

# > Elektromagnetische Hypersensibilität

*Bewertung von wissenschaftlichen Studien  
Stand Ende 2011*





# > Elektromagnetische Hypersensibilität

*Bewertung von wissenschaftlichen Studien  
Stand Ende 2011*

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

### **Autoren**

Dr. med. Kerstin Hug, Prof. Dr. phil.nat. Martin Rösli,  
Schweizerisches Tropen- und Public Health Institut,  
Assoziiertes Institut der Universität Basel, Basel

### **Begleitung BAFU**

Dr. phil. nat. Jürg Baumann, Dr. pharm. Peter Straehl

### **Zitierung**

Hug K., Rösli M. 2012: Elektromagnetische Hypersensibilität.  
Bewertung von wissenschaftlichen Studien. Stand Ende 2011.  
Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1218: 103 S.

### **Gestaltung**

Karin Nöthiger, Niederrohrdorf

### **Titelbild**

Fotos: E. Ammon / Montage: R. Schürmann

### **PDF-Download**

[www.bafu.admin.ch/uw-1218-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1218-d)

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

© BAFU 2012

# > Inhalt

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>		
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>		
<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>		
<b>Résumé</b>	<b>11</b>		
<b>Einleitung</b>	<b>13</b>		
<hr/>			
<b>1 Ziel und Aufbau des Berichts</b>	<b>14</b>		
<hr/>			
<b>2 Methodik</b>	<b>15</b>		
2.1 Datenlage und Bewertungsmethode	15		
2.2 Literatursuche und Einschlusskriterien	15		
2.3 Studientypen und Beurteilungskriterien	17		
2.3.1 Experimentelle Studien	17		
2.3.2 Beobachtende Studien	18		
2.3.3 Metaanalysen	19		
2.3.4 Einzelfallberichte	20		
2.4 Beurteilung der Evidenz	21		
2.4.1 Einzelstudienbeurteilung	22		
2.4.2 Gesamtevidenzbeurteilung	22		
<hr/>			
<b>3 Häufigkeit in der Bevölkerung (Prävalenzstudien)</b>	<b>26</b>		
3.1 Bewertung der Prävalenzstudien	27		
<hr/>			
<b>4 Kurzzeiteffekte der EMF-Exposition: Provokationsstudien</b>	<b>28</b>		
4.1 Physiologische Parameter	28		
4.1.1 Niederfrequente Magnetfelder	28		
4.1.2 Hochfrequente EMF: Nahfeldexposition	30		
4.1.3 Hochfrequente EMF: Fernfeldexposition	35		
4.1.4 Bewertung zu physiologischen Parametern	39		
4.2 Unspezifische Symptome	41		
4.2.1 Niederfrequente Felder	41		
4.2.2 Hochfrequente EMF: Nahfeldexposition	45		
4.2.3 Hochfrequente EMF: Fernfeldexposition	49		
4.2.4 Bewertung zu Symptomen	52		
4.3 Wahrnehmung von EMF (Elektrosensitivität)	53		
4.3.1 Niederfrequente Felder	53		
4.3.2 Hochfrequente EMF (Nah- oder Fernfeld)	55		
		4.3.3 Bewertung zur Wahrnehmung von EMF (Elektrosensitivität)	59
		4.4 Nozebo-Effekte	61
		4.4.1 Bewertung zum Nozebo-Effekt	63
<hr/>			
<b>5 Langzeiteffekte der EMF-Exposition: Epidemiologische Studien</b>	<b>66</b>		
5.1 Bewertung der Langzeitstudien	68		
<hr/>			
<b>6 Einzelfallberichte</b>	<b>70</b>		
6.1 Bewertung der Einzelfallberichte	74		
<hr/>			
<b>7 Charakterisierung von EHS-Personen</b>	<b>77</b>		
7.1 Beobachtende Studien	78		
7.2 Experimentelle Studien	85		
7.3 Bewertung zur Charakterisierung von EHS-Personen	87		
<hr/>			
<b>8 Therapieansätze für EHS</b>	<b>88</b>		
8.1 Bewertung zu Therapieansätzen	89		
<hr/>			
<b>9 Gesamtbewertung und Diskussion</b>	<b>91</b>		
9.1 Gesamtbewertung	91		
9.2 Diskussion	92		
<hr/>			
<b>Literatur</b>	<b>96</b>		
<b>Verzeichnisse</b>	<b>100</b>		
<b>Glossar</b>	<b>101</b>		



## > Abstracts

This report describes the status of the scientific knowledge as of the end of 2011 concerning the electromagnetic hypersensitivity (or electrosensitivity) of human beings. It takes account of scientifically published experimental and epidemiological studies and individual case reports which meet the criteria for environmental medicine casuistics. The term “electrosensitive” is applied to people who suffer from negative effects on their health or wellbeing which they attribute to exposure to electromagnetic fields in their daily life. To date there are no recognised diagnostic criteria, nor has any evidence been found that the effects suffered by electrosensitive people are directly attributable to their exposure to electromagnetic fields in their daily life. The question whether this may nonetheless be the case for some people within the group of electrosensitive human beings remains unanswered. The “nocebo effect”, i.e. the fact that the anticipation of an effect on health or wellbeing can already trigger or intensify such symptoms, probably plays at least a partial role. No clear differences in the constitution of people with and without electrosensitivity have been identified which could form the basis for diagnostic criteria, and very few reports on therapeutic options or successes can be found in related scientific literature.

Im vorliegenden Synthesebericht wird der wissenschaftliche Kenntnisstand per Ende 2011 über die elektromagnetische Hypersensibilität (EHS) von Menschen beschrieben. Berücksichtigt sind wissenschaftlich publizierte experimentelle und epidemiologische Untersuchungen sowie Einzelfallberichte, die die Anforderungen an eine umweltmedizinische Kasuistik erfüllen. Als elektrosensibel bezeichnen sich Menschen, die in ihrer Gesundheit oder ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt sind und dies auf elektromagnetische Felder in ihrem Alltag zurückführen. Anerkannte medizinische Diagnosekriterien existieren bislang nicht. Bisher konnte mit wissenschaftlichen Methoden nicht nachgewiesen werden, dass die Beschwerden von EHS-Personen kausal auf die Belastung durch elektromagnetische Felder im Alltag zurückzuführen sind. Offen bleibt, ob es innerhalb der EHS-Gruppe einzelne Menschen gibt, bei denen dies trotzdem der Fall ist. Mindestens teilweise spielt für das Entstehen der Beschwerden der Nozebo-Effekt eine Rolle, d. h. dass bereits die Erwartung einer Beeinträchtigung diese auslösen oder verstärken kann. Eindeutige konstitutionelle Unterschiede zwischen Menschen mit und ohne EHS, die sich als Diagnosekriterien eignen würden, wurden nicht festgestellt, und Berichte über Therapiemöglichkeiten oder -erfolge finden sich in der wissenschaftlichen Literatur erst spärlich.

**Keywords:**

non-ionising radiation,  
electromagnetic fields,  
low-dose range,  
electrosensitivity,  
electromagnetic hypersensitivity,  
electrosensibility,  
perception of electromagnetic  
fields,  
health and well-being

**Stichwörter:**

nichtionisierende Strahlung,  
elektromagnetische Felder,  
Niedrigdosisbereich,  
Elektrosensibilität,  
elektromagnetische  
Hypersensibilität,  
Elektrosensitivität,  
Feldwahrnehmung,  
Befindlichkeit

Le présent rapport de synthèse décrit l'état à fin 2011 des connaissances scientifiques sur l'hypersensibilité électromagnétique (EHS). Il prend en compte des analyses expérimentales et épidémiologiques publiées dans la littérature spécialisée ainsi que des rapports de cas qui satisfont aux exigences d'une casuistique de la médecine environnementale. Les personnes dont la santé et le bien-être sont affectés au quotidien et qui attribuent ces troubles aux champs électromagnétiques sont qualifiées d'électrosensibles. A l'heure actuelle, il n'existe pas de critères de diagnostic médicaux reconnus. Jusqu'ici, aucune méthode scientifique n'a permis d'établir un lien de cause à effet entre les troubles ressentis par les personnes électrosensibles et une exposition quotidienne à des champs électromagnétiques, mais il n'est pas exclu que ce lien existe bel et bien pour certaines personnes de ce groupe. L'apparition des troubles est liée au moins en partie à l'effet nocebo, par lequel le fait d'anticiper un trouble déclenche ou amplifie ce dernier. Aucune différence physiologique nette entre les personnes électrosensibles et les autres n'a pu être relevée comme critère de diagnostic et très peu de thérapies ou de traitements efficaces sont recensés dans la littérature spécialisée.

Il presente rapporto di sintesi descrive lo stato, a fine 2011, delle conoscenze scientifiche sull'ipersensibilità elettromagnetica (EHS). Il rapporto tiene conto delle indagini sperimentali ed epidemiologiche pubblicate in campo scientifico come pure della descrizione di singoli casi che soddisfano i requisiti necessari per essere inclusi nella casistica della medicina ambientale. Sono considerate elettrosensibili le persone la cui salute o il cui benessere subiscono danni che sono attribuiti ai campi elettromagnetici presenti nella loro vita quotidiana. Non sono ancora disponibili criteri riconosciuti per la diagnosi medica e non vi è alcuna prova scientifica che vi sia un nesso causale tra i disturbi manifestati dalle persone affette da EHS e l'esposizione ai campi elettromagnetici nella vita quotidiana. Non si può comunque escludere del tutto che un simile nesso sussista in alcuni individui appartenenti a questa categoria di persone. I disturbi manifestati sono, almeno in parte, indotti dall'effetto nocebo, ossia dal fatto che la sola aspettativa negativa possa indurre un danno alla salute o rafforzarlo. Il rapporto non ha registrato tra persone affette e non affette da EHS differenze fisiologiche di entità tale da potere essere utilizzate come criteri per la diagnosi. Infine, anche il numero di rapporti sulle possibilità terapeutiche o sui successi terapeutici riportato nella letteratura scientifica è ancora esiguo.

**Mots-clés:**

rayonnement non ionisant,  
champs électromagnétiques,  
rayonnements de faible intensité,  
électrosensibilité,  
hypersensibilité  
électromagnétique,  
électrosensitivité,  
perception des champs  
électromagnétiques,  
santé et bien-être

**Parole chiave:**

radiazioni non ionizzanti,  
campi elettromagnetici,  
intervallo delle dose deboli,  
elettrosensibilità,  
ipersensibilità elettromagnetica,  
elettrosensitività,  
percezione del campo,  
salute e benessere

---

## > Vorwort

Das Umweltschutzgesetz verpflichtet den Bundesrat, für nichtionisierende Strahlung, oft auch als Elektromog bezeichnet, wirkungsorientierte Immissionsgrenzwerte (IGW) festzulegen, unterhalb derer nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Menschen, Tiere, Pflanzen und deren Lebensräume nicht gefährdet werden und die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich gestört wird. Dabei sind auch Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit zu berücksichtigen.

Gibt es überhaupt Menschen, die besonders empfindlich auf Elektromog reagieren? Etwa 5 % der Schweizer Bevölkerung sind aufgrund eigener Erfahrungen davon überzeugt und führen ihre gesundheitlichen Beschwerden auf Elektromog in ihrem Wohn- oder Arbeitsumfeld zurück. Sie bezeichnen sich als elektrosensibel. Ihre Symptome sind vielfältig und reichen von verändertem Gemütszustand, Kopfschmerzen, Schlaf- und Konzentrationsproblemen über Herz-Kreislauf-Veränderungen und Muskelbeschwerden bis hin zu Tinnitus. Individuell werden die unterschiedlichsten Quellen von Elektromog für diese Reaktionen verantwortlich gemacht.

Die wissenschaftliche Forschung hat sich in den letzten Jahren eingehend mit diesem Thema beschäftigt und versucht, die Ursachen für die festgestellten gesundheitlichen Symptome herauszufinden. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieser Forschung zusammen. Die Schlussfolgerung beim heutigen Stand der Wissenschaft ist, dass sich mit den bisher angewandten Untersuchungsmethoden ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Elektromog und den von elektrosensiblen Menschen erlebten Symptomen nicht nachweisen lässt.

Damit besteht zwischen der wissenschaftlichen Sicht und der subjektiven Erfahrung und Überzeugung elektrosensibler Menschen eine erhebliche Kluft. Dabei haben beide Sichtweisen ihre Grenzen: So wird zum Teil die Aussagekraft der bisher durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen grundsätzlich in Frage gestellt, weil bereits die Testung elektrosensibler Menschen im Labor diese einem zusätzlichen Stress aussetzt und auch die Testdauer zu kurz sei, um verlässliche Aussagen machen zu können. Zudem haben sich die Untersuchungen bisher meist auf Gruppen von Elektrosensiblen und kaum auf das einzelne Individuum konzentriert. Andererseits wurde im Rahmen von umweltmedizinischen Beratungen aber auch bereits deutlich, dass nicht jede subjektiv wahrgenommene Elektrosensibilität tatsächlich etwas mit Elektromog zu tun hat und dass andere Ursachen im Vordergrund stehen können.

Unbestritten ist, dass die gesundheitlichen Symptome elektrosensibler Menschen real sind und dass diese Menschen leiden. Es ist deshalb zu begrüßen, dass sich Teile der Ärzteschaft dieser Gruppe von Patienten annehmen und mit verschiedenen Ansätzen versuchen, Linderung zu schaffen. Für den Bundesrat waren Einzelfallberichte über besondere Empfindlichkeiten bereits beim Erlass der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung ein Grund, dem Vorsorgeprinzip grosses Gewicht beizumessen. So verfügt die Schweiz an Orten mit empfindlicher Nutzung verglichen mit

---

dem Ausland über strenge Grenzwerte. Angesichts der weiterhin offenen Fragen im Zusammenhang mit der Elektrosensibilität ist an diesem vorsorglichen Ansatz festzuhalten. Parallel dazu ist es angezeigt, die wissenschaftlichen Untersuchungen zum Thema Elektrosensibilität weiterzuführen. In jüngster Zeit sind neue Untersuchungsansätze vorgeschlagen worden, welche auch eine detaillierte Erfassung der Exposition elektrosensibler Menschen gegenüber Elektromog einschliessen.

Gérard Poffet  
Vizedirektor  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

## > Zusammenfassung

### Hintergrund

Der Begriff «Elektromagnetische Hypersensibilität» (EHS) geht auf die 1980er Jahre zurück, als Büroangestellte vor allem aus Skandinavien über gesundheitliche Probleme im Zusammenhang mit der Bildschirmarbeit berichteten. Gemäss der Weltgesundheitsorganisation (WHO) existieren für die Diagnose von EHS bisher keine allgemein gültigen diagnostischen Kriterien. Es wird davon ausgegangen, dass EHS eine subjektive Erfahrung und Selbstdeklaration der Betroffenen ist. In der Schweiz bezeichneten sich im Jahr 2004 ca. 5 % der Befragten als elektrosensibel.

### Ziel und Methodik

Ziel dieses Berichtes ist, den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand bezüglich EHS zu evaluieren. Systematisch untersucht wurde die Frage, ob nieder- oder hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) kurz- oder langfristig das Befinden oder physiologische Parameter von EHS-Personen beeinflussen und damit für die Symptome von EHS-Personen ursächlich sind. Weitere Fragen waren, ob es konstitutionelle Unterschiede zwischen EHS-Personen und der restlichen Bevölkerung gibt und welche Therapiemöglichkeiten für Personen mit EHS bestehen.

Die relevante wissenschaftliche Literatur wurde in Literaturdatenbanken systematisch gesucht und zusammengetragen. In den Bericht aufgenommen wurden Studien, in denen mindestens eine Teilnehmergruppe aus Personen mit EHS bestand. Die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz für oder gegen einen Zusammenhang zwischen der EMF-Exposition und dem Auftreten der von EHS-Personen angegebenen Beschwerden erfolgte anhand der GRADE-Klassifizierung («Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation»). Gemäss GRADE wird die Evidenz in die vier Kategorien hoch, mässig, niedrig und sehr niedrig eingeteilt. Dabei wird zuerst für jede Studie separat ihre Fehleranfälligkeit abgeschätzt. Randomisierte, plazebokontrollierte Doppel-

blindstudien gelten *a priori* als Studientyp mit der höchsten Evidenzstufe. An zweiter Stelle rangieren beobachtende, epidemiologische Studien. Die Gesamtevidenz wird dann basierend auf allen vorliegenden Studien für jede untersuchte Auswirkung einzeln beurteilt. Dabei erfolgt eine Auf- oder Abwertung der Evidenz, bei der die methodische Qualität der einzelnen Studien, die Übereinstimmung ihrer Resultate und die Stärke des beobachteten Effekts eine wichtige Rolle spielen. «Sehr niedrige Evidenz» bedeutet in diesem Klassierungsschema, dass wissenschaftlich keine Aussage möglich ist, weder für noch gegen das Vorliegen eines Kausalzusammenhangs.

### Resultate und Diskussion

Insgesamt ergibt sich aus den bis Dezember 2011 publizierten randomisierten, plazebokontrollierten Doppelblindstudien eine hohe Evidenz gegen das Auftreten von unspezifischen Symptomen als Folge kurzfristiger Exposition gegenüber hoch- oder niederfrequenten elektromagnetischen Feldern, wie sie im Alltag auftreten. Dasselbe gilt für die Fähigkeit von Menschen mit EHS, diese Felder wahrzunehmen und unterschiedliche Expositionssituationen zuverlässig zu erkennen (Elektrosensitivität). Es ist mehrfach dokumentiert, dass in experimentellen Studien in ungewohnter Umgebung (z. B. im Labor) bereits die Erwartung exponiert zu werden, unabhängig von der tatsächlichen Exposition, zum Entstehen von Symptomen führen kann. Dieses Phänomen wird im Gegensatz zum positiven Plazebo-Effekt als Nozebo-Effekt bezeichnet. «Nocebo» heisst wörtlich übersetzt «Ich werde schaden» und kann als Macht einer negativen Überzeugung oder Erwartung bezeichnet werden. Die hohe Evidenz für das Auftreten von Nozebo-Effekten stellt keinen Beweis dar, dass die von EHS-Personen erlebten Beschwerden ausschliesslich auf Nozebo zurückzuführen sind. Es bedeutet jedoch, dass Studien, bei denen die Teilnehmenden ihren Expositionsstatus kannten, anfällig für eine Verfälschung sind.

