keine biologischen Wirkungsmechanismen etabliert worden sind, wurden verschiedene Analysen durchgeführt. Zusätzlich zu Querschnittsanalysen wurde auch eine Längsschnittanalyse durchgeführt, um zu bestimmen, ob Basislinienexposition nach einem Jahr zu einer Veränderung des Gesundheitszustands führt. Auch wurde evaluiert, ob ein Wechsel in der Expositionssituation zwischen Basislinienbestimmung und Folgeuntersuchung mit einer entsprechenden Veränderung des Gesundheitsstatus einherging.

Im Rahmen einer verschachtelten Unterstudie wurde das Schlafverhalten von 120 Probanden während zweier Wochen durch Handgelenk-Aktimeter-Geräte (Bewegungsmessung während des Schlafes) festgehalten. Das Schlafverhalten wurde mit der HF EMF Expositionssituation im Schlafraum verglichen.

Insgesamt ergaben sich keine Hinweise, dass die heutige HF EMF Expositionssituation in der Schweiz zu Gesundheitsstörungen führt. Messungen ergaben eine durchschnittliche Exposition von 0.21 V/m, was weit unter dem Grenzwert liegt. Bei 131 Teilnehmern, welche die Allgemeinheit repräsentierten, wurde die HF EMF Umweltexposition aus entfernten Quellen vorwiegend durch die Mobiltelefone anderer Personen (39%), drahtlose Telefonsysteme (24%, ohne Nutzung des eigenen Telefons) und Mobilfunkantennen (22%) verursacht. Die Umweltexposition gegenüber HF EMF zu Beginn der Studie hatte keinen Zusammenhang mit Gesundheitsstörungen, die ein Jahr später registriert wurden. Ebenso zeigt eine Zu- oder Abnahme der individuellen HF EMF Exposition innert eines Jahres keinen Zusammenhang mit einer entsprechenden Veränderung der Gesundheitsstörungen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen Aktimetraufzeichnungen während des Schlafes und HF EMF Exposition im Schlafzimmer beobachtet werden.

Mit Bezug auf nahe am Körper liegende Strahlungsquellen gab es keinen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von mobilen oder drahtlosen Telefonen und der gesundheitsverbundenen Lebensqualität. Auch ergab die Studie keinen Hinweis darauf, dass Personen, die sich selbst als sehr empfindlich gegenüber EMF (Elektromagnetische Hypersensibilität; EHS) betrachteten, anfälliger gegenüber HF EMF Exposition waren als nicht EHS-Personen.

Dank der Verwendung eines prospektiven Kohortendesigns anstelle einer Querschnittsstudie, erlaubt diese NFP 57 Studie robustere Schlussfolgerungen in Bezug auf die Analyse des Zusammenhangs zwischen HF EMF Exposition und unspezifischen Symptomen von Gesundheitsstörungen als frühere Studien zu dieser Thematik. Eine umfassende Expositionsbestimmung erfolgte unter Berücksichtigung sowohl von fernen Expositionsquellen als auch von nahe am Körper liegenden Strahlungsquellen und unter Verwendung objektiver Expositionsdaten für beide Fälle. Gleichwohl ist ein gewisses Mass an Unsicherheit für Expositions-messungen und Modellierungen unvermeidlich. Das Expositionsmodell konnte etwa 50% der beobachteten Streuung erklären. Nicht erklärte Abweichungen sollten im Studienkollektiv zufällig verteilt sein. Falsche Klassifizierung von zufälliger Exposition würde jeden tatsächlichen Zusammenhang zwischen Exposition und Wirkung schwächen.

Es sollte berücksichtigt werden, dass frühere epidemiologische Querschnittsstudien mit größeren Expositionsbestimmungen, welche auf selbstberichteten Expositionsdaten beruhten, Gesundheitsveränderungen aufzeigten, während Studien, welche auf objektiven Expositions-messungen beruhten, keine derartigen Veränderungen fanden. Dieses Muster trifft auch auf das vorliegende NFP 57 Projekt zu.

Da die Exposition der Bevölkerung weit unter den Grenzwerten liegt, können keine Schlussfolgerungen über Gesundheitsfolgen von nahe an den Expositions-limiten liegender Strahlungsexposition oder über Gesundheitsfolgen nach mehr als einem Jahr Exposition gezogen werden.

3.3 Modul 3: Zellbiologie

Effekte nichtionisierender Strahlung im Modellorganismus *Caenorhabditis elegans*

PI: Prof. Dr. P. Goloubinoff, Universität Lausanne

Neue Technologien bewirken eine zunehmende Exposition von Organismen gegenüber neuartigen Umweltbedingungen wie EMF, deren biologische Auswirkungen noch kaum verstanden werden. Die verbreitete Nutzung von Mobiltelefonen und die starke Zunahme von entsprechenden Sendeanlagen führen zu Exposition von Lebewesen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF EMF) und zunehmenden Bedenken der Öffentlichkeit über mögliche schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Trotz intensiver Forschung ist es immer noch unklar, was die biologischen Auswirkungen von HF EMF sind und ob entsprechende Exposition im Vergleich zu anderen natürlichen Stressfaktoren wie Hitze, oxidativem Stress, etc schädlich ist.

Lebewesen entwickelten effiziente molekulare Wirkungsmechanismen zur Abwehr von natürlichem Stress aus der Umwelt. Insbesondere können Pflanzen, Bakterien und Tiere unter Hitzestress ein Netzwerk von molekularen Chaperonen ansammeln, welche die Stressschädigung von Proteinen und Membranen verhindern können. In der Biologie sind Chaperone Proteine, die die Funktion haben, die korrekte Faltung anderer Proteine zu unterstützen. Viele Chaperone sind Hitzeschockproteine, die als Antwort auf erhöhte Temperaturen gebildet werden. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass die Auffaltung von Proteinen durch Hitze ernsthaft beeinträchtigt wird; Chaperone wirken der potentiellen Schädigung entgegen. Die meisten Proteine können sich auch in Abwesenheit von Chaperonen korrekt auffalten, eine Minderheit benötigt sie aber dafür.

Mutierte oder alternde Lebewesen, denen Chaperonexpression fehlt oder welche unter einer chronischen Überlastung des Chaperonnetzwerkes leiden, sind gegenüber leichtem Umweltstress besonders empfindlich. HF EMF könnten das Risiko von Fehlfaltungen von Proteinen erhöhen, wie es etwa bei Alzheimer oder der Parkinson'schen Krankheit vorkommt und auch die Zellalterung im Allgemeinen beschleunigen. Folglich könnten biologische Effekte von HF EMF in Lebewesen, bei welchen die Proteinhomöostase gestört ist, leichter identifiziert werden. Die Nematode *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*, ein Rundwurm, der auch als Modellsystem für die Parkinson'sche Krankheit verwendet wird) ist das in Bezug auf Entwicklungs-, Verhaltens- und genetische Biologie am besten erforschte Modellsystem, welches nicht ein Chordatier ist. Das Tier ist etwa 1mm lang und hat eine Lebensdauer von 2-3 Wochen. Sein Genom ist vollständig sequenziert und alle 959 somatischen Zellen seines transparenten Körpers sind unter dem Mikroskop sichtbar. Fluoreszierende Proteine (und Aggregate), die in transgenen Tieren akkumulieren, wenn geeignete Reportergene exprimiert werden, sind deshalb einfach zu verfolgen. Die Nematoden sind im Labor einfach zu halten und

stellen einen guten Kompromiss zwischen Komplexität und Handhabbarkeit dar. Darüber hinaus dauert der Lebenszyklus von *C. elegans* nur ein paar Tage. Viele Generationen können innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne einer bestimmten Behandlung ausgesetzt werden.

Ziel des Projektes war die Identifizierung möglicher biologischer Effekte von HF EMF auf transgene *C. elegans*, welche durch Polyglutaminexpansion markierte Proteine (polyQ Proteine) exprimiert, deren Toxizität mit der Bildung von Proteinaggregaten in Muskelzellen einhergeht. Dies führt zu einer progressiven temperatur- und altersabhängigen Lähmung. Im Weiteren wurde ein Moos als Modellsystem verwendet, welches unter mildem Temperaturstress ein Reporter-gen (HSP-GUS) exprimiert. Im Allgemeinen setzt die Lähmung mit längeren polyQ-Wiederholungen oder zunehmender Temperatur früher ein und ist intensiver. Da von HF EMF sowohl thermische als auch nicht-thermische Auswirkungen auf Organismen erwartet werden können, wurde der Einfluss von Expositionsbedingungen auf die PolyQ35-Nematode unter Bedingungen von strikter Kontrolle der Wachstumstemperatur analysiert. Thermische und mögliche nicht-thermische Auswirkungen von EMF wurden durch die Applikation von verschiedenen Feldern in einer kontinuierlichen oder periodischen Weise unterschieden. Anschliessend an die Exposition wurden die Auswirkungen von Temperatur oder HF EMF bei Nematoden mit Hilfe von Motilitätsassays und bei Moospflanzenextrakten mit Hilfe des β -Glucuronidaseassays (GUS) bestimmt.

PolyQ35-Nematoden wiesen einen stark temperaturabhängigen Motilitätsphänotyp auf: Zwischen 20°C und 24°C entwickelten sie abhängig von der Temperatur, mit einer Präzision von 0.5°C, unterschiedliche, reproduzierbare Phänotypen. Diese hohe Empfindlichkeit von Q35-*C. elegans* gegenüber kleinen, innerhalb des physiologischen Bereichs liegenden Veränderungen der Umgebungstemperatur, stellte eine optimale Voraussetzung zur Evaluation von potentiellen thermischen oder nicht-thermischen biologischen Effekten von HF EMF oder niedrigfrequenten Magnetfeldern dar.

Signifikante biologische Effekte wurden nach Veränderungen der Umgebungstemperatur von 0.5°C und nach kleinen Erhöhungen der Wachstumstemperatur von 0.3°C festgestellt. Nach kontinuierlicher oder wechselnder (2h an/ 2h aus oder 5 min an/ 10 min aus) HF EMF Exposition, entweder bei 5 oder 500V/m, wurden jedoch mithilfe des Motilitäts-/Lähmungsassays bei Q35-*C. elegans* keine messbaren Veränderungen gefunden. Selbst nach der Herstellung eines noch empfindlicheren Subtyps von *C. elegans* durch zusätzliche Schwächung der Proteinhomöostase und damit verbundener weiterer Beeinträchtigung der Motilität des Wurms wurde keine Veränderung nach HF EMF Exposition beobachtet. Negative Resultate wurden auch mit einer transgenen *Physcomitrella patens* Moospflanze, welche das GUS-Reporter-gen exprimiert, erhalten. Eine kleine Zunahme der Umgebungstemperatur von 0.5°C bewirkte eine signifikante Zunahme der GUS-Expression; verschiedene EMF Expositionsprotokolle hatten jedoch keinen Effekt.

Zusammenfassend hatten winzige Temperaturunterschiede sowohl in einem tierischen als auch in einem pflanzlichen System hochsignifikante biologische Auswirkungen, wogegen die Exposition zu HF EMF in verschiedenen Protokollen keine biologischen Effekte bewirkte, sowohl in Motilitäts-, Lähmungs- und Alterungsassays mit polyQ35-YFP Nematoden als auch in HSP-GUS Assays mit einem Moos. Basierend auf den in den vorliegenden Experimenten untersuchten Parametern hat HF EMF keinen schädigenden Effekt auf die zelluläre Proteinhomöostase.

Wirkungen von elektromagnetischen Feldern in vitro und in vivo: Interaktionen mit Faktoren der Stress-Antwort

PI: Prof. Dr. M. Mevissen, Universität Bern

Seit drei Jahrzehnten besteht Besorgnis und Streit über die Auswirkungen von erhöhter HF EMF Exposition auf die menschliche Gesundheit. Der genaue Wirkungsmechanismus, so überhaupt vorhanden, durch den HF EMF biologische Funktionen beeinflussen könnte, war schwierig zu finden; in vielen Fällen waren auch die Resultate verschiedener Studien nicht reproduzierbar. Fehlerhaftes experimentelles Expositionsdesign und das Fehlen einer exakten Dosimetrie erschweren die Interpretation der entsprechenden Daten. Ein besonderes Problem liegt in möglichen Temperaturanstiegen als Folge von HF EMF Exposition und der daraus folgenden Notwendigkeit der Differenzierung von HF EMF Effekten und thermischen Effekten.

In diesem Projekt wurden modernste Instrumente unter kontrollierten Bedingungen (definierte SAR), welche Temperaturschwankungen minimalisieren (weniger als 0.1°C), verwendet. Zwei

Modelle wurden zur Untersuchung möglicher HF EMF Effekte herangezogen. Ein Modell ist der Rundwurm *C. elegans*. Trotz seiner scheinbar geringen Komplexität bietet er eine grosse Anzahl an evolutionär konservierten Funktionen, wie die Stressantwort, welche auch in komplexeren Lebewesen, z.B. beim Menschen, existieren. Darüber hinaus erlauben Reportergene (z.B. GFP, grün fluoreszierendes Protein) die Verfolgung von Veränderungen der Genexpression, als Folge verschiedener Stressoren, in einer grossen Anzahl von Mutanten, bei denen viele wichtige biologische Funktionen, wie etwa die Fähigkeit, Hitze- oder oxidativen Stress zu überleben, beeinträchtigt sind.

Eine Vielfalt von Transkriptionsfaktoren im insulin-ähnlichen Signaltransduktionsweg regulieren Stress, Alter und Vermehrung. In diesem Projekt wurden die Auswirkungen von EMF Exposition auf Signaltransduktionswege in genetisch homogenen, synchronisierten Wurmpopulationen untersucht, mit Fokussierung auf den DAF-16 Transkriptionsfaktor (menschliches Ortholog FKHRL1), einen Schlüsselspieler in Stress-Signaltransduktionswegen. Nach der Aktivierung wird DAF-16 in den Zellkern verschoben und aktiviert dort die Transkription einer grossen Anzahl von Effektorgenen. Deswegen wurden Wurmstämme mit einem GFP Transgen gewählt, welche direkt als Reporter für die Aktivierung von DAF-16 nach HF EMF Exposition verwendet werden konnten. Ziel war die Identifizierung von Schlüsselspielern im EMF Aktivierungssignalweg.

Die Untersuchung von ganzen Würmern erfolgte mithilfe von Fluoreszenzmikroskopie nach Exposition von synchronisierten Populationen zu HF EMF. Beim Wildtyp (WT) wurde keine Verschiebung von DAF-16 in den Zellkern beobachtet. Um das HF EMF induzierte und potentiell DAF-16 vermittelte Signal zu verstärken, wurden zusätzliche Reporterstämme getestet. Unter denselben Expositionsbedingungen wurde in einem anderen Reporterstamm (*sod3::GFP*) mit der DAF-2 Nullmutante als genetischem Hintergrund, eine Zunahme der GFP Fluoreszenz beobachtet; der Effekt war im entsprechenden genetischen Wildtyp nicht vorhanden. Im Bestreben, einen Stamm zu identifizieren, der das einfache Verfolgen von HF EMF Effekten erlaubt, wurde ein transgener Stamm (CF1580) isoliert, der eine erhöhte Fluoreszenz nach Exposition zeigte. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass HF EMF biologische Auswirkungen haben könnte. Der Stamm welcher auf HF EMF reagiert, könnte als Werkzeug zur Identifikation von Schlüsselementen in der HF EMF Stressantwort verwendet werden.

Als zweites Modell des Forschungsprojekts wurden Kulturen von Säugetierzellen (von Menschen und Ratten) verwendet, welche im undifferenzierten Originalzustand verbleiben oder nach Zugabe von Substanzen wie Retinsäure oder Nervenwachstumsfaktoren, Eigenschaften von Neuronen während der Differenzierung annehmen konnten. Stimulus-induzierte Veränderungen in alternativem Spleissen des Enzyms Acetylcholinesterase (AChE) haben sich in früheren Studien als Mechanismus zur neuronalen Adaption an eine Vielfalt von Stimuli, wie Hitze- und oxidativen Stress, herauskristallisiert. Zwei katalytisch aktive AChE-Isoformen, mit unterschiedlichen Funktionen in der Entwicklung und der Wiederherstellung, existieren im Gehirn. Die seltene, durchgelesene Isoform AChE-R wird vor allem durch Verletzung induziert und scheint Wiederherstellung und Schutz vor Neurodegeneration zu begünstigen. Wir untersuchten die Auswirkungen von HF EMF Exposition auf alternativ gespleisste Isoformen von AChE mit Hilfe von PC12 Zellen *in vitro*. Die PC12 Zellen stammten von Phäochromozytomen aus dem Nebennierenmark von Ratten; sie stellen nützliche Modellsysteme für die Zelldifferenzierung dar. Darüber hinaus dienen PC12 Zellen zur Untersuchung von Auswirkungen von HF EMF auf die Stressantwort, während die menschliche Neuroblastomzelllinie SH-SY5Y zum Studium von Auswirkungen auf die Apoptose, dem Prozess des programmierten Zelltodes, verwendet wurden. Um die Stressantwort zu analysieren, wurde der zeitliche Verlauf von Veränderungen in der Regulation der Hitzeschockproteine 25/27 (HSP25/27) untersucht. Zur Verfolgung der Apoptose wurde die Regulation von zwei apoptoseverbundenen Proteinen (BAX und Bcl-2) analysiert. Diese Proteine scheinen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf Apoptose, entgegengesetzte Funktionen zu haben. Unter den verwendeten experimentellen Bedingungen bewirkte die Exposition zu HF EMF sowohl in undifferenzierten als auch in differenzierten PC12 Zellen keine Veränderung von Expression oder intrazellulärer Lokalisation der stressassoziierten AChR-R Isoform. Unter ähnlichen Bedingungen wurde auch keine Veränderung der Expression der ‚synaptischen‘ AChE-S Isoform beobachtet. Jedoch wurde 16 h nach HF EMF Exposition eine Zunahme der SC35 Spleiss-Faktor Kernflecken («nuclear speckles») in undifferenzierten PC12 Zellen beobachtet. Dieser Effekt war temperaturunabhängig; die Temperaturdifferenz zwischen exponierten und Kontrollkammern überstieg den Wert von 0.03°C nie.

