

# **„Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)“**

## ***Literaturstudie***

Prof. Dr. Marlies Knipper

Dr. Lukas Rüttiger

Hörforschungszentrum der HNO-Klinik

Universität Tübingen

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

- (I) Einführung**
- (II) Literaturstudie**
- (III) Vorliegende Studie**

### **(I) Einführung**

Die physiologische Ursache für das Auftreten von Tinnitus, der Wahrnehmung eines Tons oder Geräuschs ohne die Präsenz eines physikalisch nachweisbaren äußeren Schalls, ist nur ungenügend bekannt. Dem entsprechend sind die Therapiekonzepte für die Behandlung von Tinnitus auf allgemein biologisch erhaltende Behandlungen und psychotherapeutische Betreuung ausgelegt. Umso wichtiger ist in diesem Zusammenhang die Vorsorge und Vermeidung aller Situationen, die zu Tinnitus führen können. Dazu gehören pharmakologische Behandlung (einige Antibiotika), traumatische Schallereignisse, oft korreliert mit Hörverlust, und physiologische Störungen, wie Durchblutungsstörungen aufgrund Verspannungen, Mikroinfarkte des Innenohrs oder unfallbedingter lokaler

Blutunterversorgung. Unbestritten geht jede Art eines Hörverlusts, egal welche Ursache er hat, oft mit Tinnitus einher.

Da die Hörbahn ein ausgesprochen komplexes Sinnessystem darstellt, kann nicht ohne weiteres auf den anatomischen Ort der Entstehung des Tinnitus geschlossen werden. Naheliegend ist als erste Station einer möglichen Schädigung oder Beeinflussung des Hörsystems das Innenohr mit der Hörschnecke (Cochlea), welche im Cortischen Organ die sensorischen Elemente (die Haarsinneszellen) zur Wahrnehmung von Schallreizen beinhaltet. In komplexer Weise wird im Innenohr ein Schallereignis (also eine Luftdruckschwankung) in eine komplexe Flüssigkeitsbewegung übersetzt, die letztendlich zur Abscherung der Haarzellbündel der Haarsinneszellen und damit zur Auslösung eines elektrischen Rezeptorpotentials führen, welches in biologisch allgemeingültiger Weise über Nervenzellen als Aktionspotential weitergegeben wird und, nach vielfältiger Verrechnung, im auditorischen Kortex zu einer Sinneswahrnehmung führt.

Die hohe Empfindlichkeit des auditorischen Systems ermöglicht Mensch wie Tier das Hören bei sehr niedrigen Schallpegeln (ausgedrückt in dB Sound Pressure Level, dB SPL). Es ist naheliegend, dass gerade diese hohe Empfindlichkeit aber auch die Ursache für die Störanfälligkeit des Systems ist, und Tinnitus ist nur ein Beispiel dafür.

Gerade das Ohr ist beim Telefonieren mit Mobiltelefonen (Handys) ganz besonders stark den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, mit denen die Mobilfunkkommunikation arbeitet. Dazu ist auch eine lokale Erwärmung des Gewebes im Bereich um die Ohrmuschel, auch im Inneren des Kopfes und des Innenohres (Cochlea) zu erwarten.

## **(II) Literaturstudie**

Dieses Interesse an dem Einfluss von Elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit oder allgemein physiologischen Parameter spiegelt sich in der Zahl der Studien sowohl am Menschen als auch im Tiermodell wieder (GUARD Results,

Dezember 2004: Gesamtzahl von ca. 1000 Studien, MedLine Search, ca. 500–600 Studien vorrangig in den letzten Jahren). Dabei ist die Hörfunktion in der Zahl der Studien relativ gering vertreten (ca. 22 Studien), was für den Nachholbedarf auf diesem Gebiet spricht.

Geht man davon aus, dass vor allem Schädigungen des Innenohrs als primäre Ursache von Tinnitus in Frage kommen (siehe oben), können Hörfunktionsstörungen auf Grund von Schädigungen des Innenohrs als ein erstes Indiz eines putativen Effektes von elektromagnetischer Strahlung auf die Generation von Tinnitus angesehen werden.

Es ist uns keine aktuelle Studie bekannt, die sich im Kern mit der Entstehung oder Beeinflussung von Tinnitus im Zusammenhang mit der Exposition durch elektromagnetische Felder befasst. Dabei konnte gezeigt werden, dass Tinnitus durchaus als elektromagnetische Antwort in Form niederfrequenter magnetischer Wellen (nicht zu verwechseln mit den hochfrequenten Feldern des Mobilfunks) auf der Schädeloberfläche von Probanden nachweisbar sein kann (Hoke, 1990; Hoke et al., 1991). Diese niederfrequenten, elektromagnetischen Wellen repräsentieren die neuronale Summenaktivität in lokalen Gehirnbereichen als Antwort auf einen z.B. akustischen Reiz, messbar als auditorisch evozierte magnetische Felder (AEFs). Die AEFs zeigen einen typischen zeitlichen Verlauf mit negativen und positiven Ausschlägen in den Kurven. Ganz spezifisch sind es die magnetischen Wellen M100 (ein Korrelat der elektrischen Welle N100 oder N1) und M200 (ein Korrelat der elektrischen Welle P200 oder P2), die oft in charakteristischer Weise betroffen sind.