Die Frage nach langfristigen Auswirkungen der EMF-Exposition auf das Befinden lässt sich nicht in randomisierten Doppelblindstudien untersuchen, und es liegen nur wenige beobachtende epidemiologische Studien dazu vor. Sie liefern keinen Hinweis auf einen Zusammenhang. Aus verschiedenen Gründen ist aber die Untersuchung von Auswirkungen auf das subjektive Befinden von EHS-Personen methodisch limitiert. Die Evidenz für oder gegen einen Zusammenhang alleine aufgrund der empirischen Datenlage wird als sehr niedrig eingestuft, so dass keine Aussage möglich ist. Es gibt keine Hinweise, dass allfällige langfristige schädliche Auswirkungen nur auf EHS-Personen beschränkt sind. Auch die Einzelfallberichte, welche die üblichen Qualitätsanforderungen an eine medizinische Kasuistik erfüllen und wissenschaftlich publiziert wurden, tragen nicht zum besseren Verständnis bei, ob EMF-Expositionen die Beschwerden bei EHS-Personen verursachen.

In einigen Studien wurde untersucht, ob sich neben den Beschwerden auch andere (konstitutionelle) Unterschiede zwischen Personen mit und ohne EHS beobachten lassen. Tendenziell scheinen EHS-Personen einen erhöhten Sympathikotonus und eine allgemein erhöhte Erregbarkeit aufzuweisen. Es gibt einige Unsicherheiten, ob diese Unterschiede tatsächlich existieren und ob sie auch ausserhalb von experimentellen Bedingungen bestehen. Aus diesem Grund wird die Evidenz für derartige Unterschiede nur als mässig beurteilt. Allfällige Unterschiede sind aber gering und liegen innerhalb der physiologischen Normen, so dass sich daraus keine objektiven diagnostischen Kriterien für EHS ableiten lassen.

Über Therapieansätze für EHS-Personen gibt es bisher nur wenige Informationen. Die Evidenz dafür, dass kognitive Verhaltenstherapien die Situation von EHS-Personen verbessern, wird als mässig eingeschätzt. Ebenfalls mässige Evidenz besteht dafür, dass die Verminderung der Exposition hilfreich ist, wenn dies den Betroffenen bekannt ist. Das deutet darauf hin, dass damit vor allem die Nozebo-Komponente reduziert werden kann. Zur Wirksamkeit aller anderen Therapiemöglichkeiten lässt sich bisher keine gesicherte Aussage machen.

## Schlussfolgerungen

Bisher konnte mit wissenschaftlichen Methoden nicht nachgewiesen werden, dass die Beschwerden von EHS-Personen kausal auf die Belastung durch EMF im Alltag zurückzuführen sind. In Bezug auf akute Auswirkungen kann geschlossen werden, dass bei allen oder zumindest der grossen Mehrheit der EHS-Personen die EMF-Belastung keine Rolle spielt. Ob es tatsächlich Einzelfälle gibt, in denen eine EMF-Exposition akut schädlich wirkt, konnte mit den wenigen vorhandenen Studien bisher nicht konsistent nachgewiesen werden. Solche akuten Auswirkungen bei Einzelfällen müssten mit wiederholter Testung der gleichen Personen unter doppelblinden Bedingungen dokumentiert werden können, damit auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen EMF und Beschwerden geschlossen werden kann.

Der Nachweis von allfälligen langfristigen Auswirkungen der EMF-Exposition auf das Befinden von EHS-Personen ist schwierig. In beobachtenden Studien sind Nozebo-Effekte zu erwarten, weil eine Verblindung der Teilnehmer gegenüber ihrem Expositionsstatus oft nicht möglich ist.

Gegenwärtig gibt es keinen wissenschaftlichen Beleg, dass Personen, die sich als EHS wahrnehmen, empfindlicher auf EMF reagieren als die restliche Bevölkerung, und es empfiehlt sich deshalb, bei der weiteren Forschung alle Personengruppen im Auge zu behalten. Aus wissenschaftlicher Sicht kann man davon ausgehen, dass die Bevölkerung, auch Menschen mit EHS, vor direkten Auswirkungen der EMF-Exposition auf das Befinden geschützt ist. Mangels gezielter Untersuchungen lässt sich allerdings auch nicht vollkommen ausschliessen, dass einzelne Menschen durch die heute zulässige EMF-Belastung kausal in ihrem Befinden beeinträchtigt werden.

## > Résumé

### Contexte

Le concept d'«hypersensibilité électromagnétique» (EHS) remonte aux années 1980: à cette époque, en Scandinavie notamment, des employés de bureau ont commencé à se plaindre de troubles qu'ils attribuaient au travail sur écran. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il n'existe à l'heure actuelle aucun critère de diagnostic valable de manière générale en ce qui concerne l'EHS, qui est par conséquent considérée comme une perception subjective et une déclaration personnelle des individus concernés. En 2004, en Suisse, environ 5 % des personnes interrogées se déclaraient électrosensibles.

### Objectif et méthode

L'objectif du présent rapport est d'évaluer l'état actuel des connaissances scientifiques concernant l'EHS. Les analyses ont tenté d'établir de manière systématique si les champs électromagnétiques de haute ou basse fréquence (CEM) ont une influence à court ou à long terme sur l'état de santé ou sur certains paramètres physiologiques des personnes électrosensibles et seraient par conséquent à l'origine des symptômes qu'elles présentent. Il s'agissait également de déterminer s'il existe des différences constitutionnelles entre les personnes électrosensibles et le reste de la population et quelles sont les thérapies possibles pour ces personnes.

Une recherche systématique a tout d'abord été menée dans des banques de données pour sélectionner toutes les publications pertinentes. Dans le rapport, des études portant sur au moins un groupe de sujets électrosensibles ont été retenues. L'évaluation des preuves scientifiques confirmant ou infirmant l'existence d'un lien de cause à effet entre une exposition aux CEM et l'apparition de symptômes types chez les personnes électrosensibles a été faite sur la base du système GRADE («Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation»). Ce dernier permet de classer la qualité des preuves en 4 catégories: élevée, modérée,

faible ou très faible. Dans ce cadre, le risque d'erreur pour chaque étude est tout d'abord évalué séparément. Les études en double aveugle randomisées avec contrôle placebo sont considérées *a priori* comme le type d'étude dont le degré de preuve est le plus élevé. Les études épidémiologiques d'observation viennent en deuxième position. La totalité des preuves est ensuite évaluée au cas par cas pour chaque effet analysé en se basant sur toutes les études à disposition. Ces preuves sont par la suite renforcées ou dévaluées. Lors de cette étape, la qualité méthodique de chaque étude, la concordance des résultats et la qualité des données observées jouent un rôle important. D'après ce système de classification, la mention «très faible» indique qu'il est scientifiquement impossible d'infirmer ou de confirmer l'existence d'un lien de cause à effet.

### Résultats et discussion

Selon les études en double aveugle randomisées avec contrôle placebo publiées jusqu'en décembre 2011, il existe un grand nombre de preuves permettant d'infirmer que l'apparition de symptômes non spécifiques est due à une exposition quotidienne à court terme à des champs électromagnétiques de haute ou de basse fréquence. Le même constat s'impose concernant l'aptitude des personnes électrosensibles à percevoir la présence de ces champs et à reconnaître avec certitude différentes situations d'exposition (électrosensitivité). Plusieurs publications montrent que, lors de la participation à des études dans un environnement inhabituel (p. ex. en laboratoire), le simple fait d'anticiper l'exposition peut provoquer l'apparition de symptômes, même lorsque le sujet ne subit aucune exposition. Ce phénomène correspond à ce que l'on nomme l'effet nocebo, qui est le pendant de l'effet placebo. «Nocebo», du latin «je nuirai», correspond à l'apparition d'effets négatifs induits par la conviction ou l'attente de ceux-ci. Les nombreuses preuves démontrant la présence d'un effet nocebo ne permettent pas d'affirmer que les symptômes ressentis par les personnes électrosensibles sont dus exclusivement à cet effet, mais elles montrent que les études durant lesquelles les

sujets connaissaient l'exposition à laquelle ils étaient soumis sont susceptibles de ne pas être totalement objectives.

Il n'est pas possible d'observer les effets à long terme d'une exposition aux CEM sur la santé lors d'études en double aveugle randomisées et il n'existe pas assez d'études épidémiologiques d'observation sur le sujet. Ces études ne laissent pas entendre l'existence d'un lien de cause à effet. Les méthodes d'analyse des effets d'une exposition sur l'état de santé subjectif des personnes électrosensibles sont limitées pour différentes raisons. La qualité des preuves confirmant ou infirmant un lien de cause à effet et fondées uniquement sur des données empiriques est considérée comme très faible et ne permet par conséquent aucune affirmation. Rien ne prouve non plus que seules les personnes électrosensibles seraient touchées en cas d'éventuels effets néfastes à long terme. Quant aux rapports de cas publiés qui satisfont aux exigences qualitatives d'une casuistique de la médecine environnementale, ils ne permettent pas non plus d'aider à savoir si les troubles ressentis par les personnes électrosensibles sont causés par les expositions aux CEM.

Quelques études ont cherché à établir s'il existait également des différences physiologiques entre les personnes électrosensibles et les autres. Il semble que les premières présentent un tonus sympathique élevé et, de manière générale, une irritabilité accrue. Il n'est pas certain que ces différences existent réellement et qu'elles se manifestent encore en dehors du cadre expérimental. Pour cette raison, la qualité des preuves relatives à ces différences est considérée comme modérée seulement. Les éventuelles différences sont très légères et ne débordent pas le cadre des normes physiologiques, c'est pourquoi aucun critère diagnostique objectif ne peut être établi sur cette base.

Aujourd'hui, il n'y a que peu d'informations sur les possibilités de thérapie pour les personnes électrosensibles. La qualité des preuves démontrant que des thérapies cognitives peuvent améliorer la situation de ces personnes et qu'une réduction de l'exposition est utile si elles en sont informées est considérée dans les deux cas comme modérée. Cela indique que c'est surtout l'effet nocebo qui peut être réduit par de telles mesures.

L'efficacité de toutes les autres possibilités thérapeutiques ne peut pas être garantie à l'heure actuelle.

### Conclusion

A l'heure actuelle, les méthodes scientifiques n'ont pas permis de prouver que les troubles ressentis par les personnes électrosensibles découlent d'une exposition quotidienne aux CEM. En ce qui concerne les troubles aigus, il est possible d'affirmer que l'exposition aux CEM n'est pas en cause pour la grande majorité de ces personnes au moins. Les quelques études existantes n'ont pas permis de déterminer si l'exposition aux CEM a réellement un effet néfaste chez certains sujets. Pour pouvoir exclure tout lien entre les CEM et les troubles ressentis, il faudrait réaliser des études répétées en double aveugle sur la même personne.

Il est difficile de prouver que l'exposition aux CEM peut entraîner des effets à long terme sur l'état de santé et le bien-être des personnes électrosensibles. Lors des études d'observation, l'effet nocebo est difficilement évitable, car il est souvent impossible que les participants ne connaissent pas l'exposition à laquelle ils sont soumis.

Rien ne prouve que les personnes électrosensibles réagissent de manière plus sensible aux CEM que le reste de la population, c'est pourquoi il convient de prendre en considération tous les groupes de personnes lors de futures études. Du point de vue scientifique, on peut considérer que la population, y compris les personnes électrosensibles, est protégée des effets directs de l'exposition aux CEM sur la santé. Néanmoins, étant donné le manque d'analyses ciblées, il n'est pas possible de rejeter totalement l'hypothèse qu'il existe des personnes véritablement gênées dans leur bien-être par les CEM autorisés.

---

## > Einleitung

Der Begriff «Elektromagnetische Hypersensibilität» (EHS) geht auf die 1980er Jahre zurück, als Büroangestellte vor allem aus Skandinavien über gesundheitliche Probleme im Zusammenhang mit der Bildschirmarbeit berichteten (z. B. Knave et al. 1985). Zusätzlich wurden auch andere elektrische Geräte oder elektromagnetische Felder (EMF) allgemein als Ursache der unspezifischen Beschwerden betrachtet. Bei den Schilderungen der Personen mit EHS stehen eher unspezifische Symptome des vegetativen Nervensystems im Vordergrund, beispielsweise Müdigkeit, Konzentrations-schwierigkeiten, Schwindel, Übelkeit, Herzrasen, Verdauungsstörungen oder Hautreizungen im Gesicht (Lyskov et al. 2001b). In der Literatur wird auch von einer «Einschränkung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität» gesprochen. Vor allem seit der Entwicklung und raschen Verbreitung der Mobilfunktechnik und anderer drahtloser Kommunikationsanwendungen in den 1990er-Jahren hat sich die Zuschreibung von unspezifischen Symptomen auch auf die Exposition durch hochfrequente EMF ausgedehnt.

Gemäss der Weltgesundheitsorganisation (WHO) existieren für die Diagnose von EHS bisher keine allgemein gültigen diagnostischen Kriterien. EHS ist eine subjektive Erfahrung und Selbstdeklaration Betroffener und lässt sich nicht durch Messwerte oder andere objektive Untersuchungsbefunde verifizieren. Die WHO schlägt als Bezeichnung deshalb «Idiopathische Umweltintoleranz mit Zuordnung zu elektromagnetischen Feldern» vor (WHO 2005). Als idiopathisch bezeichnet man in der Medizin Beschwerden oder Erkrankungen ohne erkennbare Ursache. Ähnliche Krankheitsbilder sind von Personen mit «Multipler Chemikalienunverträglichkeit» (MCS) oder «Chronischem Erschöpfungssyndrom» (Chronic fatigue syndrome, CFS) bekannt. In diesem Bericht wird der Begriff EHS als Synonym für «Idiopathische Umweltintoleranz mit Zuordnung zu elektromagnetischen Feldern» verwendet, weil er im Deutschen gebräuchlicher und sprachlich praktikabler ist. Der Bericht geht im Wesentlichen der Frage nach, ob diese Definition der WHO auch im Lichte neuerer Untersuchungen haltbar ist, mit anderen Worten, ob die wissenschaftliche Evidenz nach wie vor gegen einen kausalen Zusammenhang zwischen EMF und den Symptomen von Menschen mit EHS spricht.

In Abgrenzung vom Beschwerdebild der EHS bezeichnet man mit dem Begriff «Elektrosensitivität» im Allgemeinen die Fähigkeit, schwache elektromagnetische Felder wahrzunehmen. Diese Wahrnehmung kann unabhängig von Symptomen sein, wird aber häufig von Personen mit EHS berichtet.

# 1 > Ziel und Aufbau des Berichts

---

Das Ziel des Berichts ist es, eine Übersicht über den wissenschaftlichen Kenntnisstand zum Beschwerdebild der EHS zu geben. Das Methodik-Kapitel enthält neben dem Vorgehen bei der Literatursuche und -bewertung auch eine Beschreibung der verschiedenen Studientypen, die zur Untersuchung der EHS zur Anwendung kommen. Dabei werden die Vor- und Nachteile des jeweiligen Studientyps dargestellt und die wichtigsten methodischen Aspekte skizziert, auf die bei der Beurteilung der Resultate zu achten ist. Im Anschluss daran wird das Vorgehen bei der Evidenzbeurteilung dargestellt.

Die wissenschaftlichen Publikationen für diese Evidenzbeurteilung sind in den Kapiteln 3 bis 8 des Berichts im Text und in Tabellenform kurz zusammengefasst. Jedes Kapitel widmet sich einem bestimmten Aspekt der elektromagnetischen Hypersensibilität. Das kann dazu führen, dass eine Studie in mehreren Kapiteln erscheint und jeweils nur die Ergebnisse diskutiert werden, die im entsprechenden Kapitel relevant sind. Die Studienbeschreibung erfolgt bei der ersten Erwähnung der Studie. Das dritte Kapitel des Berichts enthält die Ergebnisse von Befragungen und epidemiologischen Studien zur Häufigkeit von EHS in der Bevölkerung. Im vierten Kapitel geht es um Effekte der kurzfristigen EMF-Exposition, die vorwiegend in experimentellen Studien an EHS-Personen untersucht werden. In diesen sogenannten Provokationsstudien wird unter kontrollierten Bedingungen untersucht, ob kurzfristige EMF-Belastungen bei EHS-Personen zur Veränderung von physiologischen Parametern oder zum Auftreten von unspezifischen Beschwerden führen. Dabei werden Probanden zufällig einer realen und/oder einer Scheinexposition ausgesetzt, ohne dass sie Kenntnis über die angewendete Expositionsbedingung haben. Häufig wurde in diesen Studien zusätzlich auch die Fähigkeit zur Wahrnehmung niedrig dosierter EMF getestet («Elektrosensitivität»).