Während der HF EMF Exposition von PC12 Zellen unterschied sich die zeitliche Veränderung des Gleichgewichtsspiegels von HSP25 und P-HSP25 in unbehandelten und NGF behandelten Zellen. Nach einer Grundexposition mit GSM wurde ein reduzierter Spiegel von HSP25 zu den frühen Zeitpunkten (1h und 4h in undifferenzierten Zellen) beobachtet. Parallel dazu wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten (1h-8h in differenzierten Zellen; 4h-48h in undifferenzierten Zellen) eine Abnahme des P-HSP25 Spiegels beobachtet. Im Gegensatz dazu stiegen P-HSP25 Spiegel 12 h und 24 h nach Exposition wieder nur in differenzierten Zellen an.

Die Projektleiterin schliesst aus den Resultaten, dass (1) HF EMF ein echter Stressor sein könnte, der in der Lage ist, die Mengen von Proteinen, welche eine Rolle in der Stressantwort spielen, zu verändern und dass (2) HF EMF auch Proteine im Apoptosesignalweg, einem zellulären Signalweg, der eine Rolle in der Krebsabwehr spielt, zu induzieren scheint.

Gentoxische Effekte von nichtionisierender Strahlung

PI: Prof. Dr. P. Schär, Universität Basel

Von speziellem Interesse und besonderer Wichtigkeit ist die Frage, ob EMF Exposition die Integrität der Erbsubstanz beeinträchtigt und dadurch das Potential hat, durch eine Instabilität des Erbgutes ausgelöste Gesundheitsstörungen wie etwa Krebs oder vorzeitiges Alterung zu bewirken.

DNS ist eine Nukleinsäure, die die genetische Information enthält, welche für die Entwicklung und das Funktionieren aller bekannten lebenden Organismen verwendet wird. Trotz beträchtlicher Anstrengungen in der Forschung konnte bis heute kein solider unangefochtener Nachweis für EMF induzierte DNS-Toxizität (Gentoxizität) erbracht werden. Ein Hauptproblem in diesem Forschungsgebiet besteht in der Subtilität von EMF-abhängigen DNS-betreffenden Effekten, deren Messung hohe Anforderungen an das experimentelle Design stellt: Gut definierte, experimentelle Systeme, die eine eindeutige Bestimmung von EMF Effekten und eine klare Unterscheidung von Effekt und Hintergrundrauschen ermöglichen.

Umstrittene experimentelle Resultate einer Reihe zum Teil im Rahmen des europäischen REFLEX Programms ausgeführter Studien zur Gentoxizität deuteten darauf hin, dass die Exposition gewisser menschlicher Zellen zu hoch- und tieffrequenten EMF Strangbrüche in der genomischen DNS bewirken kann. In der Folge hat die Weltgesundheitsorganisation WHO für HF EMF in der Forschungsagenda 2006 die Instabilität des Erbguts als «Forschungsinhalt von hoher Priorität» eingestuft. Positive Effekte basierten vor allem auf dem Comet Assay. Die wissenschaftliche Diskussion drehte sich um die Frage, ob diese Effekte existieren, dagegen wurde wenig Aufwand betrieben, um zu verstehen, was sie eigentlich bedeuten und wie sie interpretiert werden sollten. Der Comet Assay stellt eine empfindliche Technik dar, welche den Nachweis von DNS Schädigung auf Einzelzellniveau erlaubt. Wenn die DNS einer Zelle beschädigt ist, wird ihre strukturelle Organisation in einer Weise gestört, dass die Migrationseigenschaften bei elektrophoretischer Trennung verändert sind. Der Comet Assay misst diese Veränderungen und erlaubt so eine quantitative Bestimmung der DNS-Schädigung in der Zelle.

Ziel des Projektes war die Wiederholung früherer Schlüsselexperimente, welche durch EMF Exposition hervorgerufene gentoxische Effekte mit dem Comet Assay fanden und die Untersuchung von molekularen Ursachen und biologischen Konsequenzen. Die spezifischen Ziele waren: a) die molekulare Charakterisierung von DNS-bezogenen Effekten und deren biologischen Konsequenzen, b) die Charakterisierung der Zellantwort auf EMF-induzierte DNS-bezogene Effekte und c) die Bewertung der biologischen Konsequenzen von EMF-induzierten gentoxischen Effekten.

Ein wichtiger erster Schritt bestand in der Bestätigung von DNS-bezogenen Effekten im Comet Assay, welche früher in menschlichen Zellen nach Exposition zu ENF MF und HF EMF gefunden worden waren. Die Effekte konnten für primäre menschliche Fibroblasten, welche ENF MF ausgesetzt wurden, und teilweise auch für Zellen welche HF EMF ausgesetzt wurden, reproduziert werden. Spezifisch wurde beobachtet, dass periodische, nicht aber kontinuierliche Exposition von menschlichen Fibroblasten mit 50 Hz sinus MF bei 1 mT eine leichte aber signifikante Zunahme von DNS-Strangbrüchen, gemessen mit dem Comet Assay, bewirkt. Neue Erkenntnisse im Hinblick auf Ursache und Art dieses Effekts wurden gewonnen. Es wurde gezeigt, dass die kleinen Effekte im Comet Assay durch geringe Störungen der DNS-Synthese und gelegentliche Auslösung von

zellulärer Apoptose verursacht wurden und nicht durch Schädigung der DNS. Im Unterschied zu einer früheren Publikation zu HF EMF wurden keine genotoxischen Effekte bei menschlichen ES-1 Fibroblasten beobachtet. HR-1d Fibroblasten zeigten jedoch eine kleine aber signifikante Comet-Tailfaktor-Zunahme nach Exposition zu einem sprachmodulierten Feld mit einem SAR-Wert von 1 W/kg HF EMF (1950 MHz, 1-2 W/kg SAR).

Ein weiterer wesentlicher Teil des Projekts bestand in der Entwicklung von Hilfsmitteln, welche eine direkte Bestimmung der potentiellen Auswirkungen von ENF MF auf die DNS selbst, auf DNS-Protein/Enzym Interaktionen oder auf relevante Aspekte der Zellphysiologie erlauben. Dazu gehörte die Etablierung sowohl von biochemischen Assays als auch von bildgebenden Verfahren zur Verfolgung von Zellen während ENF MF Exposition. Beide Ansätze waren erfolgreich und stellten eine neuartige, potente Technologie für die EMF Forschung bereit. Diese Methoden wurden verwendet, um abzuklären ob ENF MF das Potential zur Induktion von physikalischer DNS-Schädigung oder zur Veränderung der Bildung oder des Spiegels von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) in der Zelle haben. Die biochemischen Experimente mit gereinigter DNS in Lösung zeigten, dass ENF MF Exposition keine DNS-Schädigung innerhalb der Nachweisgrenzen des Comet Assays bewirkt. Die Resultate wurden mit Hilfe von Kontrollen mit ionisierender Strahlung bei Dosen, welche Comet-Effekte bewirken, die vergleichbar mit denjenigen von periodischer ENF MF Exposition sind, bestätigt. Hochsensitive Methoden zur ROS Bestimmung mit lebenden Zellen ergaben ebenfalls, dass ENF MF Exposition die intrazellulären ROS Spiegel nicht in einer Weise beeinflusst, welche im Comet Assay nachweisbare DNS-Schädigung hervorrufen könnte. In diesem Fall wurde die Empfindlichkeit des Assays mittels H_2O_2 -Behandlungskontrollen bestätigt.

Insgesamt deuten diese Resultate stark darauf hin, dass die im Comet Assay beobachteten scheinbar genotoxischen Effekte von periodischer ENF MF Exposition von menschlichen Fibroblasten mit grosser Wahrscheinlichkeit durch eine sekundäre zelluläre Reaktion auf das Feld ausgelöst wurden und nicht eine direkt oder indirekt durch ENF MF ausgelöste DNS-Schädigung darstellten.

ENF MF Exposition von menschlichen Zellen kann in gewissen Zelltypen (primäre menschliche Fibroblasten) unter spezifischen Bedingungen (proliferierende Zellen) konsistent und reproduzierbar Comet Tailfaktor / Tailmoment Änderungen bewirken. Dies sind kleine Änderungen, welche mit grosser Wahrscheinlichkeit mit zellulären Reaktionen im Zusammenhang mit einer kleinen Zunahme von natürlich vorkommenden DNS-Strangbrüchen (Zellzyklus, DNS-Replikation, Apoptose) stehen. Eine kritische Diskussion der breiteren Bedeutung von Resultaten aus der Literatur wird durch unterschiedliche Versuchsaufbauten, biologische Modelle und Studientypen, welche zur Anwendung kamen, erschwert. Das Konzept, dass zelluläre Reaktionen und nicht eine Induktion von DNS-Schädigung die Effekte von MF Exposition im Comet Assay erklären, ist konsistent mit den atypischen genotoxischen Eigenschaften, welche in allen Studien gefunden wurden. Beispiele hierfür sind die Abhängigkeit des Effekts von periodischer Exposition und Zelltyp, die komplexe Dosis-Wirkungsbeziehung, welche beobachtet wurde, sowie das latente und transiente Auftreten des Effekts.

3.4 Modul 4: Risikowahrnehmung

Strukturen und Wirkungen gesellschaftlicher Kommunikation über nichtionisierende Strahlung

PI: Prof. Dr. P.J. Schulz, Università della Svizzera Italiana, Lugano

Im Zentrum des Konzepts eines gesundheitsbewussten Konsumenten steht die Fähigkeit, Gesundheitsinformationen zu verstehen und diese Information effektiv bei für das Gesundheitsverhalten relevanten Beurteilungen und Entscheidungen anzuwenden. Im Hinblick auf NIS wird die Bestimmung von effektiven Kommunikationsstrategien durch die Art der Gefährdung erschwert: Die wahren Risiken von NIS sind noch unbekannt, weshalb die angemessene und umfassende Information der Bevölkerung eine Herausforderung darstellt. Die Frage der Konsequenzen von NIS für menschliche Gesundheit und Wohlbefinden muss von den medizinischen und biologischen Wissenschaften beantwortet werden. In seiner Gesamtheit deutet der gegenwärtige Stand der Forschung darauf hin, dass NIS keine hohe und unmittelbare Gefahr für die Gesundheit der Menschen darstellt, obwohl nachteilige Folgen auf Gesundheit und Wohlbefinden nicht vollständig ausgeschlossen werden können. Es ist deshalb notwendig, die Öffentlichkeit über potentielle Gesundheitsrisiken zu informieren.

Während der letzten zwei Jahrzehnte haben gesellschaftliche Bedenken über möglicherweise nachteilige Auswirkungen von NIS zugenommen, was zu einer zunehmenden und manchmal schwarzseherischen Aufmerksamkeit, die verschiedene Kommunikationsmedien dem Thema zukommen lassen, geführt hat. Das bedeutet, dass jeder Kommunikationsversuch gegenüber der Bevölkerung betreffend Risiken von NIS nun in einer eher komplexen Situation stattfindet.

Das Forschungsprojekt will einerseits helfen, grundlegende Wahrnehmungsprozesse und Motivationen, die zu diesem Problem führen, zu verstehen und andererseits Strategien für Gesundheitsfachpersonen und andere Informationsanbieter entwickeln, die es erlauben, Risiken bezüglich NIS wirksamer kommunizieren zu können. In diesem Zusammenhang wurde ein Schwerpunkt auf die Wahrnehmung von Risiken durch deutsch und italienisch sprechende Schweizer gelegt, welche mit NIS, die durch Mobiltelefone, Mobilfunkantennen und ähnlichen Quellen emittiert wird, zusammenhängen.

Das erste Unterprojekt beschäftigte sich mit Struktur und Entwicklung kommunikativen Verhaltens mit Bezug auf NIS. Zu diesem Zweck wurde eine Inhaltsanalyse eines Webforums von Mobilfunkgegnern und der Berichterstattung durch Massenmedien in der Schweiz durchgeführt, mit dem Ziel, eine erste Grundlage für effektive Kommunikationsstrategien zur Information der Bevölkerung der verschiedenen Sprachregionen über NIS zu erstellen. Die Inhaltsanalyse stellt eine Methode dar, in der Inhaltselemente zuerst definiert und dann in grossen Textkörpern gezählt werden.

Das zweite Unterprojekt untersuchte die Reaktion auf eine Pressemitteilung, welche die Wahrscheinlichkeit von durch Mobilfunkantennen ausgelösten Gesundheitsrisiken als gering einschätzt. Die Wahrnehmung des Risikos von NIS und Einschätzung des Textes wurden für vier verschiedene Informationsquellen untersucht. Dazu wurden 240 Kunden/Besucher eines Supermarkts im Tessin mit derselben Botschaft in Form eines Nachrichtenberichts konfrontiert, der aber vier verschiedenen Quellen von unterschiedlicher Glaubwürdigkeit zugeschrieben wurde.

Im dritten Unterprojekt wurde eine Umfrage gleichzeitig in Lugano (TI) und Winterthur (ZH) durchgeführt, mit dem Ziel herauszufinden, ob die Sprachregion einen Einfluss auf Risikowahrnehmung, Verhalten und Wissen im Zusammenhang mit NIS hat. Zusammen mit der Umfrage wurde ein Experiment durchgeführt, um herauszufinden, wie die Empfehlung einer Informationsbroschüre bezüglich einer Vorsichtsmassnahme gegen Auswirkungen von NIS die Risikowahrnehmung beeinflusst, und ob die Wortwahl das Resultat beeinflussen kann. 640 Kunden/Besucher von Supermärkten im Tessin und dem deutschsprachigen Teil des Landes nahmen am Unterprojekt teil. Das Verfahren wurde im Unterprojekt vier mit 400 Personen wiederholt; dort wurde jedoch ausschliesslich der neutrale vorbeugende Teil der Botschaft verwendet, dafür aber eine vollständige Messung von psychologischen Konstrukten in Zusammenhang mit der Risikowahrnehmung vorgenommen (diese Konstrukte waren im Unterprojekt drei nur in rudimentärer Form vorhanden).

Die Struktur von Internetforen erlaubt eine grosse Vielfalt von Aktivitäten. Informationsstand und gesellschaftliches Engagement sind jedoch nicht gleichmässig verteilt, weder in der Bevölkerung noch unter Menschen, die über die Folgen von Strahlung besorgt sind. Die Datenanalyse bestätigte einen Cluster von wenigen sehr produktiven Teilnehmenden im Webforum, wogegen die Mehrheit der Nutzer wesentlich weniger intensiv beigetragen hat. Die Daten über Massenmedien zeigten, dass Zeitungsartikel oft aus Anlass von Ereignissen wie etwa dem Bau einer Mobilfunkantenne geschrieben und von politischen Initiativen unmittelbar gefolgt wurden. Die Struktur der Zeitungsberichterstattung führte zu einer Überbetonung der Medienaufmerksamkeit auf Mobilfunkantennen und ähnliche Anlagen und einer relativen Vernachlässigung von Risiken von Anwendungen wie den Mobiltelefonen selbst, welche meist als die wichtigere Strahlungsquelle betrachtet werden. Interessanterweise beschränkte sich der Trend der erhöhten Aufmerksamkeit der Zeitungen gegenüber dem Thema NIS auf die deutschsprachigen Zeitungen, wogegen bei den drei untersuchten italienischsprachigen Zeitungen die Aufmerksamkeit gegenüber NIS eher abnahm, wenn auch ausgehend von einem hohen Niveau.

Weitere Ergebnisse deuten darauf hin, dass in Bezug auf NIS-Risikowahrnehmung die vorhandene Haltung gegenüber möglichen Gesundheitsrisiken wichtiger für die Bildung einer Meinung ist als die Quelle der Information und ihre Glaubwürdigkeit. Interessanterweise sorgten sich Personen, welche NIS ein hohes Risiko zuordneten, nach dem Lesen der risikomindernden Botschaft mehr. Dieser Effekt war von der Quelle der Information unabhängig. Italienisch sprechende Schweizer

waren im Allgemeinen über die Risiken von NIS eindeutig mehr besorgt und vorbeugende Botschaften führten weder in der deutsch- noch in der italienischsprachigen Stichprobe zu einer erhöhten Besorgnis.