Veränderungen in der Hörerfahrung, ob als Anpassung an veränderte Umgebungsbedingungen oder als pathologische Situation wie z.B. Tinnitus, führen zu molekularen Veränderungen in den Zellen, die für die Verarbeitung der Hörinformation zuständig sind. Diese Veränderungen stellen teils Anpassungen an erhöhte oder veränderte Stoffwechselforgänge dar, im Wesentlichen spiegeln sie aber plastische Veränderungen, wie sie bei allen Lern- und Erfahrungsprozessen ebenfalls stattfinden. Die Zelle bewerkstelligt dies mit einer Veränderung der

Expression von bestimmten Genen, z.B. dem aktivitätsabhängigen Gen c-Fos, dem „brain derived neurotrophic factor“ BDNF und dem Cytoskelett-Protein arg 3.1 (Arc). In der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Knipper wird zum ersten Mal die aktivitätsabhängige Veränderung der Expression der Gene BDNF und Arc im auditorischen System untersucht und der Nachweis der Expression von BDNF Exon IV und Arc im auditorischen Cortex gezeigt (Tan et al., Knipper, zur Publikation eingereicht). Daher ist es nicht verwunderlich, dass es bisher definitiv keine publizierte Studie gibt, welche die Analyse von aktivitätsabhängigen Genen BDNF und Arc unter Befeldungsbedingungen studiert.

### **Allgemeine Studien**

Auch der Einfluss auf allgemeine kognitive Leistungen muss berücksichtigt werden. So fand Maier (2001, 2004a, 2004b) bei Probanden nach einer Befeldung von 50 Minuten mit gepulsten Feldern (GSM-Standard 902 MHz / 217 Hz,  $1\text{mW/m}^2$ ) signifikant verminderte Leistungen bei der zeitlichen Auflösung bzw. Zuordnung von sequenziell angebotenen, kurzen Schallereignissen („Ordnungsschwelle“), den er als kognitives Leistungsdefizit interpretierte. Der Autor weist selbst auf die geringe Stichprobengröße hin und betont in der ersten Studie, dass die Ergebnisse keine abschließende Wertung zulassen. Die kognitiven Leistungsdefizite könnten durchaus auch auf die Veränderung anderer als neuronaler physiologischer Parameter zurückzuführen sein (Blutdruckanstieg / lokale Erwärmung). Auch die 2004 veröffentlichten Studien können nicht überzeugend belegen dass der gefundene Effekt auf die Befeldung zurückzuführen war.

Eine neuere Studie (Meo und Al-Drees, 2005) berichtet über mögliche Gefahren bei der extensiven Nutzung von Mobiltelefonen und der Beeinträchtigung des Hör- und Sehvermögens. Die Studie an immerhin 873 freiwilligen Mitarbeitern und Studenten der *King Saud Universität* in Saudi-Arabien basiert ausschließlich auf der Befragung der Teilnehmer mit einem Katalog. Der Zusammenhang zwischen der aktiven Nutzung von Mobiltelefonen wird korreliert mit der Häufigkeit des

Auftretens von somatischen Beschwerden bei der Hör- und Sehempfindung. Die Ergebnisse werfen unserer Meinung nach mehr Fragen auf als sie tatsächlich beantwortet. Zum einen kann eine Korrelation nicht ohne weiteres als kausaler Zusammenhang interpretiert werden, wie die Autoren das tun. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass soziale Faktoren die Ergebnisse in entscheidender Weise beeinflussten, und die statistische Analyse gibt keine Veranlassung anzunehmen, dass eifrige Nutzer von Mobiltelefonen vermehrt unter Hör- oder Sehstörungen leiden.

### **Studien zur Hörfunktion**

Ein häufig angewandtes Verfahren zur objektiven Hörmessung an Mensch und Versuchstier sind Messungen von otoakustischen Emissionen (OAE) und auditorisch evozierten Hirnstammpotenzialen (ABR). Ein subjektives Messverfahren ist z.B. die Reintonaudiometrie (PTA).

#### **OAE**

Otoakustische Emissionen basieren auf der Motilität der äußeren Haarsinneszellen in der Hörschnecke (Cochlea) und sind als kleine Schallereignisse (Töne oder Geräusche) im Gehörgang nachzuweisen. Diese Emission beruht auf der zurück projizierten Wanderwelle in der Cochlea (Shera und Zweig, 1993; Shera und Guinan, 1999). Der Nachweis otoakustischer Emissionen ist Standard bei der klinischen Untersuchung der Hörfunktion beim Menschen. In der Regel werden klinisch die Distorsionsprodukte (DPs) der otoakustischen Emissionen (DPOAE) oder spontane auftretende (sOAE) bzw. transient evozierte Emissionen (TEOAE) gemessen. Sind die Emissionen verändert, wird das als Hinweis für eine pathologische Veränderung der Funktionalität der äußeren Haarsinneszellen interpretiert.

#### **ABR**

Auditorisch evozierte Hirnstammpotenziale (ABR) sind die Summenantwort des Hirnstamms auf kurze Schallreize (Reinton-Pips oder Klicklaute), die als

elektrische Welle ähnlich dem Elektroenzephalogramm an der Schädeloberfläche abgegriffen werden kann. Im Zeitverlauf treten in den ABR-Kurven spezifische Wellen (lokale Maxima und Minima) auf, anhand derer man die Hörfunktion überprüfen kann. In der Klinik werden ABR-Messungen (auch BERA genannt) als Standard zur objektiven Hörprüfung eingesetzt.