Das fünfte Kapitel enthält Resultate der epidemiologischen Studien, in denen Zusammenhänge zwischen der langfristigen EMF-Exposition im Alltag und dem Auftreten oder der Häufigkeit von unspezifischen Symptomen bei Personen mit EHS untersucht wurden. Die Studien zur Charakterisierung von Personen mit EHS im sechsten Kapitel betreffen die Frage, ob es auch unabhängig von der EMF-Exposition messbare physiologische Unterschiede zwischen Personen mit EHS und beschwerdefreien Vergleichspersonen gibt. Dazu wurden in experimentellen und epidemiologischen Studien zum Beispiel Herzkreislaufparameter oder Hormonkonzentrationen im Blut gemessen. Das siebte Kapitel enthält Fallbeschreibungen aus der ärztlichen Praxis über Personen mit EHS, und im achten Kapitel sind die bisher vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse zu Beratungs- und Behandlungsangeboten für EHS-Personen zusammengefasst. Im letzten Kapitel wird – basierend auf der Gesamtmenge der Studien und Fallbeschreibungen – beurteilt, wie stark die wissenschaftliche Evidenz für oder gegen einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der EMF-Exposition und dem Beschwerdebild der EHS ist.

---

## 2 > Methodik

---

### 2.1 Datenlage und Bewertungsmethode

Das Phänomen der EHS und die damit verbundenen Fragestellungen werden in sehr unterschiedlichen Ansätzen erforscht. Neben experimentellen Studien, in denen die Teilnehmer unter kontrollierten Bedingungen im Labor exponiert und untersucht wurden, liegen auch Ergebnisse von beobachtenden Studien zur alltäglichen EMF-Exposition in der realen Umgebung vor. Ausserdem ist zwischen Studien mit hoch- oder niederfrequenten Feldern zu unterscheiden. Bei Studien zur Hochfrequenzstrahlung gibt es zudem Untersuchungen mit Expositionen gegenüber Nahfeldquellen (z. B. ein Mobiltelefon am Kopf) sowie solche mit Fernfeldquellen, bei denen der ganze Körper bestrahlt wird. Eine Fernfeldexposition ist beispielsweise bei einer Mobilfunkbasisstation auf einem benachbarten Hausdach zu erwarten. Auch die Zielgrössen und Erhebungsinstrumente variieren beträchtlich zwischen den Studien. In einem Teil der Studien wurden objektiv messbare physiologische Parameter verglichen, andere beruhen auf Teilnehmerangaben in schriftlichen oder mündlichen Befragungen.

Die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz erfolgt im vorliegenden Bericht anhand der GRADE-Klassifizierung («Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation»). Das Ziel der GRADE-Klassifizierung ist es, den Prozess der Evidenzbeurteilung nachvollziehbar und transparent zu machen und über verschiedene Fachbereiche hinweg zu vereinheitlichen (Atkins et al. 2004, Balshem et al. 2011). Dazu werden vier Evidenzkategorien definiert, und es werden Kriterien vorgegeben, die eine einheitliche Beurteilung der Evidenz erlauben. Dieser Beurteilungsprozess beinhaltet auch methodische Überlegungen, die zu einer Auf- oder Abwertung der Evidenzqualität führen können (siehe Kapitel 2.4.). Die Klassifizierung wurde ursprünglich für die Beurteilung klinischer Studien zum Vergleich von Behandlungs- und Präventionsmethoden entwickelt. Sie wird aber auch für Forschungsfragen im Bereich der Bevölkerungsgesundheit (Public Health) angewendet (Guyatt et al. 2011) und ist inzwischen international anerkannt, unter anderem von der WHO und der Cochrane Collaboration (vgl. [www.gradeworkinggroup.org](http://www.gradeworkinggroup.org)).

### 2.2 Literatursuche und Einschlusskriterien

Um den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Thema EHS darzustellen, wurden die bis Ende Dezember 2011 publizierten Studien erfasst. Es wurde eine systematische Literatursuche durchgeführt in den Datenbanken PubMed ([www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed)), ISI Web of Knowledge (<http://apps.isiknowledge.com>), EMBASE ([www.embase.com](http://www.embase.com)) sowie in den auf elektromagnetische Felder spezialisierten Datenbanken des Schweizerischen Tropen- und Public Health-Instituts (<http://elmar.swisstph.ch>) und der Universität Aachen ([www.emf-portal.org](http://www.emf-portal.org)). Dabei wurden unter

anderem folgende Stichworte einzeln oder in Kombination verwendet (auf Englisch): elektromagnetische Felder, nichtionisierende Strahlung, hochfrequent, niederfrequent, Magnetfeld, ELF, RF, Mobilfunk, Mobiltelefon, Basisstation, Gesundheit, unspezifische Symptome, elektromagnetische Hypersensibilität, idiopathische Umweltintoleranz. Die Literaturrecherche wurde Ende Dezember 2011 abgeschlossen. Die Vollständigkeit der Recherche wurde mit der Suchfunktion «related articles» sowie anhand von Übersichtsarbeiten und Expertenberichten überprüft. Als Publikationsdatum galt jeweils die erste Veröffentlichung des Artikels, bei einigen Fachzeitschriften also die Online-Publikation bereits Wochen oder Monate vor der Erscheinung im Druck. Wenn der gedruckte Artikel bis zur Fertigstellung des Berichts bereits erschienen war, wird diese Referenz angegeben (Publikationsjahr ist dann 2012).

In den Bericht aufgenommen wurden nur Studien, die auf EHS fokussiert waren und in denen mindestens eine Teilnehmergruppe aus Personen mit EHS bestand. In experimentellen und epidemiologischen Studien musste die Höhe der EMF-Exposition mit objektiven Kriterien bestimmt, also gemessen oder modelliert worden sein, da eine reine Schätzung durch die Teilnehmer oder Studienleiter in solchen Studien nicht aussagekräftig ist. Neben hochfrequenten Feldern des Mobilfunks wurden auch niederfrequente Felder von elektrischen Geräten oder Stromleitungen berücksichtigt. Die Ergebnisse werden für die verschiedenen Expositionsarten separat dargestellt.

Zusätzlich zu den wissenschaftlichen Publikationen von Originalstudien am Menschen wurden Metaanalysen berücksichtigt, in denen die Teilnehmerdaten und Resultate mehrerer Studien zur selben Fragestellung kombiniert und gemeinsam neu ausgewertet worden waren. Übersichtsarbeiten ohne neue Risikoschätzer dienten als Hintergrundinformation, ebenso Studien zu technischen und methodischen Aspekten wie Expositionsabschätzung, Messverfahren, Studiendesign und statistische Auswertung. Alle Publikationen mussten in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Begutachtungsverfahren («Peer Review») auf Englisch, Französisch, Italienisch oder Deutsch erschienen sein.

Um auch Beobachtungen und Erfahrungsberichte von ÄrztInnen oder TherapeutInnen bei der Beurteilung des Kenntnisstands zu berücksichtigen, wurden Einzelfallberichte und dokumentierte Kasuistiken zum Auftreten von unspezifischen Beschwerden im Zusammenhang mit schwachen hoch- oder niederfrequenten Feldern in einem separaten Kapitel des Berichts zusammengefasst. Bei diesen Fallbeschreibungen basiert die Expositionsabschätzung häufig auf Angaben der Betroffenen. Für den Übersichtsbericht berücksichtigt wurden Einzelfallberichte, die in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Begutachtungsverfahren erschienen sind und in den oben genannten Literaturdatenbanken identifiziert werden konnten.

Nicht berücksichtigt wurden Studien oder Fallberichte, die nur als Leserbriefe oder als Kongressbeiträge in Form von Referaten, Postern oder Abstracts veröffentlicht worden sind. Ebenfalls unberücksichtigt blieben Berichte, die ohne wissenschaftliche Qualitätssicherung im Internet verfügbar sind.

## 2.3 Studententypen und Beurteilungskriterien

### 2.3.1 Experimentelle Studien

In experimentellen Studien werden die Teilnehmenden unter kontrollierten Bedingungen einer realen Befeldung und/oder einer Scheinexposition ausgesetzt. Diese sogenannten Provokationsstudien sind auf kurzfristige Effekte beschränkt, die bereits während oder kurz nach der Exposition auftreten. Aus ethischen Gründen können keine Effekte untersucht werden, die gesundheitsschädlich oder gefährlich sein könnten. Zielgrößen können neben Veränderungen von physiologischen Parametern auch unspezifische Symptome im Zusammenhang mit der Exposition sein.

Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch die Erwartungshaltung der Teilnehmer oder der Untersucher zu vermeiden, dürfen weder die Teilnehmer noch die Untersucher über den jeweiligen Expositionsstatus informiert sein (doppelte Verblindung). Ausserdem muss die Zuordnung der Teilnehmer zur Expositions- respektive Scheinexpositionsgruppe zufällig (randomisiert) erfolgen. Man unterscheidet zwischen dem Parallelgruppen- und dem «Crossover»-Studiendesign. Beim Parallelgruppendesign wird eine Gruppe scheinexponiert und die andere real exponiert. Eine Voraussetzung für aussagekräftige Resultate ist, dass sich die beiden Teilnehmergruppen zu Beginn der Testung möglichst wenig bezüglich Geschlechterverhältnis, Altersstruktur, Gesundheitszustand und anderen Einflussfaktoren unterscheiden. Bei «Crossover»-Studien absolvieren alle Teilnehmenden zwei oder mehrere Testdurchgänge und werden so sowohl exponiert als auch scheinexponiert. Dadurch dient jeder Proband auch als seine eigene Kontrollperson, und die tatsächlichen Expositionseffekte lassen sich besser untersuchen, da viele andere mögliche Einflussfaktoren (z. B. Geschlecht) bei allen Expositionsbedingungen identisch sind und so keine Rolle spielen können. In Crossover-Studien ist allerdings darauf zu achten, dass die Reihenfolge der Expositionsbedingungen zufällig gewählt wird und dass die Anzahl der Personen mit gleichem Testablauf ausgeglichen ist. Ausserdem muss der Abstand zwischen den einzelnen Durchgängen gross genug sein, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch eventuell länger anhaltende Expositionswirkungen zu vermeiden (Wash-out-Phasen).

Bei der Interpretation der Resultate ist zu berücksichtigen, dass eine statistische Assoziation auch zufällig zustande kommen kann, ohne dass eine kausale Beziehung vorliegen muss. Solche falsch-positiven Befunde gilt es durch entsprechende statistische Absicherung zu erkennen. Gemäss Konvention wird ein Ergebnis erst dann als überzufällig, das heisst statistisch signifikant betrachtet, wenn es durch reinen Zufall mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 5 % zustande käme. Wenn an dem erhobenen Datenmaterial sehr viele statistische Tests durchgeführt werden, ist wahrscheinlichkeitstheoretisch mit einzelnen, zufällig signifikanten Ergebnissen, zu rechnen. Einzelne Studien tragen dem Rechnung, indem sie eine sogenannte Mehrfachtestungskorrektur durchführen (z. B. nach Bonferroni). In diesem Fall wird die Zufallswahrscheinlichkeit reduziert und ein Ergebnis gilt nur als signifikant, wenn es den tieferen, korrigierten Signifikanzwert erreicht. Auch die Relevanz, das heisst die Bedeutung eines statistisch signifikanten Unterschieds für das Befinden oder die Gesundheit der Studienteilnehmer, muss jeweils gesondert beurteilt werden. Beispielsweise kann der Unterschied

zwischen zwei Messwerten eines Laborparameters statistisch signifikant sein, obwohl beide Werte innerhalb des normalen Schwankungsbereichs liegen und sich daher wahrscheinlich nicht auf die Gesundheit oder das Wohlbefinden auswirken. Die Signifikanz sagt nichts darüber aus, ob die Veränderung des untersuchten Messwertes ausserhalb der normalen individuellen Schwankungen oder dem für die gesunde Durchschnittsbevölkerung geltenden Normbereich liegt.

Eine weitere wichtige Voraussetzung für aussagekräftige Studienresultate ist, dass die Anzahl der Probanden gross genug ist. Erst ab einer bestimmten Gruppengrösse reicht die statistische Power aus, um stabile Effektschätzer zu erhalten. Zudem hängt die statistische Power von der Grösse des erwarteten Unterschieds ab: Um eine kleine Differenz statistisch signifikant nachweisen zu können, ist eine grössere Teilnehmerzahl notwendig als für einen sehr stark ausgeprägten Unterschied. Die statistische Stabilität eines Effektschätzers geht aus der Breite des Vertrauensintervalls hervor, das für jeden Effektschätzer angegeben sein sollte (vgl. Glossar).

### 2.3.2 Beobachtende Studien

In epidemiologischen Studien wird das Auftreten von meistens unspezifischen Symptomen bei Personen mit und ohne EHS im Zusammenhang mit der EMF-Exposition unter alltäglichen Bedingungen untersucht. Die Ergebnisse erlauben eine Beurteilung der realen Situation, und insbesondere auch längere Expositionsdauern im Bereich von Monaten und Jahren. Solche Studien sind aber anfälliger für Verzerrungen durch andere Einflussfaktoren oder systematische Fehler in der Methodik. Besonderes Augenmerk muss darauf gelegt werden, dass die Studienanlage der Fragestellung entspricht und dass nicht bereits durch die Auswahl der Teilnehmer eine Verzerrung der Resultate (Selektionsbias) entsteht. Ausserdem ist eine Korrektur für zusätzliche Einflussfaktoren (Confounder) in der statistischen Auswertung notwendig. Dazu dienen multiple Regressionsmodelle oder ähnliche statistische Verfahren mit mehreren Variablen.

Die einfachste epidemiologische Form sind deskriptive Studien zur Beschreibung der Verteilung von Erkrankungen und Risikofaktoren in der Bevölkerung. Diese Studien haben nicht das Ziel, einen Zusammenhang zwischen Exposition und Gesundheit zu untersuchen. In so genannten Querschnittsstudien wird zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer möglichst repräsentativen Bevölkerungsstichprobe die Häufigkeit der Exposition und der gesundheitlichen Beschwerden erfragt oder durch Messungen bestimmt. Unter der Annahme, dass die gegenwärtige Expositionssituation auch für die Vergangenheit aussagekräftig ist, kann von solchen Studien auf mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition und gesundheitlichen Problemen rückgeschlossen werden. Da sich jedoch anhand einer einmaligen Erhebung oft nicht beurteilen lässt, ob die Exposition bereits vor dem Auftreten der Symptomatik vorhanden war, dienen Querschnittsstudien in erster Linie der Hypothesenbildung und erlauben kaum Aussagen über ursächliche Zusammenhänge.

In Fall-Kontrollstudien werden Personen mit und ohne Beschwerden rückblickend nach ihrer Exposition vor dem Auftreten der Beschwerden befragt, z. B. nach der

Mobiltelefonbenutzung oder der beruflichen EMF-Exposition. Wegen der rückwärts gerichteten Fragestellung sind Fall-Kontrollstudien besonders anfällig für Verzerrungen durch Erinnerungsfehler. Man spricht dann von Informations- oder Recall-Bias, wenn beispielsweise Kranke ihre Exposition überschätzen oder Gesunde sie unterschätzen. Dadurch wird der Eindruck eines Zusammenhanges erzeugt, obwohl in Wahrheit keiner besteht. Ebenfalls ein häufiges Problem in Fall-Kontrollstudien sind Verfälschungen durch expositionsabhängige Unterschiede bei der Auswahl der Patienten und Kontrollpersonen (Selektionsbias). Um die Aussagekraft einer Studie und ihrer Ergebnisse beurteilen zu können, müssen die Methoden in den wissenschaftlichen Publikationen möglichst genau und transparent beschrieben sein.

Am aussagekräftigsten sind Kohortenstudien, in denen exponierte und nichtexponierte Personen über einen bestimmten Zeitraum beobachtet werden, weil die Reihenfolge von Exposition und Wirkung evaluiert werden kann. Beispielsweise lässt sich untersuchen, ob unspezifische Symptome bei einer Zu- oder Abnahme der EMF-Belastung ebenfalls zu- oder abnehmen. Da Kohortenstudien zwei oder mehr Datenerhebungen über einen längeren Zeitraum erfordern, sind sie häufig sehr aufwändig.

Wichtig für die Studienbeurteilung ist die Abschätzung von systematischen und nicht-systematischen Fehlern bei der Studiendurchführung. Nichtsystematische Fehler entstehen zum Beispiel durch die ungenaue Erfassung der Exposition, wenn die Fehlklassifizierung zufällig und unabhängig vom untersuchten Effekt ist. Diese Fehler führen eher zu einer Unterschätzung des Zusammenhanges oder zu grösserer statistischer Unsicherheit. Damit verringern sie die Wahrscheinlichkeit, einen vorhandenen Effekt nachzuweisen. Sie sind vor allem bei Studien im Auge zu behalten, die keinen Zusammenhang zwischen Exposition und Gesundheitseffekt ergeben haben. Um falsch negative Ergebnisse zu vermeiden, sind eine möglichst exakte Erfassung der Exposition und die richtige Zuordnung der Studienteilnehmer zu den verschiedenen Belastungskategorien von entscheidender Bedeutung.

Systematische Fehler wie Störgrößen und Selektionsbias können zu einer Über- oder Unterschätzung des realen Zusammenhanges führen. Die Exposition wird also fälschlicherweise als schädlich oder – bei einer negativen Korrelation – sogar als protektiv für die Gesundheit beurteilt. Aus diesem Grund ist die Beachtung systematischer Fehler in erster Linie bei der Beurteilung von Studien relevant, in denen eine statistische Assoziation beobachtet wurde.