Der Vergleich von drei unterschiedlichen vorbeugenden Botschaften, einer neutralen, einer autoritären und einer verstärkenden Botschaft, zeigte, dass obwohl keine unterschiedlichen Auswirkungen festgestellt wurden, die verstärkende Botschaft am beliebtesten war.

Ergebnisse über die Rolle, welche psychologische Konstrukte spielen, stehen noch aus. Sie werden zu Einsichten über kulturelle Weltansichten (gemessen durch 12 Einheiten), Wunsch nach Kontrolle (gemessen durch 20 Einheiten), Kontrollüberzeugungen zur Gesundheit (gemessen durch 18 Einheiten) und Intoleranz gegenüber Ungewissheit (gemessen durch 22 Einheiten) führen.

Frühere Studien deuteten darauf hin, dass Prädisposition das Kommunikationsresultat beeinflusst. Das Ergebnis, dass Personen, welche stark über Gesundheitsrisiken von NIS besorgt sind, dazu tendieren, durch Botschaften, die besagen dass wenig Grund zur Sorge besteht, unabhängig von der Quelle der Botschaft, in ihrer Besorgnis noch bestärkt werden, hängt damit zusammen und eröffnet auch eine neue Perspektive. Dies bedeutet, dass besorgte Personen durch Botschaften, welche ihre Sorgen dämpfen sollen, nicht nur nicht erreicht werden, sondern, dass sie die Botschaften in ihr Gegenteil umdrehen können. Personen, welche über Gesundheitsrisiken von NIS stark besorgt sind, tendieren dazu, Botschaften, die besagen dass wenig Grund zur Sorge besteht, entweder nicht zu verstehen oder falsch zu verarbeiten. Dieser Vorgang war unabhängig von der Quelle der Information und könnte ein ernsthaftes Problem für Kommunikationsplanung darstellen.

Affekt und Wahrnehmung von nichtionisierender Strahlung: Folgen für die Risikokommunikation

PI: Prof. Dr. M. Siegrist, Institut für Umweltentscheidungen, ETH Zürich

Unser Wissen über die Auswirkungen von Langzeitexposition gegenüber der Strahlung von Mobiltelefonen und Mobilfunkantennen und ob derartige Exposition zu Gesundheitsproblemen führen kann, ist gering. Als Folge davon, und auch weil diese Technologie rasch gewachsen ist, entstand ein verbreitetes zunehmendes Unbehagen in der Bevölkerung.

Eine grosse Anzahl an Forschungsergebnissen deutet darauf hin, dass sich die Risikowahrnehmung von Experten und Laien unterscheidet. Die Risikoabschätzung von Experten korreliert oft mit statistischen Daten, wogegen die Risikowahrnehmung von Laien von qualitativen Aspekten dominiert wird. Das psychometrische Paradigma ist wahrscheinlich der verbreitetste Forschungsansatz zur Identifikation von Faktoren, welche die Wahrnehmung von verschiedenen Gefahren beeinflussen. In diesem Ansatz verwenden die Teilnehmer eine Vielfalt von Bewertungsskalen, um ein Set von Gefahren zu evaluieren. Zum Beispiel können Teilnehmer jede Gefahr nach der Schwere der Konsequenzen (wie wahrscheinlich ist es, dass Konsequenzen tödlich sein werden) bewerten. Die meisten dieser Studien verwenden ein sehr heterogenes Set von Gefahren, welche von alkoholischen Getränken bis zur Atomkraft reichen können. Dieser Forschungsansatz kann dazu verwendet werden, die Frage zu beantworten, warum verschiedene Gefahren unterschiedlich bewertet werden. Das psychometrische Diagramm vernachlässigt jedoch Unterschiede in der Risikowahrnehmung von Laien, was zu einer Vielfalt von Kritiken führt. Die Frage wieso verschiedene Personen dieselbe Technologie unterschiedlich wahrnehmen ist wichtig und wurde bisher nicht in befriedigender Weise angegangen. Kürzlich wurde vorgeschlagen, dass der Affekt einen wesentlichen Faktor in der Risikowahrnehmung darstellen könnte. In den meisten Studien wurde der Affekt jedoch vernachlässigt. Der Affekt könnte eine wichtige Rolle in der Entwicklung von Haltungen und Meinungen gegenüber NIS spielen. Es braucht mehr Wissen darüber, wie verschiedene Kommunikationsstrategien den mit NIS verbundenen Affekt beeinflussen können.

Der Affekt ist eine bestimmende Grösse für Wahrnehmung und Verhalten. Der Affekt wurde beschrieben als ‚die spezifische Qualität von Güte oder Schlechtigkeit (1) erfahren als Gefühlszustand (mit oder ohne Bewusstsein) (2) welche die gute oder schlechte Qualität eines Stimulus abgrenzt‘ (Slovic et al. 2002).

Der implizite Assoziationstest (IAT) kann zur Bestimmung des Affektes, den eine Technologie hervorruft, verwendet werden. Er misst implizite Überzeugungen, indem er die Geschwindigkeit feststellt, mit der eine Versuchsperson automatische Beurteilungen vornimmt. Er überwindet so

die Probleme, welche mit direktem Fragen nach der Haltung von Personen gegenüber einem Objekt verbunden sind. Es sollte festgehalten werden, dass der Assoziationstest zwar die am meisten verwendete, aber nicht die einzige Technik zur Messung von impliziten Haltungen darstellt. Zum Beispiel wurde der Affekt auch mit Hilfe von bildbasierten Methoden gemessen, bei welchen Probanden zum Beispiel aufgefordert werden, jede Assoziation auf einer Skala von schlecht bis gut zu bewerten. Durchschnittsergebnisse solcher Bewertungen können als Affekt betrachtet werden, der durch eine bestimmte Gefahr hervorgerufen wird, die mit dem wahrgenommenen Risiko korreliert. Der Vorteil des IAT besteht jedoch darin, dass er spezifischere Informationen liefert als einen numerischen Wert, der auf positiven oder negativen Affekt hindeutet. Assoziationen können in Kategorien klassiert werden und diese Prozedur liefert Informationen darüber, welche Bilder am meisten mit einer bestimmten Gefahr verbunden werden.

Dieses Forschungsprojekt hatte zum Ziel zu untersuchen, welche Faktoren die wahrgenommenen Risiken und Nutzen der mobilen Kommunikation und auch die Akzeptanz der Technologie bestimmen. Insbesondere konzentrierte es sich auf die Rolle des Affekts in der Risikowahrnehmung, da es bekannt ist, dass der Affekt als wichtige Abkürzung in der Entscheidungsfindung dienen kann. In einem ersten Schritt wurde ein implizierter Assoziationstest entwickelt. Die Datenanalyse basierte auf insgesamt 61 Teilnehmern welche sich aus EMF-Experten, Gegnern von Mobilfunkantennen und Personen der Bevölkerung zusammensetzten. Die Gruppen unterschieden sich nicht bezüglich Alter, Geschlecht und Bildung .

Im zweiten Unterprojekt wurde der Affekt mittels einer freien Assoziationstechnik gemessen, welche Hinweise zu den Bildern gab, die sich Testpersonen vorstellen, wenn sie an Mobilfunkbasisantennen denken. Eine Umfrage unter 503 Personen wurde in der Stadt Zürich durchgeführt, gefolgt von einem persönlichen Interview am Wohnsitz des Teilnehmers.

Im dritten Unterprojekt wurde untersucht, wie Angst und Ärger die Wahrnehmung von Risiko und Nutzen, sowie die Akzeptanz der Technologie beeinflussen. Dieselbe Auswahl von 503 Personen, welche ein persönliches Interview zu Hause durchlief, wurde aufgefordert, einen Fragebogen mit einer grossen Bandbreite von Punkten zum Thema Mobilkommunikation auszufüllen. 28 Variablen wurden verwendet, um Kontrolle, Fairness, Ärger, Furcht, Akzeptanz und Kosten-Nutzen Wahrnehmung zu messen.

Das vierte Unterprojekt konzentrierte sich auf die Präferenzen der Öffentlichkeit für Standorte von Antennenanlagen, unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Bereitstellung spezifischen Wissens, sowie von vier Schlüsseleigenschaften (Ort, Erscheinung, Gebäude, Entscheidungsprozess), welche früher als zentral für Standortentscheide bei Mobilfunkantennen identifiziert worden waren.

Das fünfte Unterprojekt war den Auswirkungen von spezifischem Wissen auf dem Gebiet der Mobilfunkkommunikation in Bezug auf Standortentscheide gewidmet. Das öffentliche Bildungswesen oder spezifische Wissensvermittlung werden als Möglichkeiten zur Verbesserung der Fähigkeit von Laien zum Treffen von informierten Entscheiden betrachtet. Dementsprechend wurde vermutet, dass spezifische Wissensvermittlung zu einer Reduktion der negativen Wahrnehmung von Mobilfunkantennenanlagen und einer Zunahme der kritischen Wahrnehmung von Mobiltelefonen selbst und so zu besseren Standortwahlen und damit einer tieferen Strahlungsexposition der telefonierenden Bevölkerung beitragen könnte.

Insgesamt deuten die Resultate des IAT darauf hin, dass affektive Einschätzungen verschiedener Risiken sehr schnell ausgeführt werden. Zusätzlich wurde gezeigt, dass Basisstationen bei einer Gruppe von Experten positive, bei Laien neutrale und bei Basisstationsgegnern negative Assoziationen auslösten. Diese Ergebnisse bedeuten, dass sich die Assoziationsreaktionen von Experten, Laien und Basisstationsgegnern im Hinblick auf die Wahrnehmung von Risiken der Mobilkommunikation unterscheiden.

In den Antworten aus einer grossen schweizerischen Umfrage dominierten negative Bilder im Zusammenhang mit Mobilfunkantennenanlagen. Interessanterweise assoziierten Teilnehmer, welche Antennenanlagen als risikoreich betrachteten, mit anderen Bildern als Teilnehmer, welche Antennenanlagen ein tiefes Risiko zuordneten. Im Vergleich zu anderen Parametern ist der Standort von Mobilfunkantennen für die Bevölkerung von zentraler Bedeutung. Die Beurteilung

von Mobilfunkantennen hatte auch einen Zusammenhang mit Gesundheitseinstellungen, Vertrauen und demografischen Variablen. Schliesslich wurde gezeigt, dass Teilnehmer, welchen technisches Wissen vermittelt wurde, günstigere Standortpräferenzen für Mobilfunkantennen hatten: Sie bevorzugten Standorte, durch welche die Exposition der telefonierenden Bevölkerung minimiert wird.

Insgesamt können aus den Resultaten dieses Projekts Schlussfolgerungen für Forschung und Praxis gezogen werden. Es wurde gezeigt, dass der Affekt für die Wahrnehmung des Risikos von nichtionisierender Strahlung zentral ist und dass er bei Experten, Gegnern und Laien sehr unterschiedlich ausfällt. Darüber hinaus legen die Resultate nahe, dass die Risikowahrnehmung von wichtigen demografischen Variablen beeinflusst wird und dass einschlägiges Wissen Standortentscheide über Mobilfunkantennen beeinflusst. Auch deuten die Ergebnisse daraufhin, dass entfernte und verdeckte Antennenanlagen bevorzugt werden.

Zusammenfassend legen die Resultate nahe, dass der Affekt als rasche, einfache und erste Einschätzung der mobilen Kommunikation und anderer Risiken dient. Diese erste Einschätzung sagt uns, ob der Reiz gut oder schlecht für uns ist oder, mit anderen Worten, ob er für uns persönlich wichtig ist. Es wurde schon früher vorgeschlagen, dass der Affekt eine wichtige Rolle in der Risikowahrnehmung spielen kann. Insbesondere wurde argumentiert, dass Personen die ‚Affektheuristik‘, bei der Risikoeinschätzung verwenden, weil es einfacher und effizienter ist, sich auf spontane affektive Reaktionen zu verlassen, als alle verfügbare Information auszuwerten. Der theoretische Rahmen der ‚Affektheuristik‘ unterscheidet zwei Denkweisen: das analytische System, welches auf Wahrscheinlichkeiten, logischen Überlegungen und Beweisen beruht, und das Erfahrungssystem, das auf Bilder, Metaphern und Erzählungen baut. Es scheint einleuchtend, dass Laien eher das Erfahrungssystem als das analytische System gebrauchen, wenn sie eine Reihe von Gefahren bewerten sollen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Alter und Geschlecht wichtige demografische Variablen darstellen, die die Risikowahrnehmung der Mobilkommunikation beeinflussen. Vermutlich sind jüngere Studienteilnehmer auch besser vertraut mit Mobilkommunikation. Vertrautheit wurde früher schon als ein wesentlicher Faktor identifiziert, der zu einer Minderung der Besorgnis beiträgt. Auch waren Studienteilnehmer, welche Antennenstandorte in der Mitte eines Dorfes vorzogen (vorteilhaft mit Bezug auf Gesundheitsvorsorge) überwiegend männlichen Geschlechts. Vergleichsweise schätzten diese Teilnehmer die Risiken der Mobilkommunikation als gering und deren Nutzen als hoch ein. Interessanterweise ging dies mit besserer Kenntnis der Wechselwirkung zwischen Mobiltelefonen und Antennenanlagen einher.

4. Wissenschaftliche Implikationen und zukünftige Bedürfnisse

4.1 Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung

Exposition des Fötus

Ziel dieses Projekt war es, die Exposition des Fötus mit Bezug auf die Feldbedingungen verschiedener Arten von elektromagnetischer Exposition zu charakterisieren, insbesondere das Verhältnis der für die Frau und dem Fötus massgeblichen Einschränkungen. Zu diesem Zweck wurden drei hochdetaillierte anatomische Computermodelle einer Frau im 3., 7. und 9. Schwangerschaftsmonat entwickelt. Solch hochauflösende anatomische Modelle gab es für den Fötus bisher nicht.

Die Erschaffung des Fötusmodells ist eine wichtige Errungenschaft auf dem Gebiet der Dosimetrie. Zum ersten Mal ist es möglich, induzierte Ströme und die SAR in Mutter und Fötus in alltäglichen Expositionssituationen und unkontrollierter Umgebung zu beurteilen. Diese Resultate sind für die Gesundheitsrisikoevaluation und epidemiologische Forschung von Bedeutung. Die Resultate liefern auch wertvolle Informationen zur Festlegung von Richtlinien und Expositionsgrenzwerten, da es nun möglich ist, die Exposition in verschiedenen Gewebetypen vorherzusagen. Als die ehemaligen ICNIRP Richtlinien in den 1990er Jahre geschrieben wurden, konnte die Beziehung zwischen den äusseren Feldern (Referenzwerten), induzierten Strömen und den SAR Werten nur für einfache, geometrisch homogene Modelle (Rotationsellipsoide) berechnet werden. Zu dieser Zeit war eine Vorhersage der Exposition verschiedener Organe in Menschen nicht möglich.

Dies änderte sich, als der erste ‚Visible Human Male‘ Datensatz im November 1994 veröffentlicht wurde (U.S. National Library of Medicine). Später wurden zusätzliche Datensätze für unterschiedliche Körpertypen entwickelt. Die IT'IS Stiftung spielte eine wichtige Rolle in der Entwicklung menschlicher Modelle (virtuelle Familie und virtuelles Klassenzimmer) und war massgebend daran beteiligt, dass diese der Forschung zur Verfügung gestellt wurden. Daten zur Herstellung der Modelle stammen meistens von MRI (Magnetresonanztomographie) Bildern. Da eine Schwangerschaft aber eine Kontraindikation für MRI ist, mangelt es an MRI Daten für Föten. Dementsprechend mussten verschiedene medizinische Datensätze kombiniert werden, um anatomische Modelle von Föten zu entwickeln.

Zukünftige Forschung auf dem Gebiet der Exposition von Föten wird sich a) auf einen generischen Ansatz konzentrieren, um die Hauptparameter, die die Exposition bestimmen, zu identifizieren und b) auf die Steigerung der Flexibilität der entwickelten anatomischen Modelle konzentrieren, um die Interpretation der Resultate bezüglich ihrer Anwendungsmöglichkeiten bei schwangeren Frauen zu stärken. Zudem wird die Entwicklung verbesserter numerischer Methoden in Betracht gezogen werden, um die Einschränkungen der gegenwärtig verfügbaren Techniken mit Bezug auf Anisotropie und Darstellung der relevanten elektrischen Merkmale der peripheren Nerven zu überwinden. Zusätzliche experimentelle Forschung sollte sich auf die verbesserte Evaluation der dielektrischen Gewebeeigenschaften im niederfrequenten Bereich konzentrieren. Grosse Ungewissheiten bestehen noch, insbesondere bezüglich einer kompletten Charakterisierung der Anisotropie, und wenig Arbeit wurde bisher mit Bezug auf Altersabhängigkeit der Gewebeleitfähigkeit für niedrige Frequenzen geleistet.