### **PTA**

Reintonaudiometrie (engl. pure tone audiometry, PTA) beschreibt das psychophysische Messverfahren zur Ermittlung der subjektiven Hörschwelle bei bestimmten Frequenzen (Tonhöhen). Der Proband benennt oder indiziert den Schalldruck eines Reintons, bei dem er den Ton gerade noch wahrnimmt. Die Reintonaudiometrie ist ein klinisches Standardverfahren zur Bestimmung der subjektiven Hörschwelle.

### ***Tierstudien zur Hörfunktion (ABRs) und aktiven Cochleamechanik (OAEs)***

Galloni und Mitarbeiter (Galloni et al., 2005a) bestimmten in Ratten nach Befeldung (Loop- oder Horn-Antennentyp, SAR 1 W/kg, 926 oder 936 MHz, 5 Tage lang 3 Stunden pro Tag oder 4 Wochen lang 2 Stunden / Tag) DP-Gramm und DP-Wachstumsfunktionen. Diese Funktionen beschreiben die Integrität und Funktionalität der äußeren Haarsinneszellen (engl.: outer hair cell, OHC) der Cochlea, den cochleären Verstärker, der Hören auch bei niedrigen Schallpegeln ermöglicht. Sowohl DP-Gramm als auch DP-Wachstumsfunktionen unterschieden sich nicht zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe. Die Autoren konnten somit keinen Effekt der elektromagnetischen Befeldung auf die OAE-Funktionen feststellen. In einer aktuellen Versuchsreihe (Galloni et al. 2005b) wurde der mögliche Einfluss der Befeldung bei höheren Stimulusfrequenzen, wie sie für Ratten relevanter sind (bis zu 13 kHz), untersucht (2 W/kg, 2 Stunden täglich, 5 Tage die Woche 4 Wochen lang). Auch diese Studie ergab keinen Hinweis auf einen signifikanten Einfluss der Befeldung auf die Distorsionsprodukte der OAEs.

Diese Daten bestätigten im wesentlichen die Ergebnisse einer früheren Studie (Kizilay et al., 2003), in der ebenfalls kein Einfluss von hochfrequenter elektromagnetischer Felder (900 MHz, 0.95 W/kg) auf die DPOAEs von adulten oder sich entwickelnden, neugeborenen Ratten nach Befeldung nachgewiesen werden konnte (1 Stunde täglich, 30 Tage lang). Auch in der Studie von Marino und Mitarbeiter (Marino et al., 2000), die DPOAE Funktionen bei Ratten nach Fernfeldexposition untersucht (Hornantenne 940 MHz, 0.2 und 1 W/kg, 3-5 Tage, 3 Stunden pro Tag, Messungen direkt nach Befeldung, 24 Stunden und 48 Stunden danach), konnten keine Veränderungen nachgewiesen werden.

Studien am Meerschweinchen (Aran et al. 2004) nach Befeldung mit 900 MHz GSM moduliert bei spezifischen Absorptionsraten von 1, 2 und 4 W/kg 1 Stunde täglich 5 Tage die Woche, 2 Monate lang, ergaben keinen Hinweis auf eine Beeinträchtigung der objektiven Hörschwelle (ABR) und der aktiven Cochleamechanik (DPOAEs). Auch die mikroskopischen Strukturen von 24-48 Stunden exponierten Innenohrkulturen (*in vitro*) erbrachten keinen Hinweis auf Veränderungen.

### ***Studien am Menschen zur Hörfunktion (PTA, ABRs, MLRs) und aktiven Cochleamechanik (OAEs)***

Eine frühe Vorstudie zur Veränderung der Latenzen der Hirnstammpotentiale (ABR-Messungen) nach Befeldung wurde von Kellenyi et al (1999) durchgeführt. Die Autoren fanden eine signifikante Verschiebung der Latenzen der charakteristischen ABR-Welle V um ca. 0.2 ms, die sie mit einem möglichen Hörverlust von 15-18 dB gleichsetzten. Leider wurden ABR-Schwellen nicht direkt gemessen und keine psychometrischen Hörschwellenmessungen nachgereicht, so dass die wissenschaftliche Signifikanz der gefundenen Latenzverschiebung unklar bleibt. Für die diskutierten Ursachen der gefundenen Effekte, lokale Erwärmung und Ionenverschiebungen in den Zellmembranen, bleiben die Autoren einen wissenschaftlichen Beweis schuldig.

Den Einfluss von wiederholten Befeldungen durch Mobiltelefone mit den Frequenzen 450, 935 und 1800 MHz untersuchten Bak und Mitarbeiter (Bak et al,

2003) an 45 jungen Probanden, die während 20 Minuten, 4 mal pro Minute in 1 Sekunden Intervallen, dem Feld ausgesetzt waren. Die Auswertung der Latenzzeit der charakteristischen Gipfel und Täler der ABR-Funktion ergab keinen Hinweis auf einen Einfluss der Befeldung. Oysu und Mitarbeiter (Oysu et al. 2005) kamen zu denselben Ergebnissen mit etwas anderen Expositionsparametern (ABR-Schwellen und Latenzzeiten der ABR-Wellen I, III und IV, 900 MHz, SAR 0.82 W/kg, 15 Minuten), auch die ABR-Schwellen ergaben keinen Hinweis auf einen Einfluss der Befeldung.