### 2.3.3 Metaanalysen

In Metaanalysen werden die Resultate von mehreren Studien kombiniert und mit geeigneten statistischen Methoden neu ausgewertet. Da die Ergebnisse von Metaanalysen auf grösseren Teilnehmerzahlen basieren, sind sie statistisch präziser als Einzelstudien. Beispielsweise kann der kombinierte Effekt von mehreren Studien statistische Signifikanz erreichen, auch wenn keine einzige Studie für sich genommen eine signifikante Expositions-Wirkungsbeziehung gezeigt hat. Allerdings hängt die Aussagekraft einer Meta-Analyse entscheidend von der Qualität der Originalstudien ab. Zudem ist eine gepoolte Auswertung von Einzelergebnissen nicht sinnvoll, wenn die zugrunde

liegenden Originalstudien sehr unterschiedlich (heterogen) sind. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit EHS ein Problem. Da verschiedene Gesundheitsskalen verwendet werden, lassen sich die Ergebnisse nicht kombiniert auswerten und entsprechend gibt es nur wenige Meta-Analysen in diesem Bereich. Weiterhin ist zu beachten, dass häufig Studien, die einen Zusammenhang zwischen Exposition und Zielgrösse ergeben haben, mit grösserer Wahrscheinlichkeit publiziert werden als Studien, die nicht auf einen Zusammenhang hinweisen (Publikationsbias). Es ist daher davon auszugehen, dass Studien ohne statistisch signifikante Assoziationen in der wissenschaftlichen Literatur unterrepräsentiert sind. Es gibt jedoch meta-analytische Methoden, die Aufschluss über das Vorliegen eines solchen Publikationsbias geben. Eine Methode ist die Darstellung der vorliegenden Studienresultate in Form einer so genannten Trichtergraphik (engl.: funnel plot). Darin wird die Grösse einer Studie zu ihrem Ergebnis in Beziehung gesetzt. Weil kleine Studien eine geringere Messgenauigkeit haben als grössere, unterliegen sie eher dem Zufall und weichen stärker vom wahren Wert des untersuchten Zusammenhangs ab. Die Ergebnisse grosser Studien variieren im Durchschnitt weniger um den wahren Wert. In der Trichtergraphik werden die grösseren Studien im oberen Teil dargestellt, die kleineren Untersuchungen im unteren Bereich. Dadurch ist bei vollständiger Veröffentlichung aller Studien eine symmetrische Verteilung der Resultate in Form eines umgekehrten Trichters um den wahren Wert herum zu erwarten. Wenn nicht alle Studien ohne statistisch signifikante Ergebnisse veröffentlicht wurden, ergibt sich ein asymmetrisches, nicht trichterförmiges Bild. Ein weiterer Grund für das Fehlen von Studien in Metaanalysen ist der Ausschluss von Untersuchungen, die nicht auf Englisch veröffentlicht wurden.

#### 2.3.4 Einzelfallberichte

Bei der Untersuchung von Umwelteinflüssen auf die Gesundheit ist die systematische Erfassung und Veröffentlichung von Einzelfallbeobachtungen aus der ärztlichen Praxis prinzipiell wichtig, weil davon auszugehen ist, dass nicht alle Personen auf dieselbe Exposition mit der gleichen Empfindlichkeit reagieren. Gerade seltene, unerwartete «Fälle» fallen häufig durch das Raster der statistisch abgesicherten wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden. Zudem können Gewöhnungs- und Sensibilisierungsprozesse dazu führen, dass sich auch die Reaktion einer bestimmten Person auf den selben Umweltfaktor im Laufe der Zeit verändert (RKI 2006). Bei der Beschreibung von Fallbeobachtungen ist darauf zu achten, dass neben den umfassenden medizinischen Abklärungen auch alle Hinweise auf die Umweltverursachung der Beschwerden detailliert dokumentiert werden. Von entscheidender Bedeutung sind räumliche und zeitliche Bezüge zwischen dem Ausmass bzw. der Veränderung der Exposition und der Symptomatik. Ausserdem sollten möglichst genaue Messungen der Umweltbelastung vorliegen. Des Weiteren ist gemäss den Empfehlungen des Robert-Koch-Instituts (RKI 2006) zu diskutieren, ob nach der wissenschaftlichen Erkenntnislage ein Kausalzusammenhang zwischen Exposition und Symptomatik denkbar ist oder ob andere Faktoren eine Rolle spielen. Aus den Untersuchungsbefunden und theoretischen Überlegungen sollte sich dann eine Einschätzung ergeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit bei der untersuchten Person ein umweltmedizinischer Kausalzusammenhang zwischen Exposition und Beschwerden vorliegt. Typischerweise muss dabei nach dem Ausschlussverfahren vorgegangen werden. Wenn keine andere plausible Erklärung vor-

liegt, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass der Umweltfaktor eine Rolle spielt. Ein Nachweis kann jedoch im Einzelfall kaum je erbracht werden, ausser es handelt sich um eine unmittelbare Reaktion auf einen Reiz, die mehrfach getestet werden kann. Das Ergebnis der Evaluation hat grundsätzlich nur für die betreffende Person Gültigkeit. Erst wenn mehrere Kasuistiken vergleichbare Ergebnisse liefern, ist eine (vorsichtige) Verallgemeinerung zulässig.

Für den vorliegenden Übersichtsbericht wurden Kasuistiken und Einzelfallberichte berücksichtigt, wenn sie in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Begutachtungsverfahren erschienen sind und auch die übrigen in Kapitel 2.2. genannten Einschlusskriterien erfüllten. Die Beurteilung der Fallbeschreibungen erfolgte analog zum Vorgehen bei experimentellen oder beobachtenden Studien. Ein entscheidendes Kriterium für die Aussagekraft von Einzelfallberichten ist, ob die beschriebene Person ihren jeweiligen Expositionsstatus kannte oder nicht. Wenn die Symptome beispielsweise erst auftraten, nachdem die Person Kenntnis von einer neu installierten Expositionsquelle erhalten hatte, gibt dies nicht eindeutig Aufschluss über die Ursache der Beschwerden. Es könnte sich um eine Auswirkung der EMF-Exposition handeln, es könnten aber auch andere Mechanismen wirken. Unter anderem ist anzunehmen, dass die Befürchtungen zu einer stärkeren Beachtung und Wahrnehmung von entsprechenden Symptomen führen.

## 2.4 Beurteilung der Evidenz

Unabhängig von der Art der vorliegenden Studien müssen die Resultate bewertet und gewichtet werden, um die wissenschaftliche Evidenz für oder gegen einen Kausalzusammenhang zwischen einer Exposition und einer gesundheitlichen Zielgrösse beurteilen zu können.

Im vorliegenden Bericht erfolgt die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz anhand der GRADE-Klassifizierung (Guyatt et al. 2011). Dabei wird in einem ersten Schritt die methodische Qualität jeder einzelnen Studie bewertet und ihre Fehleranfälligkeit abgeschätzt. Die Gefahr der Verfälschung durch methodische Mängel wird im GRADE-Schema als «Bias-Risiko» oder «interne Gültigkeit» (Validität) einer Studie bezeichnet. Im zweiten Schritt wird aus allen Studien zur gleichen Fragestellung ein gepoolter Effektschätzer inklusive Vertrauensintervall berechnet, und es wird die Aussagekraft dieses Effektschätzers beurteilt. Das Vertrauen, dass der berechnete Wert den wahren Zusammenhang wiedergibt, hängt von der Beurteilung der einzelnen Studien und der sich daraus ergebenden Qualität der Evidenz ab. Falls kein gepoolter Effektschätzer vorliegt, wie das bei vielen Fragestellungen im Zusammenhang mit EHS der Fall ist, wird analog beurteilt, ob ein Zusammenhang vorliegt oder nicht, ohne auf die Stärke des Zusammenhanges eingehen zu können. Beurteilt wird also, wie gross das Vertrauen in die Aussage für oder gegen einen Zusammenhang zwischen der EMF-Exposition und den untersuchten Beschwerden oder physiologischen Parametern ist.

Dabei ist zu beachten, dass sich die Evidenzbeurteilung immer auf EMF-Expositionen im Bereich unterhalb der Immissionsgrenzwerte gemäss «Verordnung über den Schutz

vor nichtionisierender Strahlung» (NISV 1999) bezieht, auch wenn dies nicht jedes Mal explizit angegeben ist. Dass EMF-Expositionen mit Intensitäten deutlich oberhalb der Immissionsgrenzwerte physiologische und andere Reaktionen auslösen können, ist zweifellos nachgewiesen (BUWAL 2003, BAFU 2007).

#### 2.4.1 Einzelstudienbeurteilung

Bei der Beurteilung von experimentellen Studien mit Parallelgruppen-Design ist neben der bereits erwähnten Randomisierung und der doppelten Verblindung wichtig, dass die Zuordnung zur Expositions- oder Kontrollgruppe verdeckt erfolgte («allocation concealment»). Bei Experimenten mit Crossover-Design, in denen alle Teilnehmer unter verschiedenen Expositionsbedingungen getestet werden und so als ihre eigene Kontrollperson dienen, ist die ausgewogene Balancierung der Expositionsbedingungen wichtig, damit Reihenfolgeeffekte minimiert werden können. Wichtig, aber im Zusammenhang mit diesem Bericht selten relevant, ist auch die Berücksichtigung der Daten von Studienabbrechern in der statistischen Auswertung («Intention-to-treat»-Analyse).

Bei beobachtenden epidemiologischen Studien ist – abgesehen von der Berücksichtigung zusätzlicher Einflussfaktoren («Confounder») – auch zu beurteilen, ob die Exposition und die Zielgrößen angemessen erfasst wurden, und wie mit der Gefahr eines Selektionsbias und mit dem Verlust von Teilnehmern im Verlauf der Studie umgegangen wurde («Loss to follow-up»). Ebenfalls zu beachten ist, dass in epidemiologischen Studien meistens Schätzwerte zum Vergleich der Risiken in den Teilnehmergruppen mit verschiedenen Expositionsstufen berechnet werden. Dabei handelt es sich um Masszahlen für das relative Risiko, beispielsweise Odds Ratios (siehe Glossar).

Wenn in der Publikation einer wissenschaftlichen Studie wesentliche Informationen zur Methodik fehlen oder der Einfluss von systematischen Fehlern (=Verzerrungen) weder im Studiendesign, noch bei der statistischen Auswertung oder zumindest in der Diskussion angemessen berücksichtigt wurde, können die Resultate dieser Studie nicht zur Beurteilung der Gesamtevidenz herangezogen werden.

Gemäss GRADE-Klassifizierung gelten randomisierte, plazebokontrollierte Doppelblindstudien *a priori* als Studientyp mit der höchsten Evidenzstufe. An zweiter Stelle rangieren beobachtende, epidemiologische Studien. Je nach methodischer Qualität der randomisierten Studien und nach Übereinstimmung der Resultate verschiedener Studien erfolgt dann eine Auf- oder Abwertung der Evidenz auf der vierstufigen Skala. Am wenigsten zur Evidenz tragen Einzelfallberichte, Expertenmeinungen, Übersichtsartikel und ähnliche Publikationen bei.

#### 2.4.2 Gesamtevidenzbeurteilung

Zu den Beurteilungskriterien für die Gesamtevidenz gehören unter anderem die Übereinstimmung der Ergebnisse verschiedener Studien (Konsistenz) und die statistische Präzision des mit metaanalytischen Methoden berechneten gemeinsamen Effektschätzers. Wenn in den Studien mehrere gesundheitliche Auswirkungen einer Exposition

evaluiert wurden, erfolgt diese Beurteilung für jede Auswirkung einzeln. Beim Vorliegen mehrerer randomisierter Studien zur selben Fragestellung können insgesamt fünf Gründe zur **Abwertung der Evidenzqualität** führen:

- > Methodische Mängel der Einzelstudien (auch «Bias-Risiko» oder «Limitationen» genannt)
- > Fehlende Übereinstimmung der Resultate von mehreren Studien (Inkonsistenz der Ergebnisse)
- > Indirekt gemessene Zielgrössen (z. B. Surrogatmarker statt eigentlicher Zielgrösse erfasst)
- > Mangelnde Genauigkeit der Effektschätzer (z. B. weite Vertrauensintervalle)
- > Publikationsbias (asymmetrische Verteilung der Studienresultate in einer Trichtergraphik, siehe auch Kapitel 2.3 «Studientypen und Beurteilungskriterien»)

Für die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz im Zusammenhang mit EHS anhand der GRADE-Klassifizierung spielt die «Indirektheit» (Messung von Surrogatmarkern) keine grosse Rolle. Wichtig ist hingegen vor allem die methodische Qualität der Einzelstudien («Bias-Risiko») und die Übereinstimmung der Ergebnisse («Konsistenz»). Beim Kriterium der Konsistenz ist zu beachten, dass ein einzelnes statistisch signifikantes Resultat noch keinen Beweis für einen Zusammenhang darstellt. Statistisch signifikant bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für ein falsch-positives Resultat kleiner als 5 % ist. Theoretisch wäre also zu erwarten, dass eine von 20 Studien (bzw. Analysen) statistisch signifikant wird, obwohl in Wirklichkeit kein Zusammenhang zwischen Exposition und Wirkung besteht. Analysen haben aber gezeigt, dass in der biomedizinischen Forschung aus verschiedenen Gründen de facto noch deutlich mehr falsch-positive Resultate publiziert werden (z. B. Publikationsbias) (Sterne und Davey Smith 2001).

Zusätzlich muss bewertet werden, wie gravierend die Einschränkungen sind bzw. wie stark sie die Qualität der Evidenz herabsetzen:

**Tab. 1 > Abwertung der Evidenzqualität**

Studiendesign	Initiale Evidenzqualität	Gründe für Abwertung der Evidenzqualität	
Randomisierte Studien	Hoch	Bias-Risiko	-1 gravierend, -2 sehr gravierend
		Inkonsistenz	-1 gravierend, -2 sehr gravierend
		Indirektheit	-1 gravierend, -2 sehr gravierend
		Ungenauigkeit	-1 gravierend, -2 sehr gravierend
		Publikationsbias	-1 wahrscheinlich, -2 sehr wahrscheinlich

Wenn zu einer Fragestellung ausschliesslich epidemiologische Studien vorliegen, ist die Qualität der Evidenz gemäss GRADE zunächst niedrig. Es gibt aber drei Gründe, um die Beurteilung der Evidenz **aufzuwerten**:

- > Deutlicher Effekt (grosse Differenz in der Zielgrösse zwischen Interventions- und Kontrollgruppe)
- > Dosis-Wirkungsbeziehung vorhanden

> Störfaktoren, für die nicht korrigiert werden konnte, würden den beobachteten Zusammenhang abschwächen. Bei Studien, die keinen Zusammenhang zeigen, kann die Evidenzqualität dann aufgewertet werden, wenn davon auszugehen ist, dass unberücksichtigte Einflussfaktoren einen Zusammenhang eher vortäuschen als abschwächen würden.

**Tab. 2 > Aufwertung der Evidenzqualität**

Studiendesign	Initiale Evidenzqualität	Gründe für Aufwertung der Evidenzqualität	
Beobachtende Studien	Niedrig	Grosser Effekt	+ 1 gross, + 2 sehr gross
		Dosis-Wirkungsbeziehung	+ 1 bei Hinweis auf einen Gradienten
		Alle plausiblen nichtkorrigierten Einflussgrössen	+ 1 würden den beobachteten Zusammenhang abschwächen oder + 1 würden einen Effekt vortäuschen, wenn keine Assoziation beobachtet wurde

Basierend auf dieser Bewertung wird die Evidenzqualität für den Zusammenhang zwischen der Exposition und jeder untersuchten Zielgrösse auf einer vierstufigen Skala beurteilt (Balshem et al. 2011):

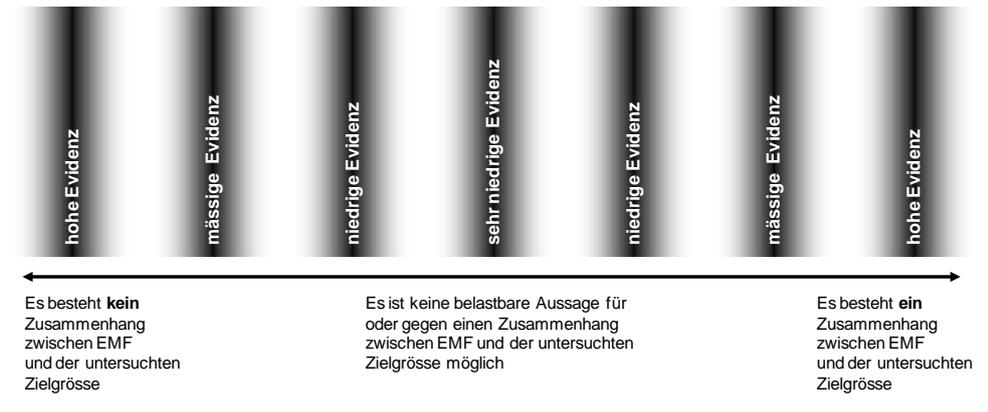
**Tab. 3 > Skala der Evidenzqualität**

Stufe der Evidenzqualität nach GRADE	Definition
Hoch (++++)	Wir sind sehr überzeugt, dass der wahre Zusammenhang nahe bei dem Effektschätzer liegt.
Mässig (+++)	Wir halten den Effektschätzer für mässig zuverlässig: Der wahre Zusammenhang liegt wahrscheinlich in der Nähe des Effektschätzers, es besteht aber auch die Möglichkeit, dass er sich erheblich von ihm unterscheidet.
Niedrig (++)	Unser Vertrauen in den Effektschätzer ist begrenzt: Der wahre Zusammenhang könnte erheblich davon abweichen.
Sehr niedrig (+)	Wir beurteilen den Effektschätzer als wenig zuverlässig: Der wahre Zusammenhang unterscheidet sich wahrscheinlich erheblich von ihm.

Diese Definitionen gelten auch dann, wenn die vorliegenden Studien insgesamt nicht auf eine Assoziation zwischen der untersuchten Exposition und der Zielgrösse hinweisen. Wenn die Evidenz als sehr niedrig eingestuft wird, gilt diese Einschätzung jeweils in beide Richtungen. Die Evidenz ist dann jeweils **für** oder **gegen** das Vorliegen einer Assoziation sehr niedrig, das heisst, dass letztlich keine Aussage über einen allfälligen Zusammenhang möglich ist (siehe Abbildung). Trotz der Einteilung in vier Stufen halten die GRADE-Autoren fest, dass sowohl die Gewichtung der einzelnen Studien als auch die Gesamtbeurteilung der Evidenz letztendlich auf subjektiven Urteilen beruht und dass es sich bei der Evidenzqualität eher um ein Kontinuum als um eindeutig abgrenzbare Kategorien handelt. Zudem ist zu beachten, dass damit nur eine Aussage über die Evidenzqualität gemacht wird, aber nicht über die Stärke des Zusammenhangs oder die Höhe des untersuchten Risikos.