Kumulative Exposition des Zentralen Nervensystems im Zeit- und Frequenzbereich

Ziel dieses Projektes war es, für alle existierenden drahtlosen Kommunikationssysteme ein umfassendes Wissen über die entsprechenden Expositionen zu sammeln und dieses Wissen auf hirninterne Strukturen zu beziehen. Verschiedene Tätigkeiten, z.B. Fahrt im Auto, und mobile und drahtlose Telefontypen wurden für einen Frequenzbereich von 30 MHz bis 6 GHz berücksichtigt. Die resultierenden Expositionen (in SAR Werten) in spezifischen Regionen des Gehirns für verschiedene Personentypen (die virtuelle Familie) beinhalteten auch Unterschiede, die auf die Hand und die Art, wie das Mobiltelefon gehalten wird, zurückzuführen waren. Ähnliche Ergebnisse wurden zum Teil in der wissenschaftlichen Literatur berichtet, jedoch nicht in einer solch umfassenden und detaillierten Form.

Einige Resultate sind für andere wissenschaftliche Gebiete von direkter Relevanz, z.B. für die Epidemiologie, bei der die Exposition im Alltag und bei der Arbeit im Innenraum, wo zahlreiche

Felder vorkommen, besonders wichtig ist. Eine weitere nützliche wissenschaftliche Anwendung sind Provokationsstudien in der Gehirnphysiologie, z.B. Schlafstudien bei Menschen, bei denen diese Resultate für die Hypothesenerstellung bezüglich Aktionsmechanismen von Nutzen sind.

Obwohl ein Dosiskonzept für NIS noch nicht verfügbar ist, ist es üblich, den kumulativen Effekt vieler verschiedener Expositionen durch Integration zu finden. Die Werkzeuge und Resultate, die in diesem Projekt entwickelt wurden, ermöglichen die Berechnung solch integrierter Dosen für verschiedene Benutzungszeiten und Expositionstypen. In Zukunft müssen die Informationen aktualisiert gehalten werden, sobald neue Expositionsarten zu regelmässig genutzten werden. Die zukünftige vierte Generation der Mobilfunktechnologie, Long Term Evolution (LTE), ist in verschiedenen Ländern schon betriebsbereit und weist, verglichen mit früheren Generationen, eine andere Signalstruktur und andere Zugriffsverfahren auf. Es lohnt sich auch zu erwähnen, dass moderne Smartphones und andere ähnliche Geräte eine andere vom Hirn entferntere Lage am Körper haben werden.

Die vorliegenden Studien waren auf Frequenzen unter 6 GHz limitiert. Es ist vorhersehbar, dass in Zukunft viel höhere Frequenzen, z.B. Frequenzen im Millimeterbereich wie etwa 60 GHz, gebraucht werden, um hohe Datenraten bewältigen zu können.

Mikroskopische Untersuchungen von Zellen während der Exposition durch elektromagnetische Felder

Die wissenschaftliche Literatur zeigt, dass in der Vergangenheit sehr unterschiedliche Expositionseinrichtungen verwendet wurden, um die biologischen Auswirkungen der Exposition von Zellkulturen durch ENF Magnetfelder zu untersuchen. Den meisten Systemen gemeinsam ist, dass die Zellen während definierten Zeitspannen bestimmten Feldbedingungen ausgesetzt sind und dass die Analyse nach der Exposition durchgeführt wird. Diese Experimente haben unterschiedliche biologische Ergebnisse erbracht, von keiner Auswirkung bis hin zu einer gesteigerten Anzahl von DNS-Strangbrüchen.

Allerdings ist, da wo Auswirkungen beobachtet wurden, der genaue Interaktionsmechanismus nicht bekannt. Dieses Projekt wurde vor allem durch das Bedürfnis nach einer genaueren Untersuchung des Mechanismus hinter der beobachteten gesteigerten Anzahl von DNS-Strangbrüchen ausgelöst. Zu diesem Zweck wurde ein Miniatur-ENF-Expositionssystem entwickelt, das ein Mikroskopsystem beinhaltet. So konnten lebende Zellen beobachtet und andere hochmoderne Mikroskopiertechniken, darunter Konfokalmikroskopie und Fluoreszenzmikroskopie, während der ENF-Exposition angewendet werden. Das Projekt fand eine unmittelbare Anwendung, da es im NFP 57 Projekt von Prof. Dr. Primo Schär im Departement Biomedizin in Basel erfolgreich eingesetzt werden konnte.

Zunehmend fortgeschrittene Expositionssysteme, die hochmoderne Echtzeitbeobachtungen von Zellen während der Exposition zulassen, wurden entwickelt. Damit hat sich die Möglichkeit signifikanter Durchbrüche im Verständnis von Interaktionsmechanismen zwischen elektrischen Feldern und Zellen stark verbessert. Das ENF-Magnetfeldexpositionssystem hat den Weg für die Entwicklung weiterer anspruchsvoller Expositionssysteme zur Untersuchung elektrischer Felder und der Interaktion von modulierten und kontinuierlichen HF EMF mit Zellkulturen geebnet. Insgesamt wird erwartet, dass das entwickelte Expositionssystem eine Rolle in zukünftigen Studien zur Untersuchung der Mechanismen von EMF Exposition spielen wird.

4.2 Modul 2: Laborstudien und Epidemiologie

EMF Auswirkungen auf das Gehirn: Veränderungen des Schlaf-EEG

Dieses Projekt bestätigt und erweitert frühere Forschung, die gezeigt hatte, dass pulsmodierte HF EMF, die durch Mobiltelefone ausgestrahlt werden, das menschliche EEG beeinflussen. Insbesondere nach einer mit 14 Hz modulierten Exposition, beobachteten die Autoren eine signifikante durchschnittliche Zunahme der Leistungsdichte im Spindelfrequenzbereich während des Schlafs. Diese Zunahme war im zweiten Stadium des zweiten Schlafzyklus am deutlichsten. Allerdings variierte dieser Effekt zwischen Probanden stark. Die Schlafarchitektur wurde nicht beeinflusst. Die Beobachtung, dass pulsmodierte, aber nicht kontinuierliche HF EMF, das Wach- und Schlaf-EEG beeinflussen, schliesst einen thermischen Einfluss aus. Die beobachtete Zunahme im Spindelfrequenzbereich deutet darauf hin, dass die Modulation mit Frequenzkomponenten im physiologischen

Bereich vielleicht ausreicht, um eine Wirkung zu erzielen. Wegen der, im Vergleich zur Absorption bei Erwachsenen, höheren Energieabsorption in den Köpfen von Kindern und Jugendlichen waren die vorläufigen Daten, die auf ein Ausbleiben von altersbedingten Unterschieden hinsichtlich von HF EMF Effekten auf das Wach-EEG hindeuten, unerwartet.

Mit Bezug auf die damit verbundenen Mechanismen ist es interessant, dass der Effekt in beiden Hemisphären vorhanden war, obwohl nur eine Hemisphäre exponiert wurde. Dieses Ergebnis bestätigt die Hypothese der Autoren, dass eine zentrale Gehirnstruktur, wie beispielsweise der Thalamus, eine entscheidende Rolle bei der Vermittlung des Effekts spielen könnte. Andererseits hing der Effekt nicht von der Eindringungstiefe der Strahlung ab (Begrenzung auf die Kortex im Vergleich zur Einbeziehung von subkortikalen Strukturen), was darauf hindeutet, dass die direkte Exposition der Basalganglien / des Thalamus nicht der entscheidende Faktor ist.

Die Kognitionstests zeigten, dass die Reaktionsgeschwindigkeit insgesamt während einer Exposition tendenziell kleiner ist als unter Scheinexpositionsbedingungen. Die kleinsten Reaktionsgeschwindigkeiten wurden unter pulsmodulierten Bedingung bei 217 Hz gefunden. Die Leistungspräzision bei kognitiven Aufgaben schien jedoch weitgehend unbeeinträchtigt. Auch zeigt die Tatsache, dass die Probanden nicht fähig waren, die Expositionsbedingungen zu erkennen, dass das Feld nicht wahrgenommen werden konnte.

Zusammenfassend sind die Resultate dieses Projektes wissenschaftlich relevant und müssen durch weiterführende Experimente ergänzt werden. Offensichtlich müssen die Mechanismen der beobachteten Auswirkungen detaillierter untersucht werden. Angesichts der Variabilität des Effekts muss als nächstes die Frage der zeitlichen Reproduzierbarkeit beim Individuum angegangen werden. Ferner scheint die Frage der Langzeitwirkungen humaner Exposition wichtig. Da sich die Forschung mehrheitlich auf junge Erwachsene und Kinder konzentriert hat, sollten nun auch ältere und potenziell empfindliche Teilnehmer und eventuell sogar Patienten mit neurologischen oder psychischen Erkrankungen untersucht werden. In der Zukunft wären neuartige Anwendungen von HF EMF, zum Beispiel zur Untersuchung von Hirnmechanismen oder zur Diagnostik oder sogar zu therapeutischen Zwecken, denkbar.

Auswirkungen von EMF auf das Gehirn: Veränderungen der Hirndurchblutung

Das Nahinfrarot-Imaging (NIRI) wurde benutzt, um die lokale Hirndurchblutung und die Sauerstoffkonzentration im Gehirn zu messen. Diese optische Methode verwendet Infrarotlicht und wird nicht direkt von elektromagnetischen Feldern beeinflusst. Eine Limitierung des NIRI besteht darin, dass die Messungen sich auf oberflächliche Kortexregionen begrenzen und dass tiefer liegende Strukturen wie Basalganglien oder der Hirnstamm sich ausser Reichweite befinden.

Mithilfe periodischer UMTS EMF mit Expositionswerten die typisch für ein handgehaltenes Mobiltelefon sind, die aber eine mobilfunkantennenähnliche Modulation aufweisen, konnten kleine aber statistisch signifikante Auswirkungen auf die Durchblutung und die Sauerstoffkonzentration festgestellt werden. Erstens wurde eine mittelfristige (von 80 s bis 30 min) Abnahme der Deoxyhämoglobinkonzentration, als Folge von 0.18 W/kg und 1.8W/kg Expositionen im Bereich physiologischer Schwankungen des Gehirns, gefunden. Zweitens wurde eine kurzfristige (< 80 s) Veränderung festgestellt, die sechsmal kleiner war als die mittelfristige Auswirkung und die durch eine Konzentrationszunahme von Oxy- und Gesamthämoglobin während einer 0.18 W/kg Exposition gekennzeichnet war. Auch war die mittelfristige Herzfrequenz nach einer hochdosierten Exposition, verglichen mit einer Scheinexposition, leicht erhöht, während andere Parameter (subjektives Wohlbefinden, Müdigkeit, Zählleistung) unverändert blieben.

Es ist wichtig zu verstehen, dass unter wirklichkeitsnahen Bedingungen die Exposition gegenüber mobilfunkantennenähnlicher UMTS Modulation viel tiefer ist als diejenige, die in dieser Studie angewendet wurde. Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus ist es wichtig zu bestimmen, ob die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden können und ob andere Studienpopulationen (z.B. ältere Probanden, jüngere Probanden, Frauen und Personen mit selbstberichteter EMF Sensibilität) ähnliche Auswirkungen aufweisen. Zudem muss nicht nur periodische Exposition sondern auch kontinuierliche UMTS Exposition und EMF Exposition mit verschiedenen Trägerfrequenzen, wie sie bei WIFI, Bluetooth oder DECT angewendet werden, untersucht werden. Es sollte das Ziel all dieser Studien sein, Einblicke in die zugrundeliegenden Mechanismen zu gewinnen.

Prospektive Kohortenstudie über gesundheitsbezogene Lebensqualität und HF EMF

Kurzzeitige gesundheitliche Auswirkungen von Exposition gegenüber HF Feldern sind schon früher in angemessen geplanten randomisierten Versuchen oder Provokationsstudien untersucht worden und waren meist nicht in der Lage, einen Zusammenhang zwischen HF Exposition und Krankheit herzustellen. Derartige Studienentwürfe sind in der Untersuchung langzeitiger Auswirkungen nicht leicht anzuwenden. Deshalb wurden Auswirkungen stattdessen in Querschnittstudien, die Exposition und Ergebnis zum gleichen Zeitpunkt messen, erforscht. Dieser Ansatz hat jedoch schwerwiegende Begrenzungen. Die hier beschriebene Studie benutzte dagegen ein qualitativ viel besseres prospektives Design, in dem die HF Exposition zum Ausgangszeitpunkt bestimmt wurde und das Ergebnis als Veränderung des Gesundheitszustandes zwischen Ausgangszeitpunkt und dem Zustand nach einem Jahr erfasst wurde. Diese Studie machte sich auch die Entwicklung eines Exposimeters, das von den Studienteilnehmern getragen werden konnte, zunutze. Das Exposimeter wurde eingesetzt, um ein Modell zur Bewertung von HF Exposition durch Mobilfunkantennen, das auch im Rahmen des Projektes entwickelt wurde, zu überprüfen.

Die Analyse der Nachbeobachtungsdaten zeigte keinen Zusammenhang zwischen HF EMF Exposition und Gesundheitsstörungen, wobei letztere mit Skalen bestimmt wurde, die Kopfschmerzen, Schlafstörungen und anderen Variablen der Lebensqualität umfassten. Die Ergebnisse sind mit denen für kurzfristige Exposition, die in Provokationsstudien gesammelt wurden, vereinbar. Allerdings stehen die vorliegenden Resultate im Widerspruch zu gewissen Ergebnissen aus Querschnittstudien; aber das Querschnittsdesign ist anfällig für Erinnerungsverzerrungen, die positive Assoziationen hervorrufen könnten. Die Resultate des prospektiven Designs sind also in theoretischer Hinsicht wichtig, obwohl sie auch für Verzerrungen, insbesondere für Selektionsverzerrungen, anfällig sein könnten.

Die Exposimeterdaten ermöglichten auch eine schon lange benötigte Übersicht über die relative Bedeutung verschiedener Quellen in Bezug auf HF Exposition. In der vorliegenden Studie wurde die Exposition gegenüber entfernten Feldern von drei Quellen dominiert: Andere Telefone, Mobilfunkantennen und schnurlose (DECT) Telefonsysteme (nicht einschliesslich die Benutzung des eigenen Telefons). Die durchschnittlichen Expositionswerte sind verglichen mit den gegenwärtigen Expositionsstandards sehr tief.

Zusammenfassend machte sich diese Studie einen bedeutenden neuen Ansatz zunutze, um gesundheitsbezogene Lebensqualität und HF Exposition zu untersuchen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen geschätzter HF Exposition und gesundheitlichen Symptomen festgestellt werden. Trotzdem darf nicht vergessen werden, dass die Expositionswerte denjenigen entsprachen, denen die Bevölkerung ausgesetzt ist, und dass diese Werte um Grössenordnungen unter den gegenwärtigen Expositionsgrenzwerten liegen. Die Ergebnisse sagen deshalb wenig über mögliche gesundheitliche Auswirkungen bei höheren HF Expositionswerten aus. Die Information über Quellen für HF Exposition in der allgemeinen Bevölkerung ist sehr wertvoll, benötigt aber natürlich weitergehende Studien, die andere Populationen und grössere Gruppen untersuchen.

4.3 Modul 3: Zellbiologie

Ein zentrales Ziel von *in vitro* Laborstudien ist neue Erkenntnisse über mögliche biophysikalische und biochemische Wirkungsmechanismen zu gewinnen, die für die in epidemiologischen Studien und in Studien mit menschlichen Freiwilligen beobachteten Auswirkungen verantwortlich sein könnten. *In vitro* Resultate können einen mechanismusbasierten Rahmen bereitstellen, der die Interpretation von Studien mit Menschen erleichtert.

Bei der Planung des Aufgabenbereichs des NFP 57 Forschungsprogramms wurde entschieden, einige Themen über Exposition zu ENF MF und HF EMF gezielt zu bearbeiten. Die Wahl der wichtigsten Studienziele berücksichtigte auch die Empfehlungen der WHO Forschungsagenda zu ENF MF (2007) und der WHO Forschungsagenda zu HF EMF (2006). Die Projekte legten einen Schwerpunkt auf Auswirkungen von ENF MF (abgegeben durch Hochspannungsleitungen oder elektrische Kabel und Geräte im Haushalt) auf zelluläre DNS (gentoxische Auswirkungen) und von HF EMF (Strahlung von Mobiltelefonen und Mobilfunkantennenanlagen) auf zelluläre Stressreaktionen, zelluläre Signaltransduktionswege und programmierten Zelltod.