Oktay und Mitarbeiter (Oktay et al. 2004) untersuchten die Hörschwellen (ABR und Reintonaudiometrie) und Latenzzeiten (Zwischenzeiten der ABR-Wellen I-III, III-IV und I-V) von Personen, die im Umfeld von Radiostationen arbeiten oder leben und einer vergleichbaren Kontrollgruppe aus weitgehend unbefeldeten Gebieten. Personen, die in Radiostationen arbeiteten und die ständig elektromagnetischen Feldern ausgesetzt waren, hatten eine signifikant höhere ABR-Schwelle im Hörbereich bei 4000-8000 Hz (ca. 10 dB Hörverlust). Die Studie gibt aber keinen Hinweis darauf ob auch andere Faktoren wie z.B. die Arbeit mit Kopfhörern im Tonstudio als Ursache für den Hörverlust in Frage kommen.

Garcia Callejo und Mitarbeiter (Garcia Callejo et al., 2005) untersuchten die Entwicklung von frühem Hörverlust durch die Nutzung von Mobiltelefonen an 320 gesunden, normalhörenden Probanden. Untersucht wurde das Hörvermögen mit audiometrischen Verfahren zu Beginn und nach Ablauf von 3 Jahren, in denen die Nutzungszeiten des Mobiltelefons dokumentiert wurden. Die aktiven Nutzungszeiten erreichten dabei ca. 50 volle Tage in 3 Jahren. Die Nutzergruppe hatte am Ende der Studie eine Hörschwelle, die im Vergleich zu einer Nicht-Nutzergruppe um 1-5 dB erhöht war. Allerdings muss unserer Meinung nach berücksichtigt werden, dass Verhalten und soziale Aspekte, die mit dem Mobiltelefongebrauch durchaus korreliert sein können, ebenso für die Hörschwellenunterschiede verantwortlich sein könnten, ohne dass die Mobilfunkfelder direkt einen Einfluss auf das Hörvermögen haben müssen. Zum Beispiel könnte die nicht-mobiltelefonierende Kontrollgruppe aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeit weniger häufig traumatischen Schallereignissen ausgesetzt

sein: viele beruflich Reisende müssen intensiv Mobiltelefone nutzen, und diese Reisetätigkeit ist bekanntlich mit höher Schallexposition in Zügen, auf Bahnhöfen, in Autos, Flugzeugen etc. verbunden. Da die Autoren auch keine Korrelation zwischen Nutzungszeit und Hörverlust innerhalb der Nutzergruppe fanden, erscheint die Mobilfunknutzung als primäre Ursache für den Hörverlust fraglich.

Bei einer spezifischen Absorptionsrate von 0.1 W/kg (900 MHz GSM Standard, 4-24 ms Pulse) konnten Janssen und Mitarbeiter (Janssen et al., 2005) lediglich extrem kleine Unterschiede zwischen den DPOAEs scheinexponierter und befeldeter Probanden nachweisen (<1 dB), was die Autoren in Anbetracht des extrem weiten Hörbereichs des Menschen (120 dB) als physiologisch unbedeutend einstufen. Dem analog berichten Parazzini und Mitarbeiter (Parazzini et al., 2005b) in einer aktuellen Studie, dass auch weiterreichende Wellenanalysen (FFT, IFFT) keine Hinweise darauf geben, dass eine kontrollierte Befeldung von 10 Minuten (2 W maximal mit 900 MHz oder 1 W maximal mit 1800 MHz) die Amplitude der DPOAE Messungen signifikant beeinflussten. Monnery und Mitarbeiter (Monnery et al., 2004) untersuchten den möglichen Einfluss der Mobilfunkfelder auf spontane otoakustische Emissionen und konnten keine Veränderungen in den untersuchten Frequenzbereichen nachweisen (1-4 kHz). Die Studie soll wiederholt werden; bei gleichem Ergebnis, so schließen die Autoren, würde man davon ausgehen können, dass es keine mittels OAE messbare Beeinträchtigung der äußeren Haarsinneszellen (OHC) der Cochlea bei Mobilfunkbefeldung gibt.

Ozturan und Mitarbeiter (Ozturan et al., 2002) untersuchten das Verhalten der transienten, evozierten otoakustischen Emissionen (TEOAEs), einen Parameter, den die Autoren für geeigneter und vor allem als schneller erfassbar beschreiben als die Reintonaudiometrie (PTA) und die DPOAE Messung. Die Ergebnisse gaben keinen Hinweis auf veränderte OAEs nach Befeldung (ca. 900 MHz, ca. 0.02-2 W Sendeleistung, geschätzt). Die Reproduzierbarkeit der Daten sowohl von TEOAEs als auch DPOAEs war sehr gut, allerdings lässt der Versuchsansatz eine scheinexponierte Kontrollgruppe vermissen, was die Interpretation der Daten erschwert.