### > Überblick über die Beurteilung der Gesamtevidenz gemäss GRADE

Die Abbildung macht keine Aussage über die Höhe eines allfälligen Risikos, sondern nur über die Sicherheit, mit der ein solches postuliert oder verworfen wird.



## 3 > Häufigkeit in der Bevölkerung (Prävalenzstudien)

---

Die ersten Studien zum Auftreten von Symptomen im Zusammenhang mit der Mobiltelefonbenutzung stammten aus Skandinavien (Ofteda et al. 2000, Sandström et al. 2001). Eine grosse Untersuchung umfasste rund 17 000 zufällig ausgewählte Personen. Die Befragten benutzten entweder ein analoges Telefon (NMT) oder ein digitales GSM-Telefon zu beruflichen Zwecken. In Schweden gaben 13 % der Befragten Beschwerden im Zusammenhang mit Mobiltelefonen an, in Norwegen war der Anteil mit 31 % deutlich höher. Die Symptome und deren Häufigkeitsreihenfolge waren in beiden Ländern ähnlich. Am häufigsten wurde über ein Wärmegefühl am Ohr geklagt, dann folgten brennende Haut, Kopfschmerzen, Schwindel, Unbehagen und Müdigkeit.

In einer schwedischen Querschnittsstudie aus dem Jahr 2002 mit 15 000 zufällig ausgewählten Teilnehmern gaben dagegen nur 1.5 % der Antwortenden an, sensibel auf elektrische oder magnetische Felder zu reagieren (Hillert et al. 2002). Am häufigsten genannt wurde das Symptom Müdigkeit. Ebenfalls unter 5 % rangierten die EHS-Prävalenzen in Umfragen aus Kalifornien mit 3,2 % (Levallois et al. 2002), aus Grossbritannien mit 4 % (Eltiti et al. 2007a) und aus Österreich mit 3,5 % (Schröttner und Leitgeb 2008).

In der Schweiz ergab eine Umfrage an einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe aus dem Jahr 2004 eine EHS-Prävalenz von 5 % bei Personen ab 14 Jahren (Schreier et al. 2006). Diese Personen nannten am häufigsten Schlafstörungen (43 %) und Kopfschmerzen (34 %), die sie überwiegend auf Expositionen durch Stromleitungen und Mobiltelefone zurückführten. Weitere 53 % der Befragten äusserten sich hinsichtlich gesundheitlicher Risiken durch EMF besorgt, berichteten aber nicht über eigene Beschwerden.

In einer repräsentativen Erhebung des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) aus dem Jahr 2009 wurden ca. 2500 Personen zu ihrer Besorgtheit und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder befragt (Hartmann und Belz 2010). Im Hinblick auf Mobilfunkfelder machten sich etwa 31 % der Befragten Sorgen, und 10 % gaben gesundheitliche Beeinträchtigungen an. Diese Ergebnisse unterschieden sich kaum von den früheren Befragungen desselben Instituts, die zwischen 2003 und 2006 jährlich durchgeführt wurden, ein zu- oder abnehmender Trend war nicht zu erkennen. Auch die am häufigsten genannten Beschwerden waren wie schon in den Vorjahren Kopfschmerzen bzw. Migräne (18 %) und Schlafprobleme (12 %).

In einer aktuellen Querschnittsstudie aus Taiwan lag die Prävalenz der EHS bei 13,3 % (Meg Tseng et al. 2011). Die am meisten genannten Expositionsquellen waren Basisstationen (22,4 %), Stromleitungen (16,5 %) und Mobiltelefone (15,9 %).

Zwei Studien untersuchten, wie sich die Selbsteinschätzung von EHS über die Zeit verändert. In der QUEBEB-Studie aus Deutschland gaben bei der ersten Befragung im August 2004 rund 19 % der Teilnehmer an wegen Mobilfunksendeanlagen besorgt zu sein und weitere 10,3 % fühlten sich durch die Felder gesundheitlich beeinträchtigt (Blettner et al. 2009). Bei der zweiten Befragung der Teilnehmer im Jahr 2006 zeigte sich, dass 46,7 % derjenigen, die bereits 2004 wegen Mobilfunkbasisstationen besorgt gewesen waren, sich weiterhin Sorgen machten (Kowall et al. 2011). Über gesundheitliche Beschwerden berichteten 31,3 % der Personen, die zwei Jahre zuvor auch Symptome angegeben hatten. Diese Ergebnisse weisen auf eine gewisse Instabilität der Angaben von Studienteilnehmern bezüglich ihrer Besorgnis und ihrer gesundheitlichen Beschwerden hin. Diese Instabilität war auch in der Qualifex-Studie zu beobachten (Röösli et al. 2010b, siehe auch Kapitel 5). Hier bezeichneten sich 8,6 % der zufällig ausgewählten Bewohner aus der Region Basel in der Basisbefragung im Jahr 2008 als elektrohypersensibel. Weitere 12,9 % der Teilnehmenden gaben durch EMF verursachte Beschwerden an, bezeichneten sich aber nicht als hypersensibel («Zuschreiber»). Bei der erneuten Befragung ein Jahr später gaben 54 % der EHS-Personen dieselbe Antwort wie in der ersten Befragung, 16 % berichteten noch von Symptomen («Zuschreiber»), bezeichneten sich aber nicht mehr als elektrosensibel und 30 % der vormaligen EHS-Personen gaben keine Probleme mehr mit EMF an. Andererseits berichteten rund 3 % des Studienkollektivs neu an EHS zu leiden, so dass der gesamte Anteil von EHS-Personen am Studienkollektiv im Jahr 2009 ähnlich hoch wie 2008 war (7,7 %).

### 3.1 Bewertung der Prävalenzstudien

Bei Befragungen und epidemiologischen Studien zu EHS handelt es sich um beobachtende Studien, so dass die initiale Evidenzqualität gemäss GRADE niedrig ist. Die berichteten Häufigkeiten von EHS variieren zwischen den Studien relativ stark und liegen im Bereich von 1 bis 20 %. Die Evidenz, dass es sich dabei um wahre räumliche und zeitliche Unterschiede handelt, wird als gering eingeschätzt. Vielmehr scheinen die Erhebungsmethoden und der Kontext der Studie eine Rolle zu spielen. In Befragungen in Deutschland zwischen 2003 und 2006 sowie 2009 war bei Verwendung der gleichen Erhebungsmethodik der Bevölkerungsanteil von Personen, die Beschwerden im Zusammenhang mit Mobilfunk angeben, relativ konstant. Wurden aber innerhalb von ein bis zwei Jahren die gleichen Personen mehrfach befragt, variierten die Antworten erheblich. Dann gab nur rund die Hälfte der EHS-Personen in beiden Erhebungen die gleiche Selbsteinschätzung an.

## 4 > Kurzzeiteffekte der EMF-Exposition: Provokationsstudien

---

In diesem Kapitel sind Studien zusammengefasst, die Effekte einer kurzfristigen EMF-Exposition untersuchen. Kurzfristige Effekte werden in experimentellen Studien untersucht, bei denen EHS-Personen unter kontrollierten Bedingungen zufällig (randomisiert) mindestens einer realen Exposition und/oder einer Scheinexposition ausgesetzt werden, ohne ihren Expositionsstatus zu kennen (doppelblind). In den Kapiteln 4.1. bis 4.4 werden vier verschiedene Aspekte der kurzfristigen Exposition dargestellt: Veränderungen physiologischer Parameter (4.1.), Befinden und Beschwerden (4.2.), Elektrosensitivität (4.3.) und Nozebo-Effekte (4.4.).

### 4.1 Physiologische Parameter

Physiologische Parameter wie Herzfrequenz, Blutdruck, Hirnströme oder kognitive Leistungen werden mit entsprechenden Geräten oder Tests gemessen und daher auch als «objektive Parameter» bezeichnet. Im Folgenden werden die Studien zu diesen Parametern separat für drei verschiedene Expositionsarten vorgestellt: niederfrequente EMF, hochfrequente Nahfeldexposition und hochfrequente Fernfeldexposition.

#### 4.1.1 Niederfrequente Magnetfelder

In der Studie von Trimmel und Schweiger 1998 absolvierten 36 EHS- und 30 Kontrollpersonen während der Magnetfeldexposition verschiedene Hirnleistungstests zur visuellen Wahrnehmung und Verarbeitung sowie zum verbalen Gedächtnis. Das 50-Hz-Magnetfeld stammte von einem Transformator und betrug auf Kopfhöhe 1 mT. Es gab drei Expositionsbedingungen, die jeweils eine Stunde dauerten: EMF plus Lärm, nur Lärm (45 dB, 100 Hz) oder Scheinexposition. Die Scheinexposition war wegen des fehlenden Lärms für alle Beteiligten erkennbar, die Magnetfeldexposition erfolgte doppelblind. Jeder Proband wurde bei Scheinexposition sowie bei einer der beiden anderen Bedingungen getestet. Verglichen wurden die Leistungen der Probanden bei «EMF plus Lärm» (25 EHS, 11 Nicht-EHS) mit den Leistungen der Probanden bei «nur Lärm» (11 EHS, 19 Nicht-EHS). Dabei wurde für die jeweilige Leistung der Probanden während der Scheinexposition korrigiert, indem zunächst die Differenz dieser beiden Werte gebildet wurde. Für zwei von 5 kognitiven Parametern waren diese Differenzen bei «EMF plus Lärm» im Durchschnitt grösser als bei «nur Lärm». Bei der getrennten Auswertung von Personen mit und ohne EHS zeigte sich, dass dies nur auf die EHS-Gruppe zutraf. Personen mit EHS hatten bei «EMF plus Lärm» für diese zwei Parameter statistisch signifikant schlechtere Leistungen erzielt. In der Kontrollgruppe waren die Unterschiede nicht signifikant. Die Aussagekraft dieser Studie ist dadurch limitiert, dass nicht jeder Teilnehmer alle drei Testbedingungen durchlief und die

Vergleichbarkeit der Probandengruppen fraglich ist. Problematisch ist sicher, dass das Durchschnittsalter in der EHS-Gruppe bei 70 Jahren lag, in der Kontrollgruppe dagegen nur bei 31 Jahren. Dieser grosse Altersunterschied wurde auch in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt und könnte die Ergebnisse beeinflusst haben.

Eine weitere Provokationsstudie evaluierte die Auswirkungen eines 60-Hz-Magnetfelds auf die Hirnströme im EEG, auf die visuell evozierten Potenziale sowie auf elektrodermale Aktivität, das EKG und den Blutdruck als Parameter des autonomen Nervensystems (Lyskov et al. 2001a). Zwanzig EHS- und 20 Kontrollpersonen sassen während der Testung auf einem Stuhl zwischen 3 Magnetfeldspulen, die magnetische Flussdichte des Feldes betrug  $10 \mu\text{T}$ . Mithilfe eines Timers wurde das Feld periodisch alle 15 Sekunden an- und abgeschaltet. Es gab vier Expositionsbedingungen, die jeweils 10 Minuten dauerten und in randomisierter Reihenfolge erfolgten: reale Befeldung und Scheinexposition, jeweils in Ruhe oder mit gleichzeitigem Lösen von Rechenaufgaben. Die statistische Analyse der Messwerte ergab für keine der beiden Gruppen signifikante Unterschiede im Zusammenhang mit der Magnetfeldexposition. Der Nachteil bei dieser Studie ist, dass die Expositionen sehr rasch aufeinander folgten und deshalb allfällige Effekte aufgrund der fehlenden Auswaschphase verdeckt werden könnten.

Eine kleine Untersuchung von Wenzel et al. 2005 evaluierte die Auswirkungen einer 50-Hz-Ganzkörperexposition auf die Mikrozirkulation der Haut an 3 EHS-Personen und 7 Kontrollpersonen. Während der Testung lagen die Probanden zwischen 3 Magnetfeldspulen, die magnetische Flussdichte betrug  $96 \mu\text{T}$ . Die Hautdurchblutung wurde kontinuierlich mit einem Laserdoppler-Gerät am rechten Daumen gemessen. Zusätzlich wurden Blutdruck, Herzfrequenz und periphere Sauerstoffsättigung im Blut erfasst. Die erste Testphase bestand aus zweimal 25 Minuten Scheinexposition und Exposition. In der zweiten Phase, die ebenfalls 50 Minuten dauerte, wurde das Feld unter Doppelblindbedingungen alle 5 Minuten ein- und ausgeschaltet. Die Auswertungen ergaben weder für EHS-Personen noch für Kontrollpersonen expositionsabhängige Veränderungen der Mikrozirkulation. Es wurde kein Einfluss der Exposition auf die Parameter der Herz-/Kreislauffunktionen beobachtet. Auch hier ist die fehlende Auswaschphase zwischen den Expositionsbedingungen eine Limitierung.

Kim et al. 2011 führten eine Doppelblindstudie mit 15 EHS-Personen und 16 Kontrollpersonen durch. Während der Exposition sassen die Probanden auf einem Stuhl, die zylinderförmige Magnetspule befand sich 20 cm über ihrem Kopf. Die Magnetfeldstärke im Bereich des Kopfes betrug  $12,5 \mu\text{T}$ , die Frequenz lag bei 60 Hz. Die Exposition respektive Scheinexposition dauerte 30 Minuten und erfolgte in zufälliger und ausgeglichener Reihenfolge. Die Messung der physiologischen Parameter dauerte jeweils 5 Minuten und erfolgte in der Ruhephase vor der Exposition (Stadium I), nach 11 und 27 Minuten Exposition (Stadium II und III) sowie 11 Minuten nach Expositionsende (Stadium IV). Registriert wurden die Herzfrequenz, die Herzfrequenzvariabilität (HRV) und die Atemfrequenz. Verglichen wurde die prozentuale Veränderung des Quotienten zwischen nieder- und hochfrequenter Aktivität der HRV (LFP/HFP) in den vier Teststadien. Dieser Quotient gilt als Index für das Gleichgewicht des autonomen Nervensystems. Für die Kontrollgruppe ergaben die Auswertungen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Expositionsbedingungen oder zwi-

schen den vier Teststadien bezüglich aller physiologischen Parameter. Bei den EHS-Personen bestanden für die Herz- und Atemfrequenz ebenfalls keine expositionsabhängigen Unterschiede. Der HRV-Quotient (LFP/HFP) stieg in der EHS-Gruppe unter beiden Expositionsbedingungen im Testverlauf an. Der Unterschied zwischen den Expositionsbedingungen war aber statistisch nicht signifikant ( $p=0,78$ ), was darauf hindeutet, dass die EMF-Exposition für diesen Effekt nicht relevant war.

**Tab. 4 > Experimentelle Studien im Labor an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zu Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf physiologische Parameter**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Trimmel und Schweiger, 1998	Parallelgruppen, doppelblind bezüglich EMF, Reihenfolge ausgeglichen	36 EHS, 70 Jahre 30 Nicht-EHS, 31 Jahre, Frauenanteil in Gesamtgruppe: 18 %	Transformator-Spule, Sinuswellen, 50 Hz, 1 mT	2 x 1 Stunde: EMF + Lärm und Scheinexposition oder nur Lärm und Scheinexposition	EHS-Personen: korrekte visuelle Verarbeitung, Aufmerksamkeit ↓ ( $p < 0,05$ )	EHS-Personen: Nicht korrekte visuelle Verarbeitung, visuelle Wahrnehmung, verbales Gedächtnis  Nicht-EHS: korrekte visuelle Verarbeitung, Aufmerksamkeit, nicht korrekte visuelle Verarbeitung, visuelle Wahrnehmung, verbales Gedächtnis
Lyskov et al. 2001a	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 75 %, 46 Jahre 20 Nicht-EHS, Frauen: 75 %, 45 Jahre	Ganzkörperexposition durch 3 Rechteckspulen, Sinuswellen, 60 Hz, 10 $\mu$ T, intermittierend (15 Sek. an, 15 Sek. aus)	4 x 10 Minuten: jeweils zweimal Exposition und Scheinexposition, mit / ohne Rechenaufgaben		Herzfrequenz, Blutdruck, elektrodermale Aktivität, Hirnströme, visuell evozierte Potenziale
Wenzel et al. 2005	Crossover, doppelblind (Protokoll 2)	3 Männer mit EHS, 37 Jahre 7 Nicht-EHS Frauen: 43 %, 25 Jahre	Ganzkörperexposition durch 3 Magnetspulen, 50 Hz, 96 $\mu$ T	Protokoll 1: 2 x 25 Min., Exposition und Scheinexposition; Protokoll 2: 50 Min., jeweils 5 Minuten an- oder ausgeschaltet		Mikrozirkulation der Haut, Blutdruck, Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung im Blut
Kim et al. 2011	Crossover, doppelblind	15 EHS, Frauen: 33 %, 26,2 Jahre 16 Nicht-EHS, Frauen: 31 %, 25,6 Jahre	Ganzkörperexposition, Magnetspule 20 cm über dem Kopf, 60 Hz, 12,5 $\mu$ T im Bereich des Kopfes	2 x 30 Minuten, Reihenfolge ausgeglichen		Herzfrequenz, Atemfrequenz, Herzfrequenzvariabilität

**4.1.2 Hochfrequente EMF: Nahfeldexposition**

In der Studie von Hietanen et al. 2002 wurden 20 Personen (13 Frauen, 7 Männer), die sich selbst als hypersensibel gegenüber EMF bezeichneten, einem analogen Mobiltelefon, einem 900 MHz- und einem 1800 MHz-GSM-Mobiltelefon (Abstand 1 bis 5 cm) während je 30 Minuten exponiert, jeweils einmal ab- und einmal angeschaltet. Pro Tag wurden drei bis vier Expositionen durchgeführt, die Scheinexposition erfolgte jeweils in der ersten oder zweiten Sitzung. Während den Expositionen wurden alle fünf Minu-

ten Puls und Blutdruck gemessen. Der systolische Blutdruck und die Herzfrequenz waren bei Scheinexposition am höchsten. Statistisch signifikant waren die Unterschiede hinsichtlich des systolischen Blutdrucks bei Exposition gegenüber dem analogen und dem 1800-MHz-Mobiltelefon, hinsichtlich der Herzfrequenz bei Exposition gegenüber dem 900-MHz-Telefon. In Bezug auf den diastolischen Blutdruck zeigten sich keine Unterschiede. Da die Reihenfolge von Schein- und echten Expositionen nicht zufällig war und auch im Analysemodell nicht berücksichtigt wurde, lässt sich nicht auseinanderhalten, ob ein echter, expositionsbedingter Unterschied bestand oder ob die Beobachtung durch eine tendenzielle Abnahme von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck im Verlauf der Testsituation zustande kam.