ENF MF Wirkungen auf die DNS

Aufgrund von epidemiologischen Ergebnissen wurden ENF MF durch die IARC als potentiell karzinogen bei Menschen (Kategorie 2B) eingestuft. Diese Klassifikation wurde weder von Tierstudien noch durch *in vitro* Laborstudien gestützt. Insbesondere bleiben die biophysikalischen und biochemischen Mechanismen, welche für die in epidemiologischen Studien beobachteten Effekte verantwortlich sein könnten, unbekannt. Eines der umstrittensten Themen ist die Frage, ob Exposition zu energiearmen EMF (ENF MF und HF MF) genotoxisch ist, also ob diese Exposition zu Schädigung der DNS führt. Die Ergebnisse von Schär und Mitarbeitern deuten darauf hin, dass ENF MF nicht zu direkter oder indirekter Schädigung der DNS führen, aber einen hemmenden Einfluss auf die DNS-Reparatur haben. Dies könnte zu einer Zunahme von nicht reparierter DNS führen, welche als Zunahme der DNS-Schädigung erscheinen mag. Die beobachtete DNS-Schädigung kann in Zellen entweder spontan (als Teil normaler physiologischer Abläufe) oder als Konsequenz von DNS-schädigenden Mitteln (chemisch oder physikalisch) auftreten. Primo Schär und seine Mitarbeiter spekulieren, dass die Zunahme von spontan erfolgender DNS-Schädigung in den Zellen nicht besonders problematisch ist, da die beschädigte DNS leicht repariert werden kann, obwohl die Reparatur durch die ENF MF Exposition verzögert sein mag. Eine entsprechende, durch ENF MF induzierte Verzögerung der Schadensbehebung mag jedoch ernsthaftere Konsequenzen haben, wenn die ursprüngliche Schädigung durch chemische oder physikalische Mittel erfolgt.

Diese Ergebnisse müssen durch andere Gruppen bestätigt werden. Es wird auch notwendig sein, die Bedeutung der Ansammlung von beschädigter DNS für zelluläre Abläufe und auf die Transformation einer Zelle zu einer Tumorzelle zu untersuchen.

HF EMF Wirkungen auf *C. elegans*

C. elegans wurde durch die Forschungsgruppe von Pomerai (Daniells et al. 1998) als biologisches Modellsystem zum Studium von HF EMF eingeführt. Erste Ergebnisse deuteten darauf hin, dass HF EMF nicht-thermische Auswirkungen auf die stressinduzierte Signaltransduktion hat. Weitere Untersuchungen derselben Gruppe zeigten aber, dass diese Ergebnisse wahrscheinlich durch unpräzise Dosimetrie der Expositionskammer verursacht wurden (Dawe et al. 2006). Die Publikation von Pomerai et al. (2000) in *Nature* wurde daraufhin zurückgezogen (Rückzug in *Nature* 2006, 440, 437). Schliesslich haben weitere Untersuchungen die Abwesenheit einer Reaktion auf Exposition dokumentiert und damit die Sicht bestärkt, dass das Modellsystem *C. elegans* nicht empfindlich auf HF EMF ist (Dawe et al. 2008; 2009).

Die Gruppen von Mevissen und Goloubinoff verwendeten zwei verschiedene mutierte Stämme von *C. elegans*, um die Auswirkungen von HF EMF zu untersuchen. Es wurde keine klare Auswirkung von nicht-thermischer HF EMF Exposition gefunden (die Zunahme der GFP-Fluoreszenz ist zu vorläufig, um als klarer positiver Effekt bewertet zu werden). Insgesamt sind die Ergebnisse damit in Einklang mit den erwähnten früheren Studien. Zusammenfassend zeigt *C. elegans* keine EMF induzierten Veränderungen.

Die vorläufigen Befunde von Mevissen über HF EMF-induzierte Veränderungen von Proteinen in Zellkulturen sind interessant; ihre Interpretation ist aber noch verfrüht. Mehr Daten sind notwendig.

4.4 Modul 4: Risikowahrnehmung

Allgemeine Betrachtungen

Es ist nicht einfach, die Bevölkerung angemessen über Risiken und Vorteile der Mobilkommunikation zu informieren. Das Ziel geeigneter Informationsvermittlung ist die Weitergabe des gegenwärtigen Wissensstandes in einer objektiven und bildenden Weise. Gleichermassen ist es wichtig, dass Laien auf eine Art und Weise informiert werden, dass sie den Inhalt verstehen und auch als glaubwürdig erachten können. Insgesamt bewerten Laien die Risiken höher als Experten, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind: a) die Gefahren sind unbekannt; b) die Technologie ist nicht vertraut; c) die Exposition kann nicht beeinflusst oder kontrolliert werden; d) die Risiken werden durch die Vorteile nicht aufgewogen und diejenigen, die exponiert werden, sind nicht dieselben, die profitieren (Ungerechtigkeit) und e) potentiell ernsthafte Folgen können nicht ausgeschlossen werden (z.B. Langzeiteffekte, gesundheitliche Beeinträchtigungen von künftigen Generationen). Diese Punkte treffen alle für die Mobilkommunikation zu, was eine echte Herausforderung für die

Risikokommunikation darstellt. Um die Öffentlichkeit auf umfassende Art informieren zu können, müssen Bedenken und Haltungen berücksichtigt werden. Verhalten basiert nicht nur auf Fakten oder der Realität, sondern auch darauf, was die Menschen als Wirklichkeit ansehen. Ein Projekt über die Entwicklung von optimierten Strategien für Gesundheitsfachkräfte und weitere Informationsanbieter kam kürzlich zum Schluss, dass ‚Risikokommunikation im besten Fall nicht eine top-down Form der Kommunikation von Experten zu Laien ist, sondern einen konstruktiver Dialog zwischen allen an einer bestimmten Auseinandersetzung Beteiligten darstellt‘ (Lofstedt, 2010).

Es ist wichtig zu verstehen, wie unterschiedlich die Risiken von NIS wahrgenommen werden. Gegner der Mobilkommunikation argumentieren, dass Gefahren wie Rauchen oder Asbest, welche schlussendlich als ernsthafte Bedrohung erkannt wurden, zu lange durch Experten vernachlässigt wurden. Aus Ihrer Sicht werden Risiken von NIS ebenfalls unterschätzt und manchmal wird behauptet, dass Regierung und Industrie Informationen über Gesundheitsrisiken vertuschen. Befürworter der Mobilkommunikation betonen dagegen ihre grossen Vorteile und argumentieren, dass Überprüfungen von Technologien, bevor sie den Markt erreichen, den technologischen Fortschritt hemmen würden. Darüber hinaus weisen die darauf hin, dass bis heute keine eindeutigen Beweise für ernsthafte Gesundheitsrisiken innerhalb des von den Behörden akzeptierten SAR-Bereichs existieren.

In einer Untersuchung von Siegrist und Mitarbeitern (2005) waren Vorbehalte über EMF assoziiert mit der Meinung, dass die meisten chemischen Substanzen Krebs erregen. Es scheint, dass für einige Personen Technologie als solche mit Unheil verbunden ist. Die Autoren glauben, dass für ein bestimmtes Bevölkerungssegment eine wissenschaftliche Begründung keine stichhaltige Aussage darstellt und sie deshalb auch die Risikowahrnehmung nicht beeinflusst. Der Glaube an unerklärliche Phänomene stellt deshalb eine besondere Herausforderung für die Risikokommunikation dar.

Die Massenmedien spielen eine zentrale Rolle in der Risikokommunikation. Die Art und Weise der Berichterstattung kann zu einer Erhöhung oder einer Senkung der Risikowahrnehmung führen. Ein Ansatz zur Bewertung des Ist-Zustandes in der Schweiz besteht in einer Inhaltsanalyse bei Medien. Ein ähnlicher Zugang wurde kürzlich in Deutschland gewählt (Elvers et al., 2009). Die vorliegende Untersuchung von Schulz zeigte, dass in einem Webforum von Mobilfunkgegnern und in Zeitungen Mobilfunkantennen sehr grosse Aufmerksamkeit gewidmet wird. Die Errichtung von neuen Mobilfunkantennenanlagen ist oft der Anlass für das Erscheinen von Zeitungsartikeln. Mobile Telefone erhielten sechsmal weniger Beachtung als Mobilfunkantennenanlagen. Dies steht in Gegensatz zu einer Untersuchung in Dänemark, wo Vorbehalte gegenüber Umweltverschmutzung, sowie der Strahlung von Mobiltelefonen und Mobilfunkantennen bewertet wurde (Kristiansen et al. 2009). Die Besorgnis gegenüber Umweltverschmutzung war am höchsten (82%), Bedenken gegenüber Mobiltelefonstrahlung (28%) überwogen aber Bedenken gegenüber Mobilfunkantennen (15%). In anderen Untersuchungen waren dagegen die Vorbehalte gegenüber Mobilfunkantennen höher als gegenüber Mobiltelefonen (Cousin und Siegrist, 2010). Insgesamt scheint die Medienberichterstattung nicht ein zuverlässiger Indikator für die Besorgnis der Bevölkerung zu sein.

Die Analyse von Zeitungsartikeln erlaubt die Bewertung der Wahrnehmung von Gesundheitsthemen. Ein zentrales Ergebnis der Studie von Schulz besteht in der Erkenntnis, dass relativ milde negative Auswirkungen wie Kopfschmerzen oder Schlafstörungen oft als etablierte Fakten wiedergegeben werden; dies ist weniger der Fall für schwere Krankheiten wie Krebs. Die allgemeine negative Bewertung von Gesundheitsfolgen war unabhängig von der befragten Gruppe (z.B. Geschäftsinteresse, Politik, Wissenschaft, Staatsbürger). Im Weiteren verbanden deutsche Zeitungen das Thema ‚Mobiltelefone und Gesundheit‘ mit Risiko und Gefahr ohne den Zusammenhang zu erläutern (Elvers et al., 2009). Es gibt Hinweise auf mikrokulturelle Unterschiede zwischen der Deutschschweiz und der italienisch sprechenden Schweiz. Diese Resultate sind jedoch nicht konsistent, weitere Forschung dazu ist notwendig.

Der Affekt ist zentral zur Bewertung des Risikos von EMF

Eine der Hauptstossrichtungen in Modul 4 bestand in der Untersuchung der Rolle, die der Affekt in der Risikobewertung spielt, einem Aspekt, der in den meisten früheren Untersuchungen vernachlässigt worden war. Die Informationen von Behörden stellen vor allem auf die kognitiven Fähigkeiten der Empfänger ab und gehen implizit davon aus, dass sich Haltungen mit zunehmendem Wissen verändern werden. Haltungen haben jedoch auch affektive und Verhaltenskomponenten; affektive Beurteilungen können unabhängig von Verhaltensbeurteilungen sein (Siegrist et al., 2005). In der

Risikobewertung können zwei Systeme unterschieden werden: Einerseits das ‚Erfahrungssystem‘, welches auf Bildern, Metaphern und Geschichten beruht und andererseits das ‚analytische System‘, welches sich auf Wahrscheinlichkeiten, logischem Denken und wissenschaftlichen Nachweisen abstützt. In der Bewertung von Gefahren verwenden Laien oft das Erfahrungssystem. Es erlaubt eine rasche erste Beurteilung, ob ein Reiz gut oder schlecht ist. Nach Siegrist sind Bilder im menschlichen Geist mit Affekten markiert. Der Vorrat an Affekten eines Individuums besteht aus positiven und negativen Markierungen, welche bewusst oder unbewusst mit den Bildern verbunden sind. Im Fall der Mobilkommunikation ist die Gefahr stark stigmatisiert, da Strahlung oft als ‚Elektromog‘ bezeichnet wird. Die negativen Eigenschaften der Luftverschmutzung werden damit auf Strahlung übertragen ohne Beweis, dass eine wirkliche Gesundheitsgefährdung tatsächlich vorliegt.

Die Bedeutung von Vertrauen in der Risikokommunikation

Die vorliegende Studie von Siegrist zeigte klar auf, dass affektive Beziehungen zur Mobilkommunikation stark mit Vertrauen zusammenhängen. Der Einzelkategorie implizite Assoziationstest (IAT) ergab eine hohe Korrelation zwischen der Einstellung zu Antennenanlagen und Vertrauen. Vertrauen ist besonders wichtig, wenn Personen wenig über eine Gefahr wissen. Eine vertiefte Forschung zum genauen Zusammenhang zwischen Affekt und Vertrauen ist notwendig.

Die Wichtigkeit von Vertrauen in effektiver Risikokommunikation wurde auch in einer neueren dänischen Studie (Nielsen et al., 2010) eindrucksvoll aufgezeigt. Die Studie fand, dass Risikokommunikation nur wirksam sein kann, wenn die Menschen der Person, welche die Information überbringt glauben. Vertrauen zwischen Informierendem und dem Empfänger der Information ist eine Voraussetzung für effektive Kommunikation. Darüber hinaus muss nicht nur die Auskunftsperson, sondern auch die Botschaft selbst vertrauenswürdig sein.

Die Untersuchung von Siegrist bestätigte, dass das Vertrauen zwischen verschiedenen Teilnehmern unterschiedlich ist: Forschungsinstitutionen und Staatsstellen wurden als vertrauenswürdiger eingeschätzt als Mobilfunkgegner und die Industrie. Die Analyse hat auch offengelegt, dass die Risikowahrnehmung vor Beginn des Experiments einen prägenden Einfluss hat, da Personen mit unterschiedlicher Besorgnis sich auch unterschieden im Vertrauen, dass sie in die verschiedenen Akteure hatten. Forschungsinstitutionen wurden von Besorgten und Unbesorgten als vertrauenswürdig angesehen, wogegen die Industrie von keiner der beiden Gruppen als vertrauenswürdig eingeschätzt wurde. Die besorgten Personen vertrauten den Mobilfunkgegnern stark; eine Botschaft mit dem Ziel, Besorgnis abzubauen, hatte in der Gruppe der Besorgten den gegenteiligen Effekt. So waren selbstberichtete Veränderungen der Besorgnis stark abhängig von der Besorgnis, welche vor dem Experiment bestand. Dieses unerwartete Resultat muss in weiteren Untersuchungen bestätigt werden. Eines der herausragenden Ergebnisse einer kürzlichen Untersuchung (Nielsen et al., 2010) war die Einsicht, dass eine Liste von vorbeugenden Massnahmen die Haltung gegenüber Mobilfunkantennen in beide Richtungen verändern kann. Andere Autoren hatten dagegen gefunden, dass vorbeugende Informationen die Besorgnis erhöhen (Wiedemann und Schütz, 2005).

Die Einstellung gegenüber Mobilfunkantennen

Mobilfunkantennen weisen Elemente typischer Risikoszenarien auf: a) die Exposition zu Strahlung ist unfreiwillig, das Gefühl persönlicher Kontrolle fehlt; b) die Gesundheitsfolgen von Strahlungsexposition sind unbekannt und Experten sind sich uneinig; c) Laien wissen wenig über technologische Aspekte der Strahlung welche von Mobilfunkantennen abgegeben wird.

Aufgrund von IAT-Daten unterscheidet sich die affektive Antwort gegenüber wahrgenommenen Risiken je nach Teilnehmergruppe. Mobilfunkantennen lösten bei Experten in mobiler Kommunikation positive implizite Assoziationen, bei Laien neutrale Assoziationen und bei Gegnern negative Assoziationen aus. Eine vertiefte Analyse konnte aufzeigen, dass Furcht die Risikowahrnehmung stark beeinflusste, wogegen Ärger einen wesentlichen Faktor bei der Wahrnehmung der Vorteile darstellte.

Eine wichtige demografische Variable, die die Risikowahrnehmung beeinflusst, war das Alter. Jüngere Teilnehmer schrieben Mobilfunkantennen weniger Risiken zu als ältere Studienteilnehmer, dies könnte mit der Tatsache zusammenhängen, dass jüngere Personen über ein grösseres Wissen über Mobilfunkkommunikation verfügen (Cousin und Siegrist, in press). Es ist bekannt, dass Vertrautheit die Besorgnis über Risiken reduziert.

Wissensversorgung hatte eine positive Auswirkung auf realistische Entscheide über Mobilfunkantennen. Vertiefte Information führte zu verminderter Besorgnis und erhöhten positiven expliziten Affekten. Zusätzlich verschoben sich Gesundheitsbedenken weg von Mobilfunkantennen und hin zu Mobiltelefonen, welche die wichtigere Strahlungsquelle darstellen (Cousin und Siegrist, in press).

Standorte von Mobilfunkantennen

Standorte von Mobilfunkantennen sind in der Schweiz ein umstrittenes Thema. Experten sind sich einig, dass Standorte im Zentrum eines Dorfes die Strahlungsexposition der Bevölkerung minimieren. Mobiltelefone strahlen stärker, wenn die Mobilfunkantennen weit entfernt sind. Die Umfrage zeigte jedoch, dass entfernte Standorte von Mobilfunkantennen vorgezogen werden. Zusätzlich sprachen sich die Befragten, wohl aus ästhetischen Gründen, dafür aus Mobilfunkantennenanlagen abzudecken.

Eine wichtiges Ergebnis bestand in der Einsicht, dass Versorgung mit Wissen einen Einfluss auf rationale Standortentscheide für Mobilfunkantennen hatte. Studienteilnehmer, die mit Wissen versorgt wurden, zogen Standorte im Zentrum des Dorfes vor. Sie zeigten auch positivere implizite Affekte als die Kontrollgruppe. Eine Conjoint-Analyse – ein neuartiger Ansatz in der Umweltbewertung – welche mit einer grossen Probe durchgeführt wurde, zeigte auf, dass die Möglichkeit der Teilnahme am Entscheidungsprozess für Standorte von Anwohnern als wichtig erachtet wird.