Der direkte Einfluss elektromagnetischer Felder während der 30 minütigen Mobiltelefonnutzung in 15 freiwilligen Probanden ergab keinen Hinweis, dass kurzzeitige Befeldung (800 MHz, 0.8 W) das auditorischen Sinnessystems auf Ebene des Hirnstamms (ABR-Messungen) und auf Ebene des Thalamus und primären auditorischen Cortex (MLR-Messungen) beeinflusste (Arai et al., 2003).

Auch Sievert und Mitarbeiter (Sievert et al., 2005) konnten keinen Einfluss von Mobilfunkfeldern (889.6 MHz, gepulst 217 Hz, 2.2 W /  $P_{av}$  0.275 mW, SAR 1,9–1,93 mW/g) auf die Amplituden und Latenzzeiten der Einzelwellen im ABR-Signal nachweisen. Die Untersuchungen von Uloziene und Mitarbeiter (Uloziene et al., 2005) ergaben ebenfalls keine signifikanten Veränderungen der Reintonaudiogramm Schwellen (PTAs) und auch keine Änderungen der TEAOE Amplituden, nach Befeldung mit einem Mobiltelefon bei voller Ausgangsleistung (Nokia 6310, 900 MHz: 2 W, 1800 MHz: 1 W, für 10 Minuten).

Bei allen Studien am Menschen müssen auch die nicht auf elektromagnetischen Wellen selbst beruhenden Einflüsse (z.B. der Schallpegel der Geräte selbst bei der Beeinflussung des Hörvermögens) in Betracht gezogen werden (Patel und Broughton, 2002), die bei Dauerbelastungen von 88 dB SPL über längere Nutzungszeit zu nicht geringen andauernden Hörminderungen führen könnten. Über die Spitzenwerte wurde in der Studie von Patel und Broughton nicht berichtet, sie dürften bedeutend höher liegen.

### ***Allgemeine, zentralnervöse und kognitive Aspekte***

Naheliegender ist, dass der zerebrale Blutfluss durch den Einfluss von Magnetfeldern bei der Nutzung von Mobiltelefonen beeinflusst werden könnte, da mit fokaler Wärmeentwicklung in bestimmten Hirngebieten des temporalen Kortex gerechnet werden muss. Tatsächlich konnten Haarala und Mitarbeiter (Haarala et al., 2003) in PET-Studien am Menschen nachweisen, dass es zu Durchblutungsänderungen bei der Nutzung von Mobiltelefonen kommt. Allerdings fanden die Autoren die stärksten Blutflussänderungen nicht im Bereich der maximalen Feldstärke, sondern vielmehr im Bereich des auditorischen primären Kortex, was sie dadurch erklären konnten, dass das Mobiltelefon trotz

abgeklemmtem Lautsprecher noch einen Summton, der fast 20 dB lauter als die Umgebungsgeräusche war, von sich gab und dadurch den auditorischen Kortex physiologisch aktivierte.

Eine EEG-Studie zum Einfluss von Mobiltelefon-Emissionen auf die N100 und P200 Welle des EEGs von 12 Probanden deutet auf die Verlängerung von psychophysischen Reaktionszeiten bei teils verkürzten (N100) und teils verlängerten (P300) EEG-Wellen Verzögerungszeiten (Hamblin et al., 2004). Allerdings weisen die Autoren selbst auf die geringe Stichprobengröße hin und darauf, dass die Ergebnisse bezüglich der verwendeten Feldstärke nur bedingt auf die Alltagssituation übertragbar sind.

Maby und Mitarbeiter (Maby et al. 2005) untersuchten zwei Kollektive von Probanden mit ähnlicher Mobiltelefonnutzung (3 h pro Monat) und unterschiedlichem Gesundheitszustand (Normalpersonen und Epileptiker) auf Veränderungen des EEGs in Abhängigkeit von Mobilfunkbefeldung (900 MHz, Dualband, 0.25 W entsprechend maximal 1.4 W/kg in ca. 10g Gewebe im Bereich der Antenne). Die auditorisch evozierte Antwort des EEGs (AEPs) wurden mit 32 Elektroden über der Schädeloberfläche abgegriffen und die zeitliche und spektrale Korrelation der AEP-Signale bei Scheinbefeldung und Befeldung berechnet. Für die individuellen EEG-Funktionen wurden dabei für selektierte Einzelelektroden statistisch signifikante Veränderungen während der Befeldung gefunden. Die Veränderungen bei den individuellen Probanden waren allerdings teils Zunahmen, teils Abnahmen der untersuchten Korrelationsparameter bei Befeldung. Die Studie eröffnet sich dem Leser in Hinsicht auf die mögliche Bedeutung leider nicht und bleibt damit sehr intransparent inwieweit die Ergebnisse nicht einfach mit den Eigenheiten der Studienplanung und der Auswertung erklärbar sind - oder inwieweit die Ergebnisse von biologischer Relevanz sind.