Für das Experiment von Wilen et al. 2006 wurden aus einer Querschnittsstudie 20 Personen ausgewählt, die beim Mobiltelefonieren unspezifische Symptome angegeben hatten, und 20 Personen ohne solche Beschwerden. Zu den Beschwerden gehörten Schwindelgefühl, Unwohlsein, Konzentrations- und Sensibilitätsstörungen. Die Versuchspersonen wurden im Wachzustand während 30 Minuten einem GSM-Telefonsignal oder Scheinexposition ausgesetzt. Die Antenne befand sich in 8,5 cm Entfernung vom Kopf, das EKG wurde registriert und die Herzfrequenzvariabilität ausgewertet. Die Personen mit Beschwerden hatten bereits vor der Exposition eine höhere Aktivität in den niedrigen Frequenzen (LF) der Herzfrequenzvariabilität und eine verminderte Aktivität im hochfrequenten Bereich (HF) und dadurch ein höheres LF/HF-Verhältnis. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Expositionsart. Auch hinsichtlich Fingerdurchblutung und elektrischem Potenzial der Haut wurde kein Expositionseffekt beobachtet. Zusätzlich absolvierten die Teilnehmer auch Tests zur visuellen Wahrnehmung (Critical Flicker Fusion Frequency Test), zum Kurzzeitgedächtnis und zur Reaktionszeit. Im Kurzzeitgedächtnis-Test schnitten die Personen mit Beschwerden vor der Exposition in Bezug auf korrekte Antworten und Reaktionszeiten schlechter ab als die Gesunden. Die Unterschiede verschwanden aber in den folgenden Durchgängen und hingen nicht mit der Exposition zusammen. Im Test zur visuellen Wahrnehmung ergaben sich keine Differenzen.

In einer Studie an 17 EHS-Personen zum Auftreten von Kopfschmerzen im Zusammenhang mit der Mobiltelefonexposition wurden auch die Herzfrequenz und der Blutdruck gemessen (Ofstedal et al. 2007). Das Expositionssignal wurde von einem GSM-Mobiltelefon generiert und an zwei Antennen übertragen, die an der Wand des Untersuchungsraums angebracht waren. Die Antennen befanden sich 8,5 cm vom Kopf entfernt, exponiert wurde jeweils die zum Telefonieren bevorzugte Kopfseite. Die Exposition resp. Scheinexposition dauerte 30 Minuten, die Reihenfolge der Expositionen war zufällig. Während der Exposition sahen die Teilnehmer Dokumentarfilme auf Video, und es wurden Herzfrequenz und Blutdruck registriert. Zwischen den Durchgängen lag ein Abstand von mindestens zwei Tagen. Die Auswertungen ergaben keine statistisch signifikanten Expositionseffekte.

Die Studie von Bamiou et al. 2008 betraf Auswirkungen der Mobiltelefonexposition auf die äusseren Haarzellen des Innenohrs bei Personen mit und ohne EHS. Die Teilnehmer wurden einem GSM-900-Mobiltelefonsignal, einem unmodulierten Signal und Scheinexposition ausgesetzt. Die Expositionsdauer betrug jeweils 30 Minuten. Untersucht wurde die Funktion des Gehör- und Gleichgewichtsorgans mittels transients

evozierter otoakustischer Emissionen (TEOAO) und Videookulographie zur Identifizierung eines klinisch signifikanten Nystagmus (=Augenzittern). Die TEOAOs wurden durch Klickreize hervorgerufen. Die beiden Untersuchungen fanden im Abstand von zwei bis vier Wochen statt. In jeder Sitzung durchliefen die Teilnehmer alle drei Expositionsphasen zweimal, das Mobiltelefon befand sich einmal am linken und einmal am rechten Ohr (in randomisierter Reihenfolge). Die Aufzeichnung der TEOAOs resp. der Videookulographie erfolgte zu Beginn der Untersuchung und direkt nach jeder Exposition. Die Auswertungen ergaben weder bei Personen mit EHS noch bei Personen ohne EHS statistisch signifikante Unterschiede in der TEOAO-Amplitude. Während des ganzen Experiments wurde kein klinisch relevanter Nystagmus beobachtet, daher war eine statistische Auswertung nicht möglich.

In der einfach verblindeten Studie von Nam et al. 2009 wurden 18 Personen mit EHS und 19 Kontrollpersonen einem CDMA-Mobiltelefon an der linken Kopfseite und Scheinexposition ausgesetzt. Die Exposition dauerte jeweils 30 Minuten. Herz- und Atemfrequenz, Herzfrequenzvariabilität und Hauttemperatur des Gesichts wurden 5 Minuten vor der Exposition, nach 15 und 31 Minuten sowie 10 Minuten nach Expositionsende gemessen. Die Analyse ergab weder für EHS- noch für Kontrollpersonen signifikante Veränderungen der Herz-/Kreislaufparameter im Zusammenhang mit der Exposition.

Eine schwedische Crossover-Studie evaluierte die kognitiven Funktionen vor und nach einer Mobiltelefonexposition (Wiholm et al. 2009). Dreiundzwanzig Teilnehmer mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden, z. B. Kopfschmerzen oder Schwindel, und 19 Kontrollpersonen absolvierten Tests zum räumlichen Gedächtnis. Die Exposition gegenüber einem GSM-Mobiltelefon respektive Scheinexposition dauerte insgesamt 3 Stunden und fand am Abend statt. Vor dem Beginn der Exposition und nach 2,5 Stunden wurde ein Test zum räumlichen Gedächtnis mit jeweils 7 Durchgängen durchgeführt. Für die räumliche Gedächtnistestung vor der Exposition ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten. Nach 2,5-stündiger Mobiltelefonexposition war die Gedächtnisleistung in der EHS-Gruppe statistisch signifikant besser als bei Scheinexposition ( $p < 0,026$ ). Bei der Kontrollgruppe hatte die Exposition keinen Effekt.

Im Rahmen der selben Studie wurden die Auswirkungen der Mobiltelefonexposition auf das EEG im Schlaf und die Schlafstadien untersucht (Lowden et al. 2011). Für die Schlafanalyse lagen Daten von 23 Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden und von 25 Kontrollpersonen vor. Die dreistündige Exposition fand vor dem Schlafengehen statt (19:30 bis 22:30 Uhr). Die polysomnographische Aufzeichnung des Schlaf-EEGs begann um 23:30 und endete am nächsten Morgen um 6:30 Uhr. Die Auswertung der beiden Teilnehmergruppen gemeinsam ergab nach der realen Mobiltelefonexposition ein statistisch signifikant längeres Schlafstadium 2 (im Durchschnitt plus 8,3 Minuten (4 %),  $p = 0,044$ ) und eine kürzere Dauer der Schlafstadien 3 und 4, dem sogenannten «Slow-wave»-Schlaf (minus 9,5 Minuten (12 %),  $p = 0,014$ ). Ausserdem war die Latenzzeit vom Schlafbeginn bis Stadium 2 länger als bei Scheinexposition ( $p = 0,008$ ). Es bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe mit Beschwerden und der Kontrollgruppe. Bezüglich der EEG-Aktivität zeigte sich in den ersten 30 Minuten des Schlafstadiums 2 nach der Mobiltelefonexposition

---

eine signifikante Zunahme in den Frequenzbereichen 0,5 bis 1,5 Hz und 5,75 bis 10,5 Hz. Diese Bereiche gehören zu den Delta-, Theta- und Alpha-Frequenzbändern der Hirnströme. Während der ganzen ersten Stunde des Stadium-2-Schlafes war diese Aktivität erhöht, vor allem in den Frequenzbändern 7,5 bis 11,75 Hz. In der zweiten Stunde des Stadium-2-Schlafes war die Aktivität im Bereich von 4,75 bis 8,25 Hz erhöht. Diese Differenzen in der Hirnstromaktivität waren expositionsabhängig, unterschieden sich aber nicht zwischen der EHS- und der Kontrollgruppe. In derselben Studie wurde auch das Auftreten von unspezifischen Symptomen untersucht. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in der Publikation von Hillert et al. 2008 zu finden (siehe Kap. 4.2.2). In einer weiteren Publikation wurden vorläufige Resultate zu mehreren Zielgrößen veröffentlicht (Arnetz et al. 2007).

Mortazavi et al. 2011 testeten in ihrer Doppelblindstudie 20 iranische Studenten, die sich als hypersensibel bezeichneten. Die Exposition respektive Scheinexposition erfolgte mittels eines Mobiltelefons und dauerte jeweils 10 Minuten. Zwischen realer und Scheinexposition lag eine zwanzigminütige Pause. Während der Expositionsphasen wurden Blutdruck, Herz- und Atemfrequenz sowie die Körpertemperatur gemessen. Der statistische Vergleich ergab keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Exposition. In der Publikation fehlen Angaben dazu, wo und in welchem Modus sich das Mobiltelefon während der Testung befand und welches System verwendet wurde. Auch zur Sendeleistung respektive der spezifischen Absorptionsrate gibt es keine Informationen.

**Tab. 5 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zu Auswirkungen der hochfrequenten Nahfeldexposition (z. B. von Mobiltelefonen) auf physiologische Parameter**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Hietanen et al. 2002	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge nicht randomisiert, nicht ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 65 %, 49,4 Jahre	Mobiltelefon an rechter Kopfseite, CW analog 900 (1 W), GSM 900 (0,25 W), GSM 1800 (0,125 W)	3 bis 4 x 30 Minuten: 2 bis 3 reale Expositionen und eine Scheinexposition	Systolischer Blutdruck bei Analogsignal und GSM 1800 ↓, Herzfrequenz bei GSM 900 ↓ (Expositionsreihenfolge nicht ausgeglichen)	Diastolischer Blutdruck
Wilen et al. 2006	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 20 %, 45,4 Jahre  20 Nicht-EHS, Frauen: 20 %, 44,9 Jahre	Mobiltelefon, GSM 900, max. SAR10: 0,8 W/kg, Antenne in 8,5 cm Entfernung vom Kopf	2 x 30 Minuten		Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität; Hautdurchblutung, Leitfähigkeit der Haut  Leistungen in Tests zur visuellen Wahrnehmung und zum Kurzzeitgedächtnis
Oftedal et al. 2007	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	17 EHS, Frauen: 29 %, 39 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, Antenne 8,5 cm vom Kopf entfernt, SAR10: 0,8 W/kg	4 x 30 Minuten: 2 x Exposition, 2 x Scheinexposition		Herzfrequenz, Blutdruck
Bamiou et al. 2008	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	9 EHS, Frauen: 33 %, 36,7 Jahre  21 Nicht-EHS, Frauen: 43 %, 34,7 Jahre	Mobiltelefon am Kopf: GSM 900-Signal und unmoduliertes Signal (882 MHz), jeweils 0,25 W Durchschnittsleistung, max. SAR10: 1,3 W/kg	6 x 30 Minuten: jeweils zweimal beide Expositionen und Scheinexposition		Amplituden der evozierten otoakustischen Emissionen als Indikator für Innenohrfunktionen (Gehör und Gleichgewicht)
Nam et al. 2009	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	18 EHS, Frauen: 56 %, 26 Jahre  19 Nicht-EHS, Frauen: 47 %, 25 Jahre	CDMA-Mobiltelefon an der linken Kopfseite, 835 MHz, max. 300 mW, SAR1: 1,22 W/kg	2 x 30 Minuten		Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Atemfrequenz, Hauttemperatur
Wiholm et al. 2009	Crossover, doppelblind, Reihenfolge nicht randomisiert, ungefähr die Hälfte zuerst exponiert («balanced block design»)	23 EHS (mobiltelefonbezogen), Frauen: 61 %, 28,8 Jahre  19 Nicht-EHS, Frauen: 37 %, 29,4 Jahre	Mobiltelefonähnliches Signal, externe Antenne, ca. 20 cm neben linkem Ohr, GSM 900, SAR10: 1,4 W/kg	2 x 2,5 Stunden	↑ räumliches Gedächtnis in EHS-Gruppe	Räumliches Gedächtnis in Kontrollgruppe
Lowden et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge nicht randomisiert, nicht ganz ausgeglichen: 23 Personen zuerst exponiert, 25 zuerst scheinexponiert	23 EHS (mobiltelefonbezogen), Frauen: 65 %, 27 Jahre  25 Nicht-EHS, Frauen: 48 %, 29 Jahre	Mobiltelefonähnliches Signal, externe Antenne an der linken Kopfseite, GSM 900, SAR10: 1,4 W/kg	2 x 3 Stunden vor dem Schlaf	Gesamtauswertung: ↑ Schlafstadium 2: + 8,3 Min. (4 %), ↓ Schlafstadien 3 und 4: - 9,5 Min. (12 %), ↑ Latenz bis Stadium 3: + 4,8 Min. ↑ EEG-Aktivität im Delta-, Theta- und Alpha-Band in Schlafstadium 2	Vergleich zwischen Personen mit und ohne EHS bezüglich Schlafstadien und EEG-Aktivität
Mortazavi et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	20 EHS, Frauen: 20 %, 18 bis 28 Jahre	Mobiltelefon, keine weiteren Angaben	2 x 10 Minuten		Herzfrequenz, Atemfrequenz, Blutdruck, Körpertemperatur

#### 4.1.3 Hochfrequente EMF: Fernfeldexposition

In der Folgestudie zur so genannten TNO-Studie (Zwamborn et al. 2003) wurden 33 Personen mit EHS und 84 Personen ohne EHS während 45 Minuten doppelblind in zufälliger Reihenfolge UMTS-basisstationsähnlichen Feldern mit Feldstärken von 1 V/m und 10 V/m ausgesetzt (Regel et al. 2006). Während der Exposition absolvierten die Teilnehmer zwei Serien von sechs kognitiven Tests zur Reaktionszeit, zur Wahlreaktionszeit, zum Arbeitsgedächtnis und zur selektiven visuellen Aufmerksamkeit. Die Auswertungen ergaben nach Korrektur für multiple Testung keine statistisch signifikanten Veränderungen der kognitiven Leistungen unter Exposition.

Die doppelt verblindete Crossover-Studie der britischen Forschergruppe um Eltiti betraf die Auswirkungen von GSM- und UMTS-Basisstationssignalen. Insgesamt nahmen 44 Personen mit EHS und 115 Kontrollpersonen an den Untersuchungen teil. Die Resultate zum Auftreten von unspezifischen Symptomen wurden in Eltiti et al. 2007a publiziert (siehe Kap. 4.2.3.), die Ergebnisse der Hirnleistungstests zum Arbeitsgedächtnis, zur Aufmerksamkeit und zum Kurzzeitgedächtnis in Eltiti et al. 2009. Beide Publikationen enthalten auch Resultate zu Herz-/Kreislaufparametern, in der früheren Arbeit betreffen die Auswertungen die Messwerte während der ganzen Expositionsphase, in der späteren Arbeit die Zeit während der kognitiven Testung. Alle Teilnehmenden absolvierten vier Sitzungen (Basisuntersuchung, GSM, UMTS, Scheinexposition). Die Laborantenne befand sich 5 m von den Probanden entfernt. Sowohl die Testung der Hirnleistung als auch die Messung von Blutvolumenpuls, Herzfrequenz und Leitfähigkeit der Haut erfolgte während der Exposition resp. Scheinexposition. Wegen des Altersunterschieds zwischen den beiden Teilnehmergruppen wurde der Vergleich der kognitiven Leistungen auf 44 EHS- und 44 Kontrollpersonen mit jeweils passendem Alter beschränkt. Die Auswertungen ergaben keine statistisch signifikanten Expositionseffekte auf die kognitiven Leistungen, wenn die Resultate für multiple Tests korrigiert wurden (Eltiti et al. 2009, Signifikanzniveau: 0,017). Ohne diese Korrektur war die kognitive Leistung der EHS-Personen in dem Test zum Kurzzeitgedächtnis bei GSM- und bei UMTS-Exposition schlechter als bei Scheinexposition ( $p=0,019$  respektive  $0,030$ ). In der zusätzlichen Analyse der gesamten Kontrollgruppe ( $n=115$ ) ohne Vergleich mit EHS-Personen zeigten sich keine Auswirkungen der Exposition auf die Hirnleistungen ( $p>0,18$ ). Auch für die Herz-/Kreislaufparameter ergaben die korrigierten Auswertungen keine signifikanten Unterschiede, weder während der kognitiven Tests (Eltiti et al. 2009, Signifikanzniveau: 0,01) noch insgesamt (Eltiti et al. 2007a, Signifikanzniveau: 0,05).