5. Schlussfolgerungen für Gesundheit und Umwelt

5.1 Modul 1: Dosimetrie und Expositionsmessung

Exposition des Fötus

Ein zentrales Ergebnis des Projekts ist die Erkenntnis, dass für Felder, welche beim Fötus mit den Referenzwerten für die Allgemeinheit konform sind, auch die Basisgrenzwerte in allen untersuchten Fällen eingehalten werden. Basierend auf den vorliegenden Resultaten kann diese Aussage jedoch als Folge von kleinen Sicherheitsmargen nicht verallgemeinert werden. Weitere Forschung ist notwendig, um die bestehenden Unsicherheiten besser zu verstehen.

Die Simulationen mit Induktionskochherden zeigten Probleme und die Forscher erklärten: ‚Geräte die mit den Referenzwerten nach [CENELEC, 2002] konform sind, werden bei kurzen Abständen zu signifikanten Überschreitungen der Expositionsgrenzwerte führen. Sie verletzen deshalb die Basisgrenzwerte für die Exposition sowohl der Mutter als auch des Fötus. Angesichts der starken Gradienten von Magnetfeldern in der unmittelbaren Umgebung der Quelle, ist dies wahrscheinlich auch für andere Haushaltgeräte, welche starke Magnetfelder abgeben, der Fall‘. Zukünftige Anpassungen von Produktstandards sollten die Eigenschaften von Magnetfeldern in geeigneter Weise berücksichtigen und alle möglichen Expositionsszenarien und Anwenderstandorte ebenso wie die besonderen anatomischen Eigenschaften von schwangeren Frauen einbeziehen.

Die Autoren schreiben: ‚Zusammenfassend sollten die Ergebnisse dieser Untersuchung als Aufforderung an die Standardisierungsorganisationen betrachtet werden, die gültigen Produktstandards unter Berücksichtigung der ENF Felder, welche durch Haushaltgeräte abgegeben werden, zu überprüfen und sie wo notwendig zu überarbeiten. Hersteller von Induktionskochherden und anderen Haushaltsgeräten könnten Verbesserungen, welche reduzierte Expositionen bewirken, pro-aktiv in Betracht ziehen‘.

Kumulative Exposition des zentralen Nervensystems im Zeit und Frequenzbereich

In verschiedenen Ländern wurden die Auswirkungen von Freisprecheinrichtungen diskutiert. Es wurde behauptet, dass der Ohrhörer von Freisprecheinrichtungen die lokale Strahlung im Ohr erhöhen könnte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen eindeutig, dass dies nicht der Fall ist.

Die Daten eines Expositionsvergleichs in einer realen Umgebung während des Autofahrens hoben die um einen Faktor 100 tieferen Leistungswerte von Mobiltelefonen, welche das UMTS System verwenden, hervor. Die Expositionssituation verändert sich zu Hause und am Arbeitsplatz von WLAN in Richtung Funkausleuchtung, d.h. Innenraumsituationen unterscheiden sich von der üblichen Mobilfunkantennenausleuchtung im Aussenbereich. Eines der Ergebnisse dieser Untersuchung ist, dass die Expositionssituation für beide Situationen ähnlich ist: In beiden Fällen ist die Exposition sehr schwach.

Beobachtung lebender Zellen während der Exposition gegenüber Magnetfeldern

Diese Forschung ist durch das zunehmende Interesse an der Frage, ob EMF in der Lage sind, nicht-thermische biologische Auswirkungen auf einem zellulären Niveau zu bewirken, angespornt. Das Projekt ist auch im Zusammenhang mit der WHO Forschungsagenda 2006 relevant. Es wurde ein einzigartiges, gut charakterisiertes Hilfsmittel entwickelt, das in ein optisches Mikroskop integriert ist und sich für das Studium der Auswirkungen von ENF MF Exposition auf lebende Zellen eignet. Dieses bildgebende Verfahren wird es erlauben, mehrere für die Krebsentwicklung und das zentrale Nervensystem relevante molekulare und zellspezifische Signalwege zu verfolgen. Die Ergebnisse solcher Studien sollten die Identifikation von relevanten Mechanismen und Expositionsparametern erlauben. Das System könnte also sowohl im Gebiet der Risikoforschung als auch bei für neuartigen medizinischen Behandlungsansätzen einen Beitrag leisten.

5.2 Modul 2: Laborstudien und Epidemiologie

EMF Auswirkungen auf das Gehirn: Veränderungen im Schlaf-EEG

Die Ergebnisse bestätigen, dass pulsmodierte HF EMF, wie sie etwa von Mobiltelefonen abgegeben werden, die menschliche Hirnphysiologie durch einen nicht-thermalen Mechanismus beeinflussen. Insbesondere induzieren pulsmodierte Frequenzkomponenten innerhalb einer physiologischen Bandbreite Kurzzeit-Effekte im EEG von gesunden jungen Freiwilligen. Der spezifische Effekt der Leistungszunahme im Spindelfrequenzbereich während des Non-REM-Schlafs, ist kaum ein Grund zur Besorgnis, da Schlafspindeln als Zeichen für ‚guten Schlaf‘ betrachtet werden. Die Resultate wären problematischer, falls die Schlafspindeln unterdrückt worden wären. Es ist auch beruhigend, dass sowohl die objektive wie auch die subjektive Schlafqualität nicht beeinträchtigt wurden. Im Gegensatz zu einigen Behauptungen in der Öffentlichkeit, merkten die Teilnehmer nicht, ob sie HF EMF gegenüber exponiert waren oder nicht. Auch gibt es bis heute keine Ergebnisse, die daraufhin deuten würden, dass Kinder oder Jugendliche gegenüber HF EMF empfindlicher wären als Erwachsene. Eine kleine Auswirkung auf die Kognition könnte vorhanden sein, da das 217 Hz pulsmodierte Signal die Reaktionszeit (nicht aber die Genauigkeit der Leistung) zu reduzieren schien. Diese Beobachtung muss in weiteren Untersuchungen bestätigt werden. Alle Ergebnisse beziehen sich auf kurzzeitige Exposition. Sie sind zur Vorhersage der Auswirkungen von langfristiger Exposition nicht geeignet. Obwohl der Wirkungsmechanismus unklar blieb, deuteten einige Ergebnisse auf eine Rolle des Thalamus hin.

Zusammenfassend deuten die vorliegenden Resultate nicht auf nachteilige Auswirkungen von akuter EMF Exposition auf das Gehirn hin. Die Tatsache, dass EMF die Hirnphysiologie beeinflussen, ist jedoch ein Grund, um die gültigen Begrenzungen der EMF Exposition beizubehalten. Personen, die über allfällige negative Gesundheitsfolgen besorgt sind, sollten zum Gebrauch von Fernsprecheinrichtungen ermutigt werden; so kann die Exposition des Gehirns dramatisch reduziert werden. Offensichtlich braucht es weitere Forschungsanstrengungen, um die Wirkungsmechanismen besser zu verstehen und kritische EMF Parameter, welche für die beobachteten Effekte verantwortlich sind, präziser definieren zu können.

EMF Auswirkungen auf das Gehirn: Veränderungen in der Hirndurchblutung

Die Ergebnisse deuten zum ersten Mal darauf hin, dass es kleine Auswirkungen von periodischer UMTS-EMF Exposition auf die Hirndurchblutung geben könnte. Die gemessenen Stärken der EMF induzierten Veränderungen der kortikalen Durchblutung lagen innerhalb der physiologischen Variabilität von normaler Hirnaktivität und waren im Vergleich zu Veränderungen, welche durch Stress oder physische Aktivität ausgelöst werden, klein. Sie sollten deshalb nicht Anlass zu gesundheitlichen Bedenken geben. Auch wurden keine negativen Auswirkungen auf das Wohlbefinden oder die kognitive Leistung gefunden. Der gegenwärtige Stand dieser Forschung gibt also keine Hinweise, dass Expositionsgrenzwerte angepasst werden müssten. Es sollten jedoch weitere Studien durchgeführt werden, um die Ergebnisse zu bestätigen und um die Probandenpopulation über gesunde junge Männer hinaus auszudehnen. Auch sollten EMF Modalitäten, welche verschieden von den untersuchten sind, getestet werden. Wie auch bei der durch EMF induzierten Veränderung des Schlaf EEG stellt die Tatsache, dass EMF die Hirndurchblutung beeinflussen, einen hinreichenden Grund für die Fortsetzung der entsprechenden Forschung dar.

Prospektive Kohortenstudie zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität und HF EMF

Die Ergebnisse sind beruhigend, da in einer prospektiven Studie, welche den früher verwendeten Querschnittbetrachtungen überlegen ist, kein Zusammenhang zwischen HF Exposition und Krankheit gefunden wurde. Dieses Ergebnis stimmt mit den Resultaten von Provokationsstudien, die auch keine Gesundheitsauswirkungen von HF Exposition fanden, überein. Es wäre jedoch verfrüht, die Möglichkeit auszuschließen, dass HF Exposition unter anderen Umständen, beispielsweise einer Expositionsintensität, die viel höher ist, als die normalerweise von der Bevölkerung erlebte, oder in einem besonders empfindlichen Teil der Bevölkerung, zu Gesundheitsstörungen führen könnte. Weitere Forschung welche grössere Stichproben verwendet, ist notwendig, um die vorliegenden Resultate zu bestätigen.

5.3 Modul 3: Zellbiologie

Obschon *in vitro* Laborstudien einen wichtigen Teil der Bemühungen zur Bestimmung, ob EMF die menschliche Gesundheit beeinflusst darstellen, können ihre Ergebnisse doch nur unterstützenden Charakter haben. Sie müssen gemeinsam mit Beobachtungen von epidemiologischen Studien und Studien mit menschlichen Freiwilligen betrachtet werden.

5.4 Modul 4: Risikowahrnehmung

Es ist wichtig bei Betrachtung der Risiken von mobiler Kommunikation die Vorteile der Technologie nicht aus den Augen zu verlieren. Mobiltelefone und weitere mobile Kommunikationsarten sind sehr beliebt und von grosser Bedeutung; ihre weltweite Verbreitung wird auf 4 Milliarden Benutzer geschätzt und nimmt dem Trend nach weiter zu (Olsen, 2010). Bis heute spricht die Gesamtheit der vorliegenden Ergebnisse gegen gesundheitliche Beeinträchtigungen als Folge von unter den gültigen Grenzwerten liegender NIS Exposition. Es wurde keine Störung von wichtigen biologischen Abläufen durch NIS gefunden. Es wäre jedoch verfrüht, Risiken auszuschliessen, nur weil bis heute keine Gefahr gefunden wurde und die Forschung keinen Krankheitsmechanismus identifizieren konnte. Die bestehenden Wissenslücken sollten qualitativ hochstehende Forschung inspirieren, welche entweder zur Entdeckung von neuartigen Wirkungsmechanismen und der Entdeckung von versteckten Risiken von EMF oder zur weiteren Bestätigung, dass die Technologie grundsätzlich sicher ist, führen könnte. Angesichts der Unsicherheiten unterstützen die Behörden das ‚Prinzip Vorsicht‘. Ohne klare Beweise wird die Bevölkerung ihr Verhalten im Zusammenhang mit Mobiltelefonen aber kaum ändern.

Die Projekte in diesem Programm erlauben mehrere Schlussfolgerungen. Die Studien bestätigten, dass die Versorgung der Öffentlichkeit mit angemessener Information von grosser Wichtigkeit ist. Dazu gehören grundlegende Eigenschaften von Strahlung, wie etwa die rasche Abnahme der Strahlungsstärke mit zunehmendem Abstand von Mobilfunkantennenanlagen. Wissensvermittlung trägt zu einer realistischen Risikoabschätzung über Mobilfunkantennen bei. Zusätzlich zur Sachinformation sollte Information über vorbeugende Massnahmen beim Gebrauch von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Geräten zur Verfügung gestellt werden. In einer neueren dänischen Studie wurde gezeigt, dass vorbeugende Ratschläge als nützlicher, umfassender und vertrauenswürdiger eingeschätzt wurden als technische und Sachinformation alleine (Nielsen et al., 2010). Bevorzugt wird Information, bei der nicht die Risikobewertung, sondern die nachfolgende Umsetzung in Ratschläge und Hinweise zum Risikomanagement im Vordergrund steht. Es sollte aber auch festgehalten werden, dass ein Unterschied zwischen Besorgnis und entsprechenden Handlungen beobachtet wurde.

Die Empfehlung von handlungsorientierten Vorsichtsmassnahmen scheint überzeugender und umfassender zu sein, als die Herausgabe von autoritären Richtlinien alleine. Ratschläge sollten sorgfältig formuliert werden und die Fähigkeit der Person zum Treffen von nützlichen Entscheiden zu ihrem Schutz hervorheben.

Der Einbezug in den Prozess ist auch ein zentrales Thema im Hinblick auf Standortentscheide für Mobilfunkantennen. Verbesserte Möglichkeiten zur Teilnahme am Entscheidungsprozess und zur Kontrolle würden helfen, negative Affekte gegenüber Mobilfunkantennen zu reduzieren. Anwohner sollten die Möglichkeit haben, ihre Bedürfnisse einzubringen und in Entscheide über Standorte einbezogen werden.

Zur Erhöhung des Vertrauens in Entscheide über Mobilkommunikation wurden mehrere Massnahmen vorgeschlagen. Dazu gehört die Verbreitung von Information über Standort- und Betriebseigenschaften von Mobilfunkantennen. Auch könnten interessierten Personen der Zugang zu Dosimetern ermöglicht werden, so dass verschiedene Strahlungsquellen erkannt und Vorsichtsmassnahmen getroffen werden können.

Äusserungen von der Mobilfunkindustrie werden kaum eine Wirkung haben, da sie sowohl in der vorliegenden, als auch in früheren Untersuchungen (Kristiansen et al., 2009) als wenig vertrauenswürdig bezeichnet wurden. Umso wichtiger ist es, wie die Behörden den Stand des Wissens kommunizieren und auch bestehende Unsicherheiten offen ansprechen. Eine sorgfältige Ausdrucksweise ist entscheidend. Der Begriff ‚Elektrosmog‘ impliziert schädliche Auswirkungen von Strahlung vergleichbar zu Luftverschmutzung und sollte vermieden werden.

6. Errungenschaften des Programms

Ein Hauptziel des NFP 57 war, eine Grundlage für eine verbesserte Abschätzung allfälliger Gesundheitsrisiken von EMF Exposition zu schaffen, dies auch als Teil internationaler Bemühungen zur Klärung dieser Fragen. Das Ziel war nicht die umfassende Behandlung aller Themen, die mit EMF zusammenhängen, sondern bestand darin, sich auf spezifische Problembereiche zu konzentrieren, zu denen einerseits die Sachkompetenz in der Schweiz vorhanden war und in welchen andererseits Forschungsprojekte innerhalb einer Dreijahresperiode mit den zur Verfügung stehenden Mitteln realisiert werden konnten. Dementsprechend ist die Breite der Resultate beschränkt. Die Ergebnisse bekräftigen jedoch die Notwendigkeit zur weiteren Untersuchung der potentiellen Auswirkungen von EMF und der zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen in vielfältigeren Modellsystemen.

Die Ergebnisse von zwei Projekten zeigten, dass Exposition zu HF EMF Auswirkungen auf das Gehirn hat. Die Erkenntnis, dass Signalmodulation eine Voraussetzung für die EEG Auswirkungen auf das Gehirn ist, stellt einen wichtigen Schritt im Bemühen um die Aufklärung des Wirkungsmechanismus dar. Das verzögerte Auftreten von HF EMF induzierten Veränderungen deutet darauf hin, dass Exposition möglicherweise eine Kette von Ereignissen auslöst.

Die Bestätigung von EMF-induzierter DNS Fragmentierung und die Erkenntnis, dass dieser Effekt keine Folge von direkter DNS-Schädigung durch EMF ist, stellt einen wichtigen Beitrag zum Forschungsgebiet dar. Darüber hinaus deutet die Tatsache, dass nur periodische Exposition eine Wirkung hat, auf die Beteiligung von komplexen zellulären Prozessen hin. Das Fließgleichgewicht von DNS-Strangbrüchen könnte durch eine Störung des Zellzyklus, der metabolischen Aktivität und der Induktion von programmiertem Zelltod beeinflusst werden.

Zusammenfassend dokumentierten die Untersuchungen zur Hirnphysiologie und Zellbiologie nicht nur Auswirkungen von EMF, sie machten darüber hinaus auch erste Schritte zur Aufklärung der zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen. Es kann erwartet werden, dass Einsichten in Wirkungsmechanismen Grundlagen zur Bewertung von Gesundheitsfolgen liefern werden. Solche Bewertungen sind heute noch nicht möglich. Trotzdem scheint angesichts der gefundenen physiologischen und zellulären Auswirkungen eine vorsichtige Politik in Bezug auf EMF Exposition angemessen zu sein.