### **Hörhilfen**

Neben ganz allgemeinen Verständnisproblemen von Personen mit Hördefiziten stellt auch die allgemein schlechtere Sprachqualität von Mobiltelefonen (Smits and Houtgast, 2005) oft ein zusätzliches Problem dar. Außer den Qualitätsverlusten

muss aber ein Träger eines Hörgeräts oder einer implantierbaren Hörhilfen zusätzlich mit Störungen durch die Mobiltelefone selbst rechnen (verschiedene Hörgeräte: siehe Skopec, 1998; knochenverankerte Implantate: Kompis et al., 2000; Kompis and Hausler, 2002) und, wenn die Störgeräusche zunehmen, schränken sie Sprachverständnis und die Segregation von Umgebungsgeräuschen stark ein (Hansen und Poulsen, 1996). Diese Einschränkung kann teilweise durch die Wahl eines geeigneten Mobiltelefons vermindert werden (Castro et al., 2005) oder die Kompatibilität durch ein geeignetes Implantat voraussichtlich verbessert werden (Sorri et al., 2001). Trotz aller Fortschritte, eine vollständige Lösung der Probleme mit den Interferenzen von implantierten Hörhilfen und dem Gebrauch von Mobiltelefonen ist immer noch nicht in Sicht, siehe z. B. auch (Bisgaard, 2001; Byrne and Burwood, 2001). Modifikationen von Seiten der Mobiltelefonhersteller (z.B. Induktionsschleifen) können die Kompatibilität deutlich verbessern (Sorri et al., 2003).

### **Abschließende Bewertung**

Die Literatur lässt zum aktuellen Stand keinen Schluss daraus zu, dass Mobilfunkfelder das Hörvermögen in negativer Weise beeinflussen. Zwar konnten in einigen Studien Hinweise für mögliche kognitive Einflüsse gefunden werden, allerdings erscheint es in Anbetracht der bekanntermaßen großen Streubreiten der Daten bei psychophysischen Verfahren fraglich, ob die gefundenen Effekte, wenngleich statistisch signifikant, von physiologischer oder allgemein biologischer Bedeutung sind. Immerhin wurde in theoretischen Ansätzen die Möglichkeit diskutiert, dass der Kopf und das Gehirn aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften auch als Empfänger für Mobilfunkwellen geeignet sein könnten (siehe Weinberger and Richter, 2002; 900 MHz: 33-35 cm, 1800 MHz: 16-17 cm, Kopfdurchmesser: kürzere Strecke ca. 16-17 cm). Trotzdem, die mangelnde Dosimetrie in vielen Studien lässt es leider nicht immer zu, die Studien direkt miteinander zu vergleichen und die gefundenen Effekte in Zusammenhang zu bringen. Es muss vielmehr damit gerechnet werden, dass der gefundene mögliche Einfluss vielmehr durch unspezifische Effekte zu erklären ist. Ganz am

Rande sei nur bemerkt, dass die Nutzung von Mobiltelefonen ganz erheblichen Einfluss auf die Aufmerksamkeit z. B. beim Autofahren hat. Bei Vieltelefonierern könnte dies durchaus zu trainierter Ablenkung führen, sobald ein Mobiltelefon benutzt wird und langfristig die Aufmerksamkeitsstrategien beeinflussen (Strayer und Johnston, 2001). Sicherlich wären davon auch andere kognitiven Leistungen in irgendeiner Weise beeinträchtigt, ohne dass dies direkt mit den Mobilfunkfeldern zu tun haben müsste.

In Bezug auf den möglichen Einfluss von Mobilfunkfeldern auf die Auslösung oder die Auslösbarkeit von Phantomgeräuschwahrnehmungen (Tinnitus) ist nichts beschrieben. Gerade wegen der zunehmenden Bedeutung von Tinnitus als Volksleiden in unserer Gesellschaft ist es naheliegend durch eine kontrollierte wissenschaftliche Studie Erkenntnisse zu gewinnen, ob und in welchem eventuellen Ausmaß diese spezielle Form der Hörstörung der Beeinflussung durch Mobilfunkfelder unterliegt. Ein Grund warum diese Studie bisher nicht durchgeführt wurde, ist die enorme Variabilität in der pathologischen Ausprägung und Ursache von Tinnitus beim Menschen. Kleine Effekte würden bei Untersuchungen am Menschen im Grundrauschen verschwinden, selbst wenn sie biologisch durchaus von signifikanter Bedeutung wären.

### **(III) Vorliegende Studie**

Im Rahmen unseres Projekts zur Untersuchung von Tinnitus können wir auf ein molekularbiologisches und verhaltenphysiologisch basiertes Tiermodell zurückgreifen. Mit diesem Tiermodell können wir einen optimal homogenen Versuchstierbestand einsetzen, um unter kontrollierten Bedingungen und in verblindeter Versuchsgestaltung den möglichen Einfluss von Mobilfunkfeldern auf die Auslösbarkeit von Phantomgeräuschen zu untersuchen. Ein solches Tiermodell ist außer bei uns nirgendwo in Deutschland etabliert. Das Versuchskonzept, in Zusammenarbeit mit dem IMST als Partner zur Etablierung und Kontrollierung der Befeldungseinrichtung, eröffnet erstmals die Möglichkeit, nicht-invasiv am lebenden weitgehend freibeweglichen Tier über längere Zeit (4 Wochen, 5 Tage