Die Aussagekraft der Studien von Eltiti et al. (2007a und 2009) wird dadurch eingeschränkt, dass die angestrebte Anzahl von 264 Teilnehmern und damit auch die berechnete statistische Power nicht erreicht wurde. Zudem war die Reihenfolge der Expositionen innerhalb des Kollektivs nicht ausgeglichen. Kontrovers beurteilt wird auch die Anwendung der Bonferroni-Korrektur in Studien, die sich auf frühere Untersuchungen beziehen und stark korrelierte Endpunkte betreffen (vgl. Kommentar von Rööfli und Huss 2008 zu Eltiti et al. 2007a). In der Publikation von Eltiti et al. 2009 wird die Korrektur erneut als notwendig bezeichnet, um falsch positive Resultate zu vermeiden.

In einer österreichischen Feldinterventionsstudie wurden 43 Personen untersucht, die ihre Schlafstörungen auf die Hochfrequenzstrahlung von Rundfunk- und Mobilfunk-sendern zurückführen (Leitgeb et al. 2008). Die Intervention bestand dabei nicht aus der Exposition, sondern aus der Abschirmung der in den Schlafzimmern der Teilnehmer vorhandenen Immissionen. Die Beurteilung des Schlafs bei echter Abschirmung und bei Scheinabschirmung erfolgte mittels EEG- und EKG-Aufzeichnung sowie gemäss Einschätzung der Probanden. Die gepoolte Auswertung der Schlafparameter aller Teilnehmer ergab keine statistisch signifikanten Einflüsse der Hochfrequenzexposition. In der probandenspezifischen Auswertung waren die Schlaflatenz-Zeiten von 4 Probanden (9 %) bei echter Abschirmung statistisch signifikant länger als bei Scheinabschirmung oder ohne Abschirmung. Resultate zur Herzfrequenz oder Herzfrequenzvariabilität sind in der Publikation nicht angegeben. Die probandenspezifische Auswertung ist jedoch limitiert, weil wichtige Einflussgrößen wie beispielsweise der Wochentag nicht berücksichtigt wurden.

Furubayashi et al. 2009 untersuchten bei 11 Frauen mit und 43 Frauen ohne mobiltelefonbezogene Beschwerden die Temperatur der Hautoberfläche, die Herzfrequenz und den Blutfluss. Es gab 4 Expositionsbedingungen: kontinuierlich, intermittierend (5 Min. an, 5 Min. aus), Scheinexposition mit Lärm und Scheinexposition ohne Lärm. Alle Teilnehmerinnen durchliefen die vier Expositionen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, so dass an beiden Tagen zwei Expositionssitzungen à 30 Min. im Abstand von mindestens 2 Stunden stattfanden. Es wurde eine Hornantenne mit einer Höhe von 1,15 m verwendet, die sich im Abstand von 3 m links hinter den Testpersonen befand. Die Exposition bestand aus einem Downlink-Signal (W-CDMA) mit einer Frequenz von 2,14 GHz. Aus den Messwerten für die Parameter des autonomen Nervensystems wurden Durchschnittswerte für drei Phasen berechnet: 0 bis 5, 12 bis 17 und 25 bis 30 Min. nach Beginn der Exposition. Als Referenz dienten die Mittelwerte jeder Testperson in den letzten drei Minuten vor dem Experiment. Die Auswertungen ergaben keinen Einfluss der Exposition auf Herzfrequenz, Hauttemperatur oder Blutfluss. Vor und nach jeder Expositionsbedingung führten die Probanden einen Wahlreaktionstest durch. Es zeigte sich keine expositionsabhängige Veränderung der Reaktionszeiten.

Die Publikation von Augner et al. 2010 bezieht sich auf eine Feldinterventionsstudie, deren Resultate zu unspezifischen Beschwerden bereits früher veröffentlicht wurden (Augner et al. 2009, siehe Kap. 4.2.3). Zusätzlich wurden die Speichelkonzentrationen von Alpha-Amylase, Immunglobulin A (IgA) und Kortison als Marker für Stressreaktionen untersucht. Die 57 Teilnehmer befanden sich in einem Gebäude, an dessen Aussenwand eine Mobilfunkbasisstation (GSM 900 MHz) angebracht war. Wie aus der früheren Veröffentlichung hervorgeht, bezeichneten sich 8 Probanden (14,3 %) als hypersensibel. Die Mauer des Versuchsraums war bis auf eine Teilfläche mit einem Abschirmanstrich auf Kohlenstoffbasis gestrichen. Durch das Anbringen von Schirmvorhängen bzw. Scheinabschirmung vor diesem «Immissionsfenster» wurde die Exposition der Probanden variiert. Die Teilnehmer wurden zufällig einem von drei Expositionsszenarien zugeordnet. Jedes Szenario bestand aus fünf Expositionsphasen à 50 Minuten, die sich in ihrer Intensität unterschieden: niedrig (Median: 0,044 V/m), mittel (0,241 V/m) und hoch (0,895 V/m). In den ersten beiden Szenarien (HM und MH) bestand die erste, dritte und fünfte Sitzung aus niedriger Exposition. In Szenario HM (n=22) war die Intensität in der zweiten Sitzung hoch und in der vierten Sitzung

mittel, in Szenario MH (n=26) umgekehrt. Im dritten Szenario (LL, n=9) erfolgten die ersten vier Sitzungen unter maximaler Abschirmung mit niedriger Exposition, nur die fünfte unter voller Befeldung. Während jeder Expositionsphase wurden drei Speichelproben entnommen, jeweils nach 10, 25 und 45 Minuten. Als Vergleich dienten die Mittelwerte jedes Teilnehmers während der ersten Expositionsphase bei maximaler Abschirmung. Die Analysen ergaben keinen statistisch signifikanten Einfluss des Expositionsszenarios auf die Konzentration eines der drei Parameter. Eine zusätzliche Auswertung der einzelnen Expositionsphasen zeigte in der Phase mit der stärksten Exposition einen signifikanten Anstieg der Kortisonkonzentration bei Personen im Szenario 3 (n=9, p=0,002), aber nicht in den Szenarien 1 (n=22) und 2 (n=29). Wie sich die 8 Probanden mit EHS auf die drei Szenarien verteilten, geht aus der Publikation nicht hervor.

Das Mobilfunksystem TETRA («Terrestrial Trunked Radio»), das für Polizei- und Notfalldienste verwendet wird, war Gegenstand der randomisierten Crossover-Studie von Wallace et al. 2010. Den ersten Teil bildete eine offene Provokationsstudie, an der anschliessenden Doppelblindstudie nahmen 48 Personen mit EHS und 132 Kontrollpersonen teil. Während der 50-minütigen Exposition durch eine TETRA-Antenne (420 MHz, ca. 2 V/m) im Abstand von ungefähr 5 Metern respektive während der Scheinexposition wurden die Herzfrequenz, der Blutvolumenpuls und die Hautleitfähigkeit gemessen. In der Analyse zeigte sich, dass Personen mit EHS generell eine höhere Herzfrequenz hatten als Personen ohne EHS (Mittelwert: 77 resp. 73 Schläge pro Minute, p=0,019). Im Zusammenhang mit der Exposition bestanden keine Unterschiede bezüglich Herzfrequenz, Blutvolumenpuls oder Hautleitfähigkeit.

In der selben Studie wurden auch Auswirkungen der TETRA-Exposition auf physiologische Parameter bei mentaler Anstrengung untersucht (Wallace et al. 2012). Dazu absolvierten die Teilnehmer verschiedene kognitive Tests. Ausgewertet wurden zwei Tests zum Kurzzeitgedächtnis (Backward digit span test, Bspan) und zum Arbeitsgedächtnis (Operation span, OSPAN). Für den Bspan-Test lagen Ergebnisse von 36 EHS- und 107 Kontrollpersonen vor, für den OSPAN-Test von 43 EHS- und 125 Kontrollpersonen. Während der Testung erfolgte eine kontinuierliche Messung des Blutvolumenpulses, der Herzfrequenz und der Hautleitfähigkeit. In beiden Tests zeigten sich keine statistisch signifikanten, expositionsabhängigen Unterschiede in der kognitiven Leistung, weder bei EHS-Personen noch bei Kontrollpersonen (p>0,1). Die TETRA-Exposition führte auch in keiner der beiden Gruppen zu signifikanten Veränderungen der physiologischen Parameter (p>0,06).

**Tab. 6 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zu Auswirkungen der hochfrequenten Fernfeldexposition (z. B. von Basisstationen) auf physiologische Parameter**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Regel et al. 2006	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	33 EHS, Frauen: 58 %, 37,7 Jahre 84 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 37,7 Jahre	Laborantenne im Abstand von 2 m, basisstationsähnliches UMTS-Signal, 2100 MHz, SAR10: 0,0062 mW/kg und 0,62 mW/kg	3 x 45 Minuten: Scheinexposition, 1 V/m und 10 V/m		Reaktionsgeschwindigkeit und Fehlerraten in sechs kognitiven Tests
Eltiti et al. 2007a	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, aber nicht ausgeglichen	44 EHS, Frauen: 42,9 %, 46,1 Jahre 114 Nicht-EHS, Frauen: 42,5 %, 54,5 Jahre	Laborantenne im Abstand von 5 m, basisstationsähnliche Signale: a) UMTS 2020 MHz, 10 mW/m <sup>2</sup> , b) GSM 900 und 1800 kombiniert, je 5 mW/m <sup>2</sup>	3 x 50 Minuten: UMTS, GSM, Scheinexposition		Herzfrequenz, Blutvolumenpuls, Leitfähigkeit der Haut
Eltiti et al. 2009	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, aber nicht ausgeglichen	44 EHS, Frauen: 40,9 %, 46,1 Jahre 44 Nicht-EHS, Frauen: 45,5 %, 46,1 Jahre	Laborantenne im Abstand von 5 m, basisstationsähnliche Signale: a) UMTS 2020 MHz, 10 mW/m <sup>2</sup> , b) GSM 900 und 1800 kombiniert, je 5 mW/m <sup>2</sup>	3 x 50 Minuten: UMTS, GSM, Scheinexposition		Kognitive Leistungen (Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeit, Kurzzeitgedächtnis)  Herzfrequenz, Blutvolumenpuls und Leitfähigkeit der Haut während der kognitiven Testung
Leitgeb et al. 2008	Feldintervention, Crossover, randomisiert	43 EHS, Frauen: 60 %, 56 Jahre	Hochfrequenzimmissionen im Schlafzimmer, Intervention: Abschirmung	3 x 3 Nächte: mit Abschirmung, mit Scheinabschirmung, ohne Abschirmung	Bei 4 Probanden: Latenz in verschiedenen Schlafstadien↑ bei echter Abschirmung (negativer Effekt)	Gesamtauswertung der objektiven Schlafparameter
Furubayashi et al. 2009	Doppelblind, randomisiert	11 Frauen mit EHS, 37 Jahre 43 Frauen ohne EHS, 38 Jahre	Laborantenne im Abstand von 3 m, W-CDMA Downlink-Signal, 2,14 GHz, 10 V/m, 0,265 W/m <sup>2</sup> , SAR10: 7,8 mW/kg	4 x 30 Minuten: kontinuierlich, intermittierend (5 Min. an, 5 Min. aus), Scheinexposition mit Lärm, Scheinexposition ohne Lärm		Herzfrequenz, Hauttemperatur, Blutfluss  Reaktionsgeschwindigkeit
Augner et al. 2010	Parallelgruppen, doppelblind, randomisiert	57 Teilnehmer, davon 8 EHS, Frauen: 61 %, 40,7 Jahre	Mobilfunkbasisstation an der Aussenwand des Testraums, Abstand ca. 6 m, GSM 900, Downlink-Signal, Mikrozelle (Durchmesser: 50 cm)	3 Expositionsszenarien mit jeweils fünf Expositionsphasen à 50 Minuten mit verschiedener Intensität: niedrig (Median: 0,044 V/m), mittel (0,241 V/m) und hoch (0,895 V/m).	Kortison im Speichel↑ im Szenario 3 in der Phase mit hoher Exposition (n=9)	Alpha-Amylase, Immunglobulin A, Kortison im Speichel in den Szenarien 1 (n=22) und 2 (n=26)

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Wallace et al. 2010	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	48 EHS, Frauen: 61 %, 42 Jahre  143 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 41 Jahre	Basisstationsähnliches TETRA-Signal, 420 MHz, Leistungsdichte: 10 mW/m <sup>2</sup> (ca. 2 V/m), Antenne in ca. 5 m Abstand, Ganzkörper-SAR ca. 271 µW/kg	2 x 50 Minuten		Herzfrequenz, Blutvolumenpuls, Hautleitfähigkeit
Wallace et al. 2012	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	<u>1. Test:</u> 36 EHS, Frauen: 58 %, 38 Jahre  107 Nicht-EHS, Frauen: 52 %, 39 Jahre  <u>2. Test:</u> 43 EHS, Frauen: 60 %, 40 Jahre  125 Nicht-EHS, Frauen: 53 %, 40 Jahre	Basisstationsähnliches TETRA-Signal, 420 MHz, Leistungsdichte: 10 mW/m <sup>2</sup> (ca. 2 V/m), Antenne in ca. 5 m Abstand, Ganzkörper-SAR ca. 271 µW/kg	2 x 50 Minuten		Kognitive Leistungen (Kurzzeitgedächtnis, Arbeitsgedächtnis)  Herzfrequenz, Hautleitfähigkeit, Blutvolumenpuls

#### 4.1.4 Bewertung zu physiologischen Parametern

Bei den Studien zu kurzfristigen Effekten von EMF auf physiologische Parameter handelt es sich um randomisierte Studien, so dass die initiale Evidenzqualität gemäss GRADE hoch ist. Von den vier Studien zu *niederfrequenten Magnetfeldern* betrafen drei Herzkreislaufparameter und zeigten keine Expositionseffekte. In der methodisch schwachen Studie zur Gehirnleistung wurden fünf verschiedene Kategorien der kognitiven Funktion getestet, und nur für eine zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Exposition und Scheinexposition (Trimmel und Schweiger 1998). Wegen der geringen Anzahl an Studien wird die initiale Evidenzbewertung für Herzkreislaufparameter um eine Stufe abgewertet. Für kognitive Effekte liegt die Abwertung bei drei Stufen, weil nur eine Studie, und diese mit inkonsistenten Resultaten, vorliegt. Es besteht also mässige Evidenz dafür, dass eine kurzfristige Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern *keinen* Einfluss auf das Herzkreislaufsystem hat. In Bezug auf kognitive Funktionen ist die Evidenz für die Ab- oder Anwesenheit einer Assoziation sehr niedrig, so dass keine Aussage möglich ist.

Zur *hochfrequenten Nahfeldexposition* durch mobiltelefonähnliche Signale liegen acht Publikationen vor, zwei davon beziehen sich auf dieselbe Studie und enthalten Ergebnisse zu verschiedenen Endpunkten (Wiholm et al. 2009, Lowden et al. 2011). Von den fünf Studien, in denen Herzkreislaufparameter untersucht wurden, bestanden nur in einer statistisch signifikante Differenzen zwischen Exposition und Scheinexposition (Hietanen et al. 2002). Wegen der nicht ausgeglichenen Reihenfolge der Testbedingungen in dieser Studie ist nicht beurteilbar, ob es sich tatsächlich um Expositionseffekte handelt. Drei Studien sind methodisch gut, weil sie einfach oder doppelt verblindet durchgeführt wurden und die Expositionsreihenfolge innerhalb der Gruppen ausgeglichen war. Die Studie von Mortazavi et al. 2011 weist ebenfalls nicht auf eine Assoziation hin, enthält aber kaum Angaben zur Exposition und ist auch sonst metho-

disch mangelhaft. Insgesamt ergibt sich aus den vorliegenden Daten eine hohe Evidenz *gegen* Auswirkungen der kurzfristigen Mobiltelefonexposition auf kardiovaskuläre Parameter.

Zu den anderen physiologischen Messgrössen (Gehör/Gleichgewicht, kognitive Funktionen und EEG im Schlaf) liegen nur einzelne Ergebnisse vor. Die initiale Evidenzbeurteilung wird daher abgewertet. Von zwei Studien zu kognitiven Funktionen ergab eine keinen Zusammenhang mit der Exposition (Wilén et al. 2006), die andere eine Verbesserung der Gedächtnisleistung bei EHS-Personen (Wiholm et al. 2009). Daraus ergibt sich bei Abwertung um drei Stufen eine sehr niedrige Evidenz, so dass keine Aussage über die Ab- oder Anwesenheit eines Effektes möglich ist. In der Studie zum Gehör/Gleichgewicht zeigte sich kein Effekt (Bamiou et al. 2008), was als Einzelbefund jedoch eine sehr niedrige Evidenzbewertung erhält und ebenfalls keine Aussage zulässt. Die von Lowden et al. 2011 beobachteten Veränderungen der Hirnströme im Schlaf bei EHS-Personen sind ähnlich wie die Ergebnisse von Provokationsstudien an Personen ohne EHS. In diesen Studien wurde bei Mobiltelefonexposition häufig eine Zunahme der Hirnstrom-Amplituden im Alpha-Bereich (10 bis 14 Hz) beobachtet (van Rongen et al. 2009). Da für Nicht-EHS-Personen viele Studien für einen diesbezüglichen Effekt sprechen, ist ein solcher anzunehmen, wobei die Evidenz als mässig beurteilt wird. Allerdings weisen die Effektschätzer in den vorliegenden Studien bei Nicht-EHS-Personen eine grosse Streuung auf und es wurden Veränderungen in verschiedenen Schlafphasen beobachtet. Daher wird auch der Effektschätzer in der Studie von Lowden et al. 2011 nur als mässig zuverlässig betrachtet. Die Studie ergibt jedoch keinen Hinweis darauf, dass EHS-Personen anders auf die Mobiltelefonexposition reagieren als Personen ohne EHS.