Die epidemiologische Untersuchung zeigte keinen Zusammenhang zwischen Exposition und Gesundheitsbeschwerden auf. Dies ist beruhigend, insbesondere angesichts der Tatsache, dass für Aufzeichnung und Modellierung von Expositionen modernste Verfahren verwendet wurden, auch wenn Unsicherheiten, besonders im Hinblick auf die Abschätzung individueller Expositionen, verbleiben. Die Untersuchung schliesst jedoch nicht aus, dass nach Betrachtung von höheren Expositionsniveaus über längere Zeiträume und bei Berücksichtigung anderer Endpunkte (z.B. chronische Krankheiten) Resultate von anderer Natur erhalten werden könnten.

Eine besonders wertvolle Errungenschaft des Programms besteht in den neuartigen Erkenntnissen über Expositions und Dosimetriebewertung der Allgemeinheit für verschiedene Kommunikationstechnologien. Die Einführung neuer Technologien sollte weiter begleitet werden. Die erhaltenen Daten für schwangere Frauen und Föten haben Risiken aufgezeigt, die von den Gesundheitsbehörden berücksichtigt werden sollten.

Risikokommunikation bleibt ein heikles Thema. Die Studien zeigten, dass das Ausräumen von Fehlkonzeptionen eine Herausforderung darstellt, die durch verstärkende Kommunikationsstrategien angegangen werden kann.

6.1 Physiologie und Zellmetabolismus

Ein Hauptziel der EMF Forschung besteht in der Bereitstellung von Wissen über mögliche Gesundheitseffekte. Die Dokumentation von Auswirkungen von EMF auf physiologische und biologische Prozesse ist ein erster wichtiger Schritt dazu. Wenn derartige Auswirkungen klar und wiederholt aufgezeigt worden sind, muss die Untersuchung des Wirkungsmechanismus folgen. Ein solcher Ansatz wurde in einigen Projekten dieses Forschungsprogramms verfolgt.

Die EMF Forschung leidet unter der Inkonsistenz von Ergebnissen. Ergebnisse einer Gruppe können oft durch andere Gruppen nicht wiederholt werden, was Zweifel an der Gültigkeit von EMF Effekten aufkommen lässt. Die Reproduzierbarkeit von Resultaten ist deshalb eine zentrale Voraussetzung für den eindeutigen Nachweis, dass eine Wirkung wirklich vorhanden ist. Innerhalb des NFP 57 wurden drei früher berichtete Auswirkungen von HF EMF bestätigt und erweitert: (1) Leistungserhöhungen im Schlaf-EEG in einem spezifischen Frequenzbereich; (2) Auswirkungen auf die Hirndurchblutung und (3) eine Zunahme der DNS-Fragmentierung.

Eines der deutlichsten Ergebnisse ist die Auswirkung auf das Schlaf-EEG. Exposition zu HF EMF führte immer zu einer Leistungszunahme im Spindelfrequenzbereich (12-15 Hz) im Non-REM-Schlaf. Derartige Veränderungen wurden durch Achermann und Mitarbeiter in vier getrennten früheren Untersuchungen gefunden und in drei zusätzlichen Studien im Rahmen des vorliegenden Programmes bestätigt. Ein ähnlicher Effekt wurde auch durch eine andere Gruppe (Loughran et al. 2005). gefunden. Um kritische Signalparameter zu identifizieren, haben Achermann und sein Team die Modulationscharakteristiken (Mobiltelefon-ähnlich vs Mobilfunkantennen-ähnlich), die Signalstärke (0.2 - 5 W/kg), das Tastverhältnis verschiedener Komponenten und die Trägerfrequenz verändert. Es stellte sich heraus, dass die Pulsmodulation zentral ist für das Auftreten der Veränderung im Schlaf-EEG. Weder die unmodulierte Trägerfrequenz alleine noch tieffrequente Magnetpulse ohne Träger hatten eine Wirkung. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Veränderung des Schlaf-EEG auf eine Wirkung auf die Grosshirnrinde zurückgeht, da Strahlung, welche tiefere Hirnschichten nicht erreicht, denselben Effekt hatte.

Frühere Untersuchungen über die Auswirkungen von HF EMF auf die Hirndurchblutung wurden durch Wolf und Mitarbeitern mithilfe von Infrarotspektroskopie bestätigt. Obschon ein UMTS-mobilfunkantennenähnliches Signal verwendet wurde, war die Wirkung vergleichbar zu derjenigen von Mobilfunktelefonen. Die Abwesenheit einer Dosis-Wirkungsbeziehung ist verwirrend und muss weiter untersucht werden.

Ein früherer Bericht, dass DNS-Fragmentierung in Säugetierzellen nach HF EMF Exposition erhöht ist, zog als Folge der potentiellen Gesundheitskonsequenzen von DNS-Schädigung eine beträchtliche Aufmerksamkeit auf sich. Eine Bestätigung dieser Resultate schien angezeigt. Schär und Mitarbeiter bestätigten die Beobachtung an menschlichen Fibroblasten. Für ihre Studien über ENF MF Exposition verwendeten sie ein bildgebendes Verfahren, das als Teil des Forschungsprogramms entwickelt worden war. Periodische Exposition mit 50 Hz MF erhöhte die DNS-Fragmentierung in primären menschlichen Fibroblasten. Schär und sein Team fanden, dass dieser Effekt nicht aufgrund einer physikalischen Schädigung der DNS oder einer Zunahme von reaktiven Sauerstoffverbindungen, die die DNS schädigen könnten, zustande kam. Die Ursache der erhöhten DNS Fragmentierung lag in kleinen Störungen der DNS Synthese und gelegentlicher Auslösung von zellulärer Apoptose. Im Unterschied zu ionisierender Strahlung, welche eine nichtreparierbare Schädigung der DNS hervorrufen, scheinen EMF keine derartige Wirkung zu haben. Die Charakterisierung dieses indirekten Wirkungsmechanismus von EMF auf zelluläre Abläufe stellt einen wesentlichen Beitrag zum Forschungsgebiet dar.

Für die Identifikation von zellulären Auswirkungen von EMF können Modellsysteme hilfreich sein. Verschiedene Veränderungen von Proteinen, welche an zellulärer Stressantwort und Apoptose beteiligt sind, wurden von Mevissen und Mitarbeitern beobachtet. Diese Beobachtungen sind noch von vorläufiger Natur und müssen in weiteren Untersuchungen bestätigt und erweitert werden.

Der Rundwurm *C. elegans* wird häufig als Modellsystem verwendet. Die Teams von Mevissen und Goloubinoff untersuchten mögliche Auswirkungen von HF EMF auf Signaltransduktionswege, Protein-homöostase und Motilität. Zusätzlich wurde ein transgenes Moos, das sehr sensitiv auf abiotischen Stress ist, untersucht. Keine der untersuchten Variablen wurde eindeutig durch EMF Exposition beeinflusst. Obwohl diese Modellorganismen auf kleinste Umweltveränderungen reagieren (z.B. Temperaturschwankungen) scheinen sie nicht durch EMF beeinflusst zu werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Studien über physiologische und zelluläre Auswirkungen von EMF zwei wichtige Fortschritte brachten. (1) Hinweise auf Auswirkungen von HF EMF auf die Funktion des menschlichen Gehirns (gemessen durch EEG) wurden konsolidiert, erweitert und dank genauerer Feldparameter präziser gefasst. (2) Die Wirkung von ENF MF auf die DNS wurde bestätigt und der indirekte Mechanismus, der zu ihnen führt, wurde charakterisiert.

6.2 EMF Exposition und Gesundheitsfolgen

In der Studie von Rööslü und Mitarbeitern wurden Nutzungsdaten über Mobiltelefone ausgewertet um zum ersten Mal mögliche Auswirkungen auf Symptome, insbesondere Kopfschmerzen, abzuklären. Neuartig waren auch das Kohortendesign zum Studium der Auswirkungen von HF EMF während eines Jahres und die Expositionsmessungen mit Hilfe von tragbaren Geräten während einer Woche. Dieser Ansatz erlaubte die Quantifizierung der Expositionsniveaus und die Aufteilung der Gesamtexposition auf verschiedene Quellen. Das Hauptresultat bestand in der Abwesenheit eines Zusammenhangs zwischen Gesundheitsstörungen und der täglichen Exposition zu HF EMF aus der Umgebung. Insbesondere wurde kein Zusammenhang zwischen dem Schlafverhalten und der Expositionssituation im Schlafzimmer gefunden.

Die Untersuchung hatte auch ihre Limitierungen. Zum Beispiel war die durchschnittliche Exposition der untersuchten Population wesentlich tiefer, als es die gegenwärtig gültigen schweizerischen Expositionsgrenzwerte erlauben würden. Es können also keine Schlüsse über Auswirkungen von höherer Exposition gezogen werden. Zu weiteren möglichen Limitierungen gehören eine mögliche Selektionsverzerrung, die Stichprobengrösse und die Beschränkung der Untersuchungsdauer auf ein Jahr. Trotzdem sollte betont werden, dass die vorliegenden Ergebnisse nicht darauf hindeuten, dass HF EMF Exposition Gesundheitsfolgen hat. Dies steht in Einklang mit der Mehrheit der publizierten Ergebnisse und stärkt die Hinweise darauf, dass keine Wirkung vorhanden ist.

6.3 Dosimetrie und Expositionsmessung

Kühn und Kollegen untersuchten die HF EMF Exposition des Gehirns. Sowohl nahe wie auch entfernte Quellen wurden berücksichtigt. Phantome stellten die elektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers und des Gehirns dar. Zur Simulation von SAR in verschiedene Hirnregionen wurden geeignete Hilfsmittel entwickelt und angewendet. Als Folge von unterschiedlichem Nutzungsverhalten, Gerätedesign und unterschiedlichen Signaleigenschaften resultierten grosse Differenzen. Die Modelle waren in der Lage, die SAR, welche durch verschiedene Quellen in Hirnregionen induziert wurde, vorherzusagen. Sie werden wertvoll für Dosisabschätzungen in epidemiologischen Studien und für Konsumenteninformation zur Exposition von Individuen sein.

Christ und Mitarbeiter charakterisierten die Exposition des Fötus gegenüber verschiedenen EMF Quellen. Detaillierte Computermodelle von Frauen während verschiedener Schwangerschaftsstadien beinhalteten elektrische Gewebeeigenschaften. Zu den Hauptergebnissen gehört, dass die beruflichen Expositionsgrenzwerte für schwangere Frauen zu hoch sind und dass einige Produktstandards (Induktionskochherde) zu SAR im Fötus führen können, die zu hoch sind.

Capstick und sein Team entwarfen und entwickelten ein miniaturisiertes ENF MF Expositionssystem, das in ein Mikroskop integriert werden kann. Die Beobachtung lebender Zellen kann mit der Exposition zu Magnetfeldern kombiniert werden. Ein computergesteuertes System bestimmt, verfolgt und registriert Expositionsniveaus während des Experiments und ermöglicht damit auch Blindstudien. Das System wurde im oben diskutierten Projekt von Schär erfolgreich angewandt.

6.4 Risikowahrnehmung

Bis heute existieren keine Beweise für Gesundheitsbeeinträchtigungen durch HF EMF, die Möglichkeit kann aber auch nicht ausgeschlossen werden. Die Öffentlichkeit erwartet einen allgegenwärtigen Gebrauch von Mobiltelefonen, ist aber zur selben Zeit besorgt über ‚Elektrosmog‘, der von in der Nähe gelegenen Mobilfunkantennen abgegeben wird. Darüber hinaus betrachten sich 5% der schweizerischen Bevölkerung als hypersensibel auf elektromagnetische Felder und geben an gesundheitlichen Problemen als Folge von EMF Exposition zu leiden. Diese Umstände erschweren die Versorgung der Bevölkerung mit objektiver Information .

Die Gruppe von Siegrist untersuchte die Faktoren, welche die Wahrnehmung von Risiken und Vorteilen der Mobilkommunikation beeinflussen. Affektive Reaktionen waren von zentraler Bedeutung für die Risikowahrnehmung. Vertrauen und andere affektbezogene Elemente müssen deshalb bei der Risikokommunikation berücksichtigt werden. Interessanterweise war Wissensvermittlung in der Lage, Fehlkonzeptionen abzubauen. Sie führte zu einer realistischeren Standortwahl für Mobilfunkantennen, welche besser auf gesundheitspolitische Erwägungen abgestimmt war.

Schulz und sein Team fanden, dass die Glaubwürdigkeit der Quelle keinen wesentlichen Faktor darstellt für die Übermittlung der Botschaft, dass negative Gesundheitsfolgen von Mobiltelefonstrahlung unwahrscheinlich sind. Im Gegensatz dazu spielten vorgefasste Risikoeinschätzungen der verschiedenen Bevölkerungsgruppen eine zentrale Rolle. Personen welche die Gesundheitsrisiken von EMF als sehr tief einschätzten, wurden in ihrer Meinung durch die Botschaft bestärkt, dagegen wurden diejenigen, welche die Risiken als hoch einschätzten, noch besorgter. Vorbeugende Botschaften erhöhten die Besorgnis nicht. Eine verstärkende vorbeugende Botschaft scheint am überzeugendsten zu sein. Es gibt vorläufige Hinweise auf Unterschiede in der Risikowahrnehmung zwischen der deutschen und der italienischen Schweiz.

6.5 Perspektiven

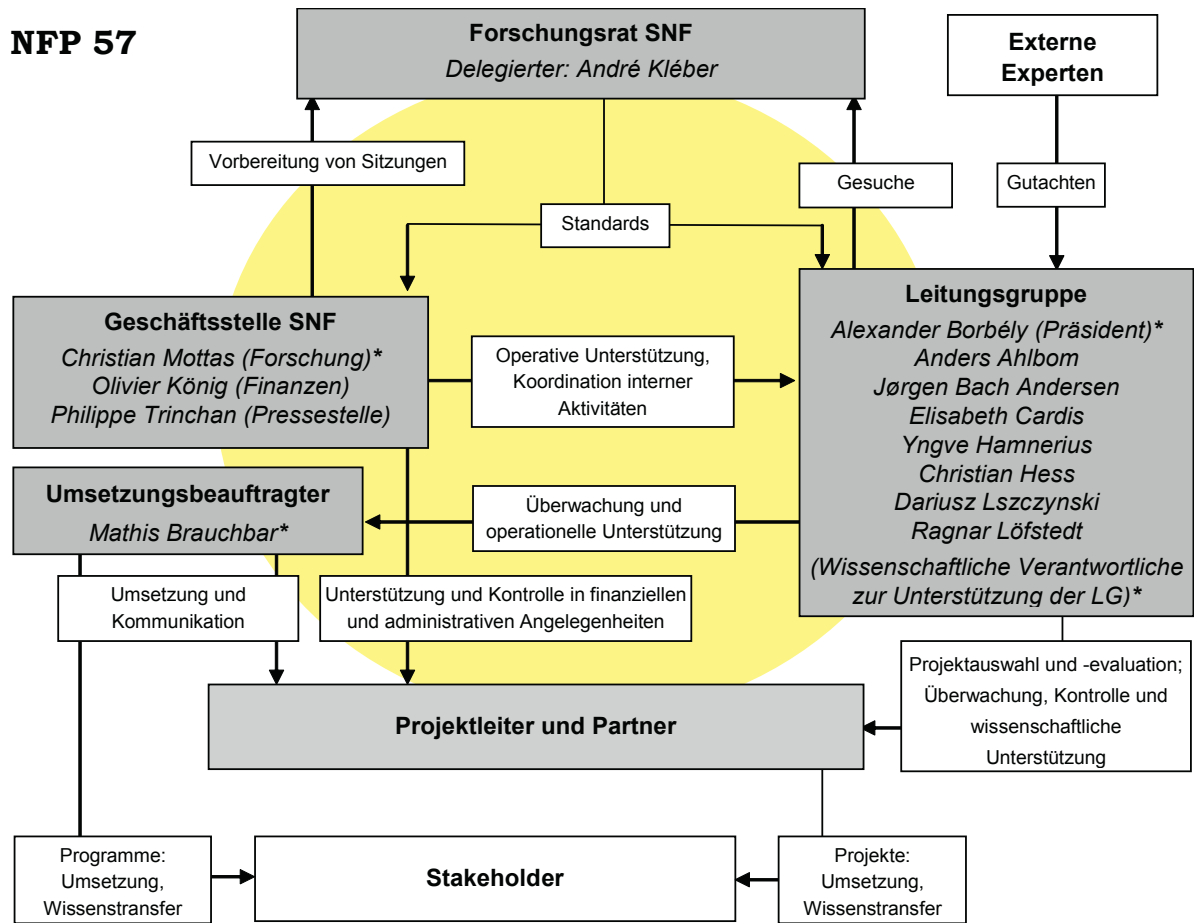
Es ist offensichtlich, dass das NFP 57 die EMF Forschung in der Schweiz gestärkt und den Austausch zwischen den verschiedenen Forschungsgruppen gefördert hat. Es hat auch dazu beigetragen, die internationale Sichtbarkeit von Schweizer Gruppen zu erhöhen. Die im Programm abgedeckten Forschungsthemen entsprechen weitgehend der Liste der Forschungsprioritäten der WHO-Agenda 2010 für das Gebiet Hochfrequenz. Angesichts der Resultate werden Folgestudien über die Wirkung von EMF auf Hirnfunktionen und DNS-Metabolismus besonders wichtig sein. Diese Ansätze erwiesen sich namentlich als erfolgversprechend für die Gewinnung neuer Einsichten in die Mechanismen, welche der Wirkung von EMF auf biologische Systeme zugrunde liegen. Um die Fachkompetenz und das Knowhow, welches während der dreijährigen Dauer geschaffen wurde, zu bewahren, wird es wichtig sein, Wege zu finden, welche die Fortsetzung von Schlüsselprojekten erlauben. EMF-Forschung ist ein langfristiges Bestreben, welches einen angemessenen organisatorischen und finanziellen Rahmen benötigt. Die sich rasch entwickelnden Technologien stellen eine Herausforderung dar, welche nur bei weiterer enger Zusammenarbeit von Experten in Dosimetrie und Naturwissenschaften bewältigt werden kann. Das NFP 57 hat die Grundlage dafür geschaffen.