pro Woche, täglich 2 Stunden) auch Befeldungsstärken zu überprüfen, die aus ethischen Gesichtspunkten bei einer Humanstudie selbst an aufgeklärten freiwilligen Probanden nicht zu vertreten wäre. In unserem Tiermodell wird mit hohen Dosen von Salizylat (Aspirin) per Injektion akut Tinnitus ausgelöst. Es gibt eine Vielzahl von Studien die zeigen, dass nach Salizylatgabe die DPOAEs (Guitton et al., 2003; Abdala, 2005; Parazzini et al., 2005a) sowie auch die ABR Schwellen (Chen et al., 2005) betroffen sein können. Somit besteht eine gute Grundlage an Studien zur allgemeinen und pathologischen Hörfunktion, die bei eventuellen Einflüssen von Mobilfunkwellen auf Tinnitus und allgemeine Hörfunktion zur Diskussion herangezogen werden können. Auf die parallele Untersuchung von DPOAEs und ABRs zu den Verhaltensstudien und den molekularen Analysen nach Befeldung wird aufgrund der ausreichenden Anzahl vorangegangener Studien zu diesen Hörparametern verzichtet. Da allerdings entscheidend ist, dass Tiere, die in die Studie eingehen, über ein gutes Hörvermögen verfügen, wird zu Beginn der Behandlungen die Hörschwelle mittels Click-ABR bestimmt und eventuell schlecht hörende Tiere ersetzt. Die Gestaltung der Befeldungsapparatur erlaubt die weitgehend freie Beweglichkeit der Tiere während der Befeldung (2 Stunden pro Tag), was Stressfaktoren weitgehend minimiert. Die Studie wird einem strikten, verblindeten Protokoll folgen und die Gruppenzugehörigkeit erst nach Abschluss der Versuche entblindet. Es sind 4 Befeldungsstärken und 1 Scheinbefeldung vorgesehen, so dass die gesamten Daten auch als Dosis-Wirkungs-Korrelation ausgewertet werden können. Die Stichprobengrößen ermöglichen die umfassende statistische Analyse der Daten.

Die geplante Studie ist die erste uns bekannte Studie zur Untersuchung der möglichen Einflüsse von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf die Auslösung bzw. die Auslösbarkeit von Tinnitus.

## **LITERATUR**

Abdala C (2005) Effects of aspirin on distortion product otoacoustic emission suppression in human adults: a comparison with neonatal data. *J Acoust Soc Am* 118:1566-1575.

Arai N, Enomoto H, Okabe S, Yuasa K, Kamimura Y, Ugawa Y (2003) Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways. *Clin Neurophysiol* 114:1390-1394.

Aran JM, Carrere N, Chalan Y (2004) Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: in vivo and in vitro experimental studies. *Int. J. Audiol.* 43: 545 - 554

Bak M, Sliwinska-Kowalska S, Zmyslony M, Dudarewicz A (2003) No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 163: 201-208.

Bisgaard N (2001) The European experience. *J Am Acad Audiol* 12:296-300.

Byrne D, Burwood E (2001) The Australian experience: global system for mobile communications wireless telephones and hearing aids. *J Am Acad Audiol* 12:315-321.

Castro A, Lassaletta L, Bastarrica M, Prim MP, de Sarria MJ, Gavilan J (2005) [Speech discrimination through telephone in patients implanted with a Combi 40+]. *Acta Otorrinolaringol Esp* 56:246-251.

Chen Z, Mikulec A, McKenna MJ, Sewell WF, Kujawa SG (2005) A method for intracochlear drug delivery in the mouse. *J Neurosci Methods*.

Galloni P, Lovisollo GA, Mancini S, Parazzini M, Pinto R, Piscitelli M, Ravazzani P, Marino C (2005a) Effects of 900 MHz electromagnetic fields exposure on cochlear cells' functionality in rats: Evaluation of distortion product otoacoustic emissions. *Bioelectromagnetics* 26:536-547.

Galloni P, Parazzini M, Piscitelli M, Pinto R, Lovisollo A, Tognola G, Marino C, Ravazzani P (2005b) Electromagnetic fields from mobile phones do not affect the inner auditory system of Sprague-Dawley Rats. *Radiat Res.* 164: 798-804.

Garcia Callejo FJ, Garcia Callejo F, Pena Santamaria J, Alonso Castaneira I, Sebastian Gil E, Marco Algarra J (2005) [Hearing level and intensive use of mobile phones]. *Acta Otorrinolaringol Esp* 56:187-191.

Guitton MJ, Caston J, Ruel J, Johnson RM, Pujol R, Puel JL (2003) Salicylate induces tinnitus through activation of cochlear NMDA receptors. *J Neurosci* 23:3944-3952.

Haarala C, Aalto S, Hautzel H, Julkunen L, Rinne JO, Laine M, Krause B, Hamalainen H (2003) Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: a PET study. *Neuroreport* 14:2019-2023.

Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C (2004) Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clin Neurophysiol* 115:171-178.

Hansen MO, Poulsen T (1996) Evaluation of noise in hearing instruments caused by GSM and DECT mobile telephones. *Scand Audiol* 25:227-232.

Hoke M (1990) Objective evidence for tinnitus in auditory-evoked magnetic fields. *Acta Otolaryngol Suppl* 476:189-194.

Hoke M, Pantev C, Lutkenhoner B, Lehnertz K (1991) Auditory cortical basis of tinnitus. *Acta Otolaryngol Suppl* 491:176-181; discussion 182.

Janssen T, Boege P, von Mikusch-Buchberg J, Raczek J (2005) Investigation of potential effects of cellular phones on human auditory function by means of distortion product otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 117:1241-1247.