Resultate zur *hochfrequenten Fernfeldexposition* wurden in acht Publikationen veröffentlicht. Darunter befinden sich fünf randomisierte Studien mit Basisstationssignalen; zu den Studien von Eltiti et al. und Wallace et al. liegen je zwei Publikationen vor. In der Feldinterventionsstudie von Leitgeb et al. 2008 ging es um die Abschirmung der gesamten Hochfrequenzimmissionen in der Wohnung. In den meisten Studien wurden mehrere physiologische Grössen evaluiert. Bezogen auf HerzKreislaufparameter (5 Auswertungen) und kognitive Funktionen (3 Auswertungen) wurden keine Expositionseffekte beobachtet. Da die Qualität der Studien überwiegend als gut bezeichnet werden kann, ist für die Fernfeldexposition von einer hohen Evidenz gegen akute Auswirkungen auf kardiovaskuläre und kognitive Parameter auszugehen. Zu Schlafparametern und Stressmarkern im Speichel liegen nur Einzelbefunde vor.

## 4.2 Unspezifische Symptome

Unspezifische Symptome wie Kopfschmerzen oder Unwohlsein während oder nach der EMF-Exposition werden in den Studien mit Hilfe von standardisierten Fragebögen oder visuellen Analogskalen (VAS) erfasst. Auf den VAS, die meistens eine Skala von 1 bis 10 umfassen, wird die Intensität des jeweiligen Symptoms oder der Empfindung eingetragen. Da die Wahrnehmung und die Beurteilung der unspezifischen Beschwerden von Person zu Person sehr unterschiedlich sein können, bezeichnet man diese Angaben als subjektiv. Wenn jedoch sichergestellt ist, dass die Probanden keine Kenntnis über ihren Expositionsstatus hatten, stellt die Erhebung von subjektiven Angaben keine methodische Einschränkung dar.

### 4.2.1 Niederfrequente Felder

Eine der ersten Studien zur Untersuchung der EHS wurde von Rea et al. 1991 durchgeführt. In der ersten Testphase wurden 100 Personen mit EMF-bezogenen Beschwerden wiederholt magnetischen Rechteckwellen mit verschiedenen Frequenzen zwischen 0,1 Hz und 5 MHz ausgesetzt (pro Person 21 reale und 5 Scheinexpositionen, jeweils 3 Minuten). Die Probanden sassen auf einem Stuhl, die Magnetspule lag in einer Entfernung von ungefähr 30 cm auf dem Boden. Der Mittelwert der magnetischen Induktion betrug auf Bodenhöhe 2,9  $\mu\text{T}$ , auf Kniehöhe 0,35  $\mu\text{T}$  und auf Handhöhe 0,07  $\mu\text{T}$ . Als «positive Reaktion» galt ein Anstieg der Symptomzahl oder -intensität um mindestens 20%. In der ersten, einfach verblindeten Testphase reagierten 25 von 100 EHS-Personen ausschliesslich auf reale Expositionen, nicht auf Scheinexpositionen. Diese Personen wurden in der zweiten Phase unter Doppelblindbedingungen erneut exponiert und mit 25 Kontrollpersonen verglichen. Von den 25 EHS-Personen reagierten wiederum 16 (64%) überwiegend auf die reale Exposition (53% «positive Reaktionen» vs. 7,5% bei Scheinexposition). Am häufigsten gaben die EHS-Personen neurologische Symptome an wie Schwindel, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Kribbelgefühl, aber auch diverse andere Beschwerden. Bei den Kontrollpersonen traten unter keiner Expositionsbedingung Symptome auf. Die dritte Testphase beschränkte sich auf Felder mit der Frequenz, auf welche die 16 EHS-Personen besonders deutlich angesprochen hatten. Wiederum berichteten alle bei realer Exposition über zunehmende Beschwerden, aber nicht bei Scheinexposition. Zusätzlich wurden Veränderungen von Parametern des autonomen Nervensystems gemessen. Die Beschreibung der Studie in der Publikation ist unvollständig, unter anderem fehlen Informationen bezüglich der Expositionsreihenfolge, und es wurde keine statistische Auswertung vorgenommen. Insbesondere ist unklar, ob mehr positive Reaktionen bei wahrer Exposition aufgetreten sind, weil deutlich mehr reale Expositionen als Scheinexpositionen angewendet wurden.

In einer kleinen Fallserie verglich Bertoft 1996 das Befinden von 4 Frauen mit EHS, die im Abstand von 2 Monaten jeweils eine Stunde lang den Feldern eines zahnärztlichen Behandlungsstuhls oder Scheinexposition ausgesetzt wurden. Erfasst wurden die Beschwerden während der Testung und in der darauffolgenden Woche. Der Autor sieht in den Angaben keine expositionsabhängigen Unterschiede, das Ausmass der Sympto-

me wurde aber nur grob abgeschätzt, nicht quantifiziert, und es wurde keine statistische Auswertung durchgeführt.

Die Publikation von Toomingas 1996 beschreibt die wiederholte Testung eines 35-jährigen Mannes mit EHS-Symptomatik unter einfacher Verblindung. Die Provokation bestand aus Ganzkörperbefeldungen mit einem Magnetfeld in randomisierter Reihenfolge, die jeweils eine oder 10 Sekunden dauerten und Intensitäten von 34 oder 100  $\mu\text{T}$  bzw. Scheinexposition beinhalteten. Die Angaben des Patienten zum Auftreten von Symptomen stimmten nicht mit der tatsächlichen Expositionsbedingung überein. Auch in dieser Publikation fehlen Angaben zur statistischen Auswertung. Ebenfalls nicht angegeben ist die Frequenz des applizierten Magnetfelds.

In der oben bereits erwähnten Studie von Trimmel und Schweiger 1998 stammte das 50-Hz-Magnetfeld von einem Transformator und betrug auf Kopfhöhe 1 mT. Es gab drei Expositionsbedingungen: EMF plus Lärm, nur Lärm (45 dB, 100 Hz) oder Scheinexposition. Zusätzlich zur kognitiven Leistung wurde auch das Auftreten von Unwohlsein bei 36 EHS- und 30 Kontrollpersonen unter Doppelblindbedingungen untersucht. Die Gesamtauswertung ergab ein statistisch signifikant stärkeres Unwohlsein während «EMF plus Lärm» im Vergleich zu «nur Lärm» ( $p < 0,05$ ). Der Unterschied war bei EHS-Personen deutlicher als in der Kontrollgruppe. Die Aussagekraft der Studie wird dadurch eingeschränkt, dass ein grosser Altersunterschied zwischen der EHS- und der Kontrollgruppe bestand (Durchschnittsalter: 70 resp. 31 Jahre), und dieser Unterschied auch in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt wurde.

In der so genannten NEMESIS-Studie von Mueller et al. 2002 wurden 49 Personen mit EHS und 14 Kontrollpersonen in einem Expositionsraum einem 50-Hz-Feld von 100 V/m und 6  $\mu\text{T}$  auf Höhe der Brust-Kopf-Region exponiert. Vor der Testung beantworteten die Probanden Fragen zum Wohlbefinden und schätzten ihre Elektrosensibilität ein. Nach dem Experiment füllten sie einen Fragebogen mit denselben Fragen aus und beantworteten zusätzliche Fragen zu Symptomen während des Experiments und zur Wahrnehmung der Provokationsfelder. Das Experiment dauerte 40 Minuten und bestand aus 20 Situationen zu je 2 Minuten: 10 echte Expositionen, 10 Scheinexpositionen in zufälliger Reihenfolge. Es zeigte sich, dass Personen mit EHS nach dem Experiment statistisch signifikant mehr Symptome angaben als Kontrollpersonen ( $p = 0,024$ ). Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Feldwahrnehmungsfähigkeit (siehe auch Kapitel 4.3.1) und der Symptommhäufigkeit.

In der bereits erwähnten Untersuchung von Wenzel et al. 2005 mit 3 EHS- und 7 Kontrollpersonen zur Mikrozirkulation der Haut bei Ganzkörperexposition durch 50-Hz-Magnetfelder mit einer Intensität von 96  $\mu\text{T}$  wurden keine Auswirkungen auf das Ausmass der unspezifischen Beschwerden beobachtet.

Auch die ebenfalls bereits erwähnte Crossover-Studie von Kim et al. 2011 mit 15 EHS- und 16 Kontrollpersonen zur Exposition gegenüber einem Magnetfeld von 12,5  $\mu\text{T}$  enthielt Auswertungen zu unspezifischen Beschwerden. Die Teilnehmer wurden vier Mal nach dem Auftreten von insgesamt acht Symptomen gefragt (Herzklopfen, Juckreiz, Wärmegefühl, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Herzrasen): vor der Exposition (Stadium I), nach 11 und 27 Minuten Expositionsdauer (Stadium II

und III) sowie 15 Minuten nach der Exposition (Stadium IV). Die Auswertungen ergaben für keine der beiden Gruppen statistisch signifikante Unterschiede zwischen Exposition und Scheinexposition oder bezüglich der vier Stadien.

McCarty et al. 2011 berichten über eine Provokationsstudie mit wiederholter Testung einer Person mit EHS. Getestet wurde eine 35-jährige Ärztin, die angab bei EMF-Exposition Kopfschmerzen, Seh- und Hörstörungen, Schlafstörungen sowie Muskel- oder Gelenksbeschwerden zu bekommen. Als Auslöser bezeichnete sie Mobiltelefone, Stromleitungen, Computer und andere Elektrogeräte. Während der Testung sass die Versuchsperson mit geschlossenen Augen auf einem Stuhl. Neben ihrem Kopf befand sich auf beiden Seiten je eine Metallplatte im Abstand von 36 cm, an die ein getakteter, sinusförmiger Wechselstrom mit einer Frequenz von 60 Hz und einer Spannung von 100 V angelegt wurde. Für die elektrische Feldstärke im Bereich des Kopfes wurden durchschnittlich 300 V/m und räumliche Spitzenwerte von 1000 V/m berechnet, im Bereich des Körpers lag der Mittelwert bei 50 V/m. Es fanden 3 Experimente statt: Zwei Versuche betrafen das Auftreten von Beschwerden. Das dritte Experiment zur Feldwahrnehmungsfähigkeit ist in Kapitel 4.3.1 beschrieben. In den ersten beiden Experimenten wurde während 100 Sekunden exponiert, wobei das Feld alternierend 50 ms ein- und 50 ms ausgeschaltet war. Im ersten Experiment wurde dieses gepulste Feld mit Scheinexposition verglichen (beide jeweils 10 Mal appliziert). Im zweiten Experiment kam als dritte Expositionsbedingung noch ein kontinuierliches 60 Hz-Feld während 100 Sekunden hinzu, und es gab für alle 3 Expositionsarten je 5 Durchgänge. Die Reihenfolge der Expositionen wurde zufällig gewählt, die Testung fand unter Doppelblindbedingungen statt. Nach jeder Expositionsphase à 100 Sekunden wurde die Probandin gefragt, ob Symptome aufgetreten seien. Wenn sie Beschwerden angab, erfolgte die nächste Exposition erst nachdem sie wieder verschwunden waren. Im ersten Experiment gab die Probandin nach allen 10 Expositionsphasen mit gepulstem Feld (à 100 Sekunden) mässige bis starke Beschwerden wie Kopf- oder Muskelschmerzen an. Nach den 10 Phasen mit Scheinexposition berichtete sie fünfmal über schwache Beschwerden und fünfmal gab sie keine Symptome an. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ). Im zweiten Experiment mit jeweils 5 Expositionsphasen traten nach dem gepulsten Feld zweimal schwache und dreimal stärkere Beschwerden auf. Nach dem unmodulierten Feld berichtete die Versuchspersonen dreimal über stärkere Symptome und war zweimal beschwerdefrei. Bei Scheinexposition gab sie viermal keine Beschwerden an und einmal schwache Symptome. Für das gepulste Feld war der Unterschied zur Scheinexposition statistisch signifikant, für das unmodulierte Feld nicht. Die Autoren sehen in den Ergebnissen Hinweise auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Feldexposition und den von der Probandin berichteten Symptomen. Wichtiger als das Feld seien die Transienten (Ein-/Aus-schaltvorgänge).

**Tab. 7 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zum Auftreten von unspezifischen Symptomen im Zusammenhang mit niederfrequenten Feldern**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Rea et al. 1991	Crossover, teilweise einfach-, teilweise doppelblind	100 EHS, 25 Nicht EHS; keine Angaben zu Alter und Geschlecht	Ganzkörperexposition, magnetische Rechteckwellen mit Frequenzen zwischen 0,1 Hz und 5 MHz, ca. 0,07 bis 2,9 µT	3 Testphasen mit wiederholten Expositionen und Scheinexpositionen, je 3 Minuten	Diverse Symptome↑ bei 16 von 100 EHS-Personen	Symptome bei Kontrollpersonen
Bertoft, 1996	Crossover, doppelblind, nicht randomisiert	4 Frauen mit EHS, 46 bis 60 Jahre	Exposition durch Felder eines Zahnarzt-Behandlungsstuhls	2 x 1 Stunde		Diverse Symptome
Toomingas et al. 1996	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert	1 Mann mit EHS, 35 Jahre	Ganzkörperexposition durch Helmholtz-Spule mit 2 Intensitäten: 35 oder 100 µT, Frequenz nicht angegeben	24 Durchgänge, jeweils 1 oder 10 Sekunden Exposition oder Scheinexposition		Kopfschmerzen, Müdigkeit, Kribbel- und Taubheitsgefühl im Arm
Trimmel und Schweiger, 1998	Parallelgruppen, doppelblind (bezügl. EMF), Reihenfolge randomisiert und ausgeglichen	36 EHS, 70 Jahre 30 Nicht-EHS, 31 Jahre Frauenanteil in Gesamtgruppe: 18 %	Transformator-Spule, Sinuswellen, 50 Hz, 1 mT auf Kopfhöhe	2 x 1 Stunde: Scheinexposition und EMF plus Lärm oder Scheinexposition und nur Lärm	Unwohlsein ↑ bei EMF plus Lärm vs. nur Lärm in Gesamtauswertung	
Mueller et al. 2002	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	49 EHS, Frauen: 61 % 14 Nicht-EHS, Frauen: 14 %, Durchschnittsalter in Gesamtgruppe: 49,5 Jahre	Ganzkörperexposition, Magnetspule über dem Kopf, Sinuswellen, 50 Hz, 100 V/m, 6 µT	20 x 2 Minuten: 10 x Exposition und 10 x Scheinexposition	Symptome ↑ in EHS-Gruppe nach dem Experiment (p=0,024), unabhängig von der Exposition	Zusammenhang zwischen Feldwahrnehmung und Symptomen
Wenzel et al. 2005	Crossover, doppelblind, (Protokoll 2)	3 Männer mit EHS, 37 Jahre 7 Nicht-EHS, Frauen: 43 %, 25 Jahre	Ganzkörperexposition durch 3 Magnetspulen, 50 Hz, 96 µT	Protokoll 1: 2 x 25 Minuten Exposition und Scheinexposition; Protokoll 2: 50 Minuten, jeweils 5 Min. an- oder ausgeschaltet		Diverse Symptome, u.a. Kribbelgefühl, Müdigkeit
Kim et al. 2011	Crossover, doppelblind, randomisiert, Reihenfolge ausgeglichen	15 EHS, Frauen: 33 %, 26,2 Jahre 16 Nicht-EHS, Frauen: 31 %, 25,6 Jahre	Ganzkörperexposition, Magnetspule 20 cm über dem Kopf, 60 Hz, 12,5 µT im Bereich des Kopfes	2 x 30 Minuten, Reihenfolge ausgeglichen		Herzklopfen, Juckreiz, Wärmegefühl, Müdigkeit, Kopfschmerz, Schwindel, Übelkeit, Herzrasen
McCarty et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	1 Frau, 35 Jahre	Elektrisches Feld, 60 Hz, zwei Metallplatten neben dem Kopf; 300 V/m auf Kopfhöhe, 50 V/m am Körper; Intervalle: 100 Sekunden, duty cycle: 50 %, On-/Off-Phasen: 100 ms	1. Experiment: gepulstes Feld vs. Scheinexposition, jeweils 10 x 100 s 2. Experiment: gepulstes vs. unmoduliertes Feld vs. Scheinexposition, jeweils 5 x 100 s	1. Experiment: Kopf-, Nacken- und Muskelschmerzen ↑ (p < 0,05) 2. Experiment, bei gepulstem Feld: Intensität der Kopf-, Nacken- und Muskelschmerzen ↑ (p < 0,05)	Unmoduliertes Feld: Intensität der Kopf-, Nacken- und Muskelschmerzen (p=0,16)

#### 4.2.2 Hochfrequente EMF: Nahfeldexposition

Barth et al. 2000 beschreiben die wiederholte Testung eines Patienten, der bei der Benutzung von Mobiltelefonen und anderen Geräten über Herzbeschwerden, Schwindel und schmerzhaftes Kribbelgefühl im linken Arm klagte. Unter Doppelblindbedingungen erfolgten 31 Durchgänge mit ein- oder ausgeschaltetem Handy in unregelmäßiger Abfolge. Der Patient hielt das Mobiltelefon dabei in der Hand, die Dauer der Expositionen ist in der Publikation nicht erwähnt. Insgesamt gab der Patient bei 5 von 15 realen Expositionen Beschwerden an und bei 8 von 16 Scheinexpositionen. Damit berichtete der Proband bei der tatsächlichen Exposition weniger häufig über Symptome als bei der Scheinexposition ( $p=0,236$ ), und es konnte kein Nachweis erbracht werden, dass das Telefon die Symptome verursachte.

In der Studie von Hietanen et al. 2002 mit 20 Personen, die sich selbst als elektromagnetisch hypersensibel bezeichneten, berichteten 19 im Verlauf der Experimente über unspezifische Beschwerden. Expositionsquellen waren ein analoges Mobiltelefon sowie ein