7. Anhang

7.1 Programmablauf

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Bundesrat bewilligt NFP 57	März						
Beginn			Jan				
Forschung						Ende: Juni	
Umsetzung und Koordination							
Überwachung und Kontrolle							
Zwischenberichte, Veranstaltungen				März	Juni	Sep- tember	
Workshops				3			
Satellitensymposium EBEA/ BEMS 2009					Juni		
Programmsynthese und Ende des Pro- gramms							März

7.2 Organisation und Leitung



* Mitglieder des NFP 57 Büro

Die Abteilung IV (Sektion NFP/NFS) des Forschungsrats

Die Abteilung IV des Forschungsrats trägt die Gesamtverantwortung für die Ausführung von NFP und besteht aus 20 Mitgliedern, die eine grosse Bandbreite an wissenschaftlichen Disziplinen vertreten. Beschlüsse der Abteilung IV bezüglich Annahme oder Ablehnung von Forschungsprojekten werden dem Forschungsratspräsidium zur Ratifizierung vorgelegt. Anhand der Empfehlungen des Forschungsratsdelegierten wählt das Präsidium die Leitungsgruppe, ernennt den Umsetzungsbeauftragten und definiert die Standards zur Projektevaluation. Es beurteilt zudem die Zwischen- und Schlussberichte des Forschungsratsdelegierten und der Leitungsgruppe und unterstützt, wenn nötig, die Durchführung des Programms.

Der Forschungsratsdelegierte

Prof. Dr. André Kléber

Physiologisches Institut, Universität Bern, Schweiz

Der Forschungsratsdelegierte vertritt die Abteilung IV des Forschungsrats in der Leitungsgruppe, gewährleistet den Informations- und Erfahrungstransfer und stellt sicher, dass die Leitungsgruppe getreu den vorgegebenen Rahmenbedingungen und Standards handelt. Er unterbreitet dem Forschungsrat Wahlvorschläge zur Konstitution der Leitungsgruppe sowie die Entscheide der Leitungsgruppen bezüglich Bewilligung oder Ablehnung von Forschungsgesuchen. Zudem berichtet er dem Forschungsrat regelmässig über Entwicklungen im NFP 57.

Die Leitungsgruppe (LG)

Die LG bestand aus acht Mitgliedern, die hauptsächlich strategische Verantwortung für die gesamte Dauer des NFP 57 übernommen haben. Sie bildete das prägende Organ, das dem Programm sein Profil verlieh und das die notwendige Kontinuität und Geschlossenheit in jeder Entscheidung garantierte. Die Leitungsgruppenmitglieder waren für die Beurteilung der wissenschaftlichen Qualität und die Ausführung des NFP 57 zuständig. Dazu haben sie

- _ einen Ausführungsplan erarbeitet
- _ Forschungsgesuche zur Genehmigung durch den Forschungsrat auf Grund von externen Gutachten beurteilt und ausgewählt
- _ Projektskizzen in eigener Instanz abgelehnt
- _ die finanzielle Planung in Zusammenarbeit mit dem Programmkoordinator und den jährlichen finanziellen Bericht zur Genehmigung durch den Forschungsrat überwacht
- _ die wissenschaftliche Koordination organisiert und überwacht
- _ den Fortschritt der Forschungsprojekte und die Zwischen- und Schlussberichte evaluiert
- _ den Präsidenten der LG in internationalen Koordinationstätigkeiten unterstützt
- _ die Umsetzungstätigkeiten überwacht
- _ Umsetzungsdokumente und deren Übereinstimmung mit SNF Qualitätsstandards im Hinblick auf spätere Genehmigung durch den Forschungsrat überprüft
- _ das Umsetzungskonzept (beschreibt zukünftige Umsetzungsaktivitäten; wird noch veröffentlicht werden) dem Forschungsrat zur Annahme empfohlen
- _ die Umsetzungsaktivitäten der einzelnen Projekte und des Gesamtprogramms überwacht und unterstützt
- _ den Umsetzungsbeauftragten bei der Aktualisierung der Zielgruppendatenbank und bei der Redaktion der Editorials für den Programm-Newsletter unterstützt
- _ am Ende des Programms eine wissenschaftliche Synthese und einen Schlussbericht erstellt.

Zur Beurteilung von Projektskizzen und Forschungsgesuchen hat die LG externe Experten zu Rate gezogen, die die wissenschaftliche Qualität der Skizzen und Gesuche gemäss Kriterien des Ausführungsplans anonym beurteilt haben.

Mitglieder der Leitungsgruppe

Prof. em. Dr. Alexander Borbély (Präsident)

Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich, Schweiz

Prof. Dr. Anders Ahlbom

Epidemiologie, Karolinska Institut, Stockholm, Schweden

Prof. Dr. Jørgen Bach Andersen

Institut für Elektronische Systeme, Universität Aalborg, Dänemark

Prof. Dr. Elisabeth Cardis

Centre for Research in Environmental Epidemiology (CREAL), Barcelona, Spanien

Prof. Dr. Yngve Hamnerius

Bioelectromagnetics Group, Technische Universität Chalmers, Göteborg, Schweden

Prof. Dr. Christian Hess

Neurologische Klinik, Inselspital, Bern, Schweiz

Prof. Dr. Dariusz Leszczynski

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

Prof. Dr. Ragnar Löfstedt

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

Präsident der Leitungsgruppe

Prof. em. Dr. Alexander Borbély

Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich, Schweiz

Der Präsident der LG vertrat das NFP 57 intern und gegen aussen. Er koordinierte die Kontakte zwischen interessierten Dritten und der LG. Als interessierte Dritte galten insbesondere die eidgenössischen und kantonalen Behörden, sowie weitere sozial-, umwelt- oder wirtschaftspolitische Organisationen. In Zusammenarbeit mit dem Programmkoordinator war der Präsident für die wissenschaftliche Koordination der angenommenen Forschungsprojekte zuständig und überwachte und unterstützte den Umsetzungsbeauftragten mit seinen wissenschaftlichen Fachkenntnissen.

Wissenschaftliche Verantwortliche zur Unterstützung des Präsidenten der LG

Dr. Sonja Negovetic,

Dr. Sabine Regel

Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich, Schweiz

Der Präsident der LG wurde durch zwei teilzeitbeschäftigte wissenschaftliche Verantwortliche unterstützt, die ihm bei der laufenden technischen Kommunikation mit den Forschungsgruppen und der Kommunikation zu vergleichbaren Programmen in der Schweiz oder im Ausland halfen. Die wissenschaftlichen Verantwortlichen waren für die Inhaltsentwicklung der Aktivitäten im öffentlichen Bereich (NFP 57 Website, Informationsveranstaltungen, Publikationen in den Medien) und für die Organisation von jährlichen Konferenzen und themenbezogenen Workshops zur Förderung eines offenen und interdisziplinären Dialogs zwischen den Forschern zuständig. Sie unterstützten den Präsidenten der LG auch beim Entwurf des abschliessenden Syntheseberichts.

Umsetzungsbeauftragter

Mathis Brauchbar

Advocacy AG, Communication and Consulting, Zürich, Schweiz

In Absprache mit dem Presse- und Informationsdienst des SNF nominiert die LG einen Umsetzungsbeauftragten, der dann vom Forschungsrat ernannt wird. Der Umsetzungsbeauftragte arbeitet eng mit der Geschäftsstelle des SNF zusammen. Der Umsetzungsbeauftragte des NFP 57 hatte einen klar definierten Verantwortungsauftrag, der sicherstellte, dass die Umsetzung des Programms forschungsgebietgerecht erfolgte, die Durchführung der Umsetzungsmassnahmen professionellen Standards entsprach und dass die Qualität im Bereich der öffentlichen Arbeit garantiert war. Der Umsetzungsbeauftragte plante, leitete und koordinierte die Umsetzungsaktivitäten und beriet die LG und die Projektleiter bezüglich Kommunikation und Umsetzung. Er koordinierte ebenfalls die Interaktionen mit den Medien und war für das Issue-Management zuständig.

Geschäftsstelle

Programmkoordinator

Dr. Christian Mottas

Abteilung IV, Schweizerischer Nationalfonds (SNF), Bern, Schweiz

Das Sekretariat der Abteilung IV des SNF ist für die operationelle Leitung und die Umsetzung von Entscheidungen, die durch den Forschungsrat und die LG gefällt wurden, verantwortlich. Das Sekretariat koordiniert administrative und finanzielle Unterstützungsfunktionen und ist, in Zusammenarbeit mit dem Präsidenten der LG, für die Projektbeaufsichtigung, -koordination und -kontrolle zuständig. Der Programmkoordinator beriet die Projektleiter und die LG in dieser Hinsicht, vor allem bei Abweichungen vom Zeitplan und vom Budget, und unterstützte alle Protagonisten in ihren Aufgaben. Er stellte den Informationstransfer zwischen dem Präsidenten der LG, der LG und dem Delegierten des Forschungsrats sicher. Zusätzlich archivierte er sämtliche Dokumente, die für die Durchführung und die Leitung des NFP 57 relevant waren.

Buchhaltung

Die Bereichsleitung Finanzen ist in finanziellen Belangen Ansprechstelle für die Forschenden und deren angegliederte Organisationen. Sie ist für die Überprüfung und die Kontrolle des finanziellen Status der Forschungsprojekte zuständig und nimmt bei Bedarf Änderungen und Korrekturen vor. Zusätzlich prüft und genehmigt sie die finanziellen Zwischen- und Schlussberichte und ist für die finanzielle Administration des gesamten NFP 57 verantwortlich.

Presse- und Informationsdienst (PRI)

Der Presse- und Informationsdienst setzt die Qualitätsstandards in der Kommunikation fest und ist für die Richtlinien bezüglich Öffentlichkeitsarbeit und deren Umsetzung im Programm verantwortlich. Er überprüft das Umsetzungskonzept und unterstützt den Umsetzungsbeauftragten während des Programms bezüglich Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit. In Zusammenarbeit mit dem Umsetzungsbeauftragten organisiert und finanziert das PRI sämtliche nationalen Medienkontakte (Interviews, Pressekonferenzen und –mitteilungen).

Büro des NFP 57

Ein operationelles Büro bestehend aus dem Präsidenten der LG und seiner wissenschaftlichen Verantwortlichen, dem Umsetzungsbeauftragten und dem Programmkoordinator trafen sich regelmässig, um operationelle und strategische Belange des NFP 57 vorzubereiten und um Entscheide der LG umzusetzen. Das Büro vertritt das NFP 57 gegen aussen.

Beobachter des Bundes

Dr. Mirjana Moser

Abteilung Strahlenschutz, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern, Schweiz

Dr. Jürg Baumann

Abteilung Luftreinhaltung und NIS, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz

Gewisse Departemente befassen sich intensiv mit den Themen der NIS und haben ein starkes und direktes Interesse an den Projekten des NFP 57. Dementsprechend war die Regierung eine der Hauptadressatinnen des Programms. Um den Austausch von Erfahrungen, Informationen, Wissen und Zusammenarbeiten zu verbessern und um die Ergebnisse optimal umzusetzen, wurden je eine Beobachterin des Bundesamtes für Gesundheit und ein Beobachter des Bundesamtes für Umwelt (beide ohne Stimmrecht) als Mitglieder in die LG aufgenommen.

Forscher

Insgesamt waren die Projektleiter (PL) für die effiziente wissenschaftliche und administrative Durchführung ihres Projektes verantwortlich. Sie wurden auch aufgefordert, direkt und aktiv an den Umsetzungsaktivitäten teilzunehmen. Sie mussten alle nötigen und erforderlichen Schreivarbeiten, wie zum Beispiel Zwischenberichte, Schlussberichte, Abstracts und Workshop-Unterlagen innerhalb der abgemachten Frist erledigen, um einen reibungslosen Ablauf des NFP 57 zu garantieren und dienten als Kontaktperson. Die Projektleiter vertraten ihre Projekte bei offiziellen NFP 57 Anlässen, inklusive themenbezogenen Workshops und folgten dabei den Richtlinien des Presse- und Informationsdienstes des NFP 57 bezüglich Öffentlichkeitsarbeit.

In der Regel durften Forscher die Medien über ihre eigene Forschung im Rahmen des Programms informieren; alle Medienanfragen zum Programm mussten jedoch an den Umsetzungsbeauftragten weiter geleitet werden.

7.3 NFP 57 Programm-Workshops

- _ «Dosimetry meets Epidemiology» (Januar 2008)
- _ «Towards a Mechanism-Based Framework in EMF Research» (Mai 2008)
- _ «Electromagnetic Fields and the Brain» (Oktober 2008)
- _ «NFP 57 Satellitensymposium an der EBEA 2009» (Juni 2009)

Veranstaltungslisten und Zusammenfassungen der jeweiligen Workshops können unter www.nfp57.ch aufgerufen werden.

7.4 Referenzen

- _ Cousin ME, Siegrist M. *Health, Risk & Society* 2010, 12, 231-250.
- _ Cousin ME, Siegrist M. *Risk Analysis* (in press)
- _ Daniells C, Duce I, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, de Pomerai D. *Mutat Res* 1998, 399, 55-64.
- _ Dawe AS, Smith B, Thomas DW, Greedy S, Vasic N, Gregory A, Loader B, de Pomerai DI. *Bioelectromagnetics* 2006, 27, 88-97
- _ Dawe AS, Nylund R, Leszczynski D, Kuster N, Reader T, De Pomerai DI. *Bioelectromagnetics* 29, 2008, 92-99
- _ Dawe AS, Bodhicharla RK, Graham NS, May ST, Reader T, Loader B, Gregory A, Swicord M, Bit-Babik G, de Pomerai DI. *Bioelectromagnetics*. 2009, 30, 602-12
- _ de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil M, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, Jones D, Candido P. *Nature* 2000, 405, 417-418
- _ Elvers HD, Jandrig B, Grummich K, Tanner C. *Health, Risk & Society* 2009, 11, 165-179.
- _ Kristiansen IS, Elstein AS, Gyrd-Hansen D, Kildemoes HW, Nielsen JB. *Bioelectromagnetics* 2009, 30, 393-401.
- _ Lofstedt RA. *J Risk Res* 2010, 13, 87-109.
- _ Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C. *Neuroreport* 2005, 16, 1973-1976.
- _ Nielsen JB, Elstein A, Gyrd-Hansen D, Kildemoes HW, Kristiansen IS, Stovring H. *Bioelectromagnetics* 2010 31, 504-512.
- _ Olsen J. *J Epidemiol Community Health* 2010, 64, 281-282.
- _ Siegrist M, Earle TC, Gutscher H, Keller C. *Risk Analysis* 2005, 25, 1253-1264.
- _ Slovic, P, Finucane ML, Peters E, MacGregor DG. The affect heuristic. In T. Gilovich, D. Griffin and D. Kahneman (Eds). *Intuitive Judgment: Heuristics and Biases*. Cambridge: Cambridge University Press (pp. 397-420), 2002.
- _ Wiedemann PM, Schütz H. *Environ Health Perspect* 2005, 113, 402-405.

7.5 Akronyme

2G	Zweite Generation der Mobilfunktechnologie (siehe auch GSM)
3G	Dritte Generation der Mobilfunktechnologie (siehe auch UMTS)
4G	Vierte Generation der Mobilfunktechnologie (siehe auch LTE)
AChE	Acetylcholinesterase
BBW	Bundesamt für Bildung und Wissenschaft
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
DOI	Diffuses Optical Imaging
EEG	Elektroenzephalogramm
EMF	Elektromagnetische Felder
ENF	Extremniederfrequent
GFP	Grün fluoreszierendes Protein
GSM	Global System for Mobile Communications
HF	Hochfrequent
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung
ICNIRP	Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung
IAT	Impliziter Assoziationstest
LG	Leitungsgruppe
LTE	Long Term Evolution
MF	Magnetfeld
MRI	Magnetresonanztomographie
NIRI	Nahinfrarot-Imaging
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
NFP	Nationales Forschungsprogramm
Non-REM Schlaf	Nicht «rapid eye movement» Schlaf
NIEHS	National Institute of Environmental Health Sciences
NIS	Nichtionisierende Strahlung
OT	Optical Topography
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PI	Principal Investigator
ROS	Reaktive Sauerstoffspezies
SAR	Spezifische Absorptionsrate
SNF	Schweizerischer Nationalfonds
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WT	Wildtyp