Kellenyi L, Thuroczy GY, Faludy B, Lenard L (1999) Effects of mobile GSM radiotelephone exposure on the auditory brainstem response (ABR). *Neurobiology (Bp)* 7: 79-81.

Kizilay A, Ozturan O, Erdem T, Kalcioglu MT, Miman MC (2003) Effects of chronic exposure of electromagnetic fields from mobile phones on hearing in rats. *Auris Nasus Larynx* 30:239-245.

Kompis M, Hausler R (2002) Electromagnetic interference of bone-anchored hearing aids by cellular phones revisited. *Acta Otolaryngol* 122:510-512.

Kompis M, Negri S, Hausler R (2000) Electromagnetic interference of bone-anchored hearing aids by cellular phones. *Acta Otolaryngol* 120:855-859.

Maby E, Le Bouquin Jeannes R, Faucon G, Liegeois-Chauvel C, De Seze R (2005) Effects of GSM signals on auditory evoked responses. *Bioelectromagnetics* 26: 341 - 350.

Maier R (2001) [Is CNS activity modified by pulsed electromagnetic fields?]. *Biomed Tech (Berl)* 46:18-23.

Maier R, Greter S-E, Schaller G, Hommel G (2004a) Zur Wirkung gepulster elektromagnetischer Felder geringer Leistung auf Gedächtnisprozesse. The effects of pulsed low-level EM fields on memory processes. *Z Med Phys.* 14: 105-112.

Maier R, Greter S-E, Maier N (2004b) Effects of pulsed electromagnetic fields on cognitive processes - a pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration. *Acta Neurol Scand.* 110: 46-52.

Marino C, Cristalli G, Galloni P, Pasqualetti P, Piscitelli M, Lovisolo GA (2000) Effects of microwaves (900 MHz) on the cochlear receptor: exposure systems and preliminary results. *Radiat Environ Biophys* 39:131-136.

Meo SA, Al-Drees AM (2005) Mobile phone related-hazards and subjective hearing and vision symptoms in the Saudi population. *Int J Occup Med Environ Health* 18:53-57.

Monnery PM, Srouji EI, Bartlett J (2004) Is cochlear outer hair cell function affected by mobile telephone radiation? *Clin Otolaryngol Allied Sci* 29:747-749.

Oktay MF, Dasdag S, Akdere M, Cureoglu S, Cebe M, Yazicioglu M, Topcu I, Meric F (2004) Occupational safety: effects of workplace radiofrequencies on hearing function.

Arch Med Res 35: 517-521.

Oysu C, Topak M, Celik O, Yilmaz HB Sahin AA (2005) Effects of the acute exposure to the electromagnetic field of mobile phones on human auditory brainstem responses. Eur Arch Otorhinolaryngol. 262: 839-843.

Ozturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioglu MT, Oncel S (2002) Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. Acta Otolaryngol 122:289-293.

Parazzini M, Hall AJ, Lutman ME, Kapadia S (2005a) Effect of aspirin on phase gradient of 2F1-F2 distortion product otoacoustic emissions. Hear Res 205:44-52.

Parazzini M, Bell S, Thuroczy G, Molnar F, Tognola G, Lutman ME, Ravazzani P (2005b) Influence on the mechanisms of generation of distortion product otoacoustic emissions of mobile phone exposure. Hear Res 208:68-78.

Patel JA, Broughton K (2002) Assessment of the noise exposure of call centre operators. Ann Occup Hyg 46:653-661.

Shera CA, Zweig G (1993) Noninvasive measurement of the cochlear traveling-wave ratio. J Acoust Soc Am 93:3333-3352.

Shera CA, Guinan JJ, Jr. (1999) Evoked otoacoustic emissions arise by two fundamentally different mechanisms: a taxonomy for mammalian OAEs. J Acoust Soc Am 105:782-798.

Sievert U, Eggert S, Pau HW (2005) Can mobile phone emissions affect auditory functions of cochlea or brain stem? Otolaryngol Head Neck Surg 132:451-455.

Skopec M (1998) Hearing aid electromagnetic interference from digital wireless telephones. IEEE Trans Rehabil Eng 6:235-239.

Smits C, Houtgast T (2005) Results from the Dutch speech-in-noise screening test by telephone. Ear Hear 26:89-95.

Sorri M, Piiparinen P, Huttunen K, Haho M, Tobey E, Thibodeau L, Buckley K (2003) Hearing aid users benefit from induction loop when using digital cellular phones. Ear Hear 24:119-132.

Sorri MJ, Huttunen KH, Valimaa TT, Karinen PJ, Lopponen HJ (2001) Cochlear implants and GSM phone. Scand Audiol Suppl:54-56.

Strayer DL, Johnston WA (2001) Driven to distraction: dual-Task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. Psychol Sci 12:462-466.

Tan J, Panford-Walsh R, Singer W, Rüttiger L, Hadjab S, Schulze H, Zimmermann U, Köpschall I, Rohbock K, Knipper M (2005) Various tinnitus-paradigms induce common alteration of activity-dependent genes. (*Zur Publikation eingereicht*).

Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, Saferis V (2005) Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Public Health* 5:39.

Weinberger Z, Richter ED (2002) Cellular telephones and effects on the brain: the head as an antenna and brain tissue as a radio receiver. *Med Hypotheses* 59:703-705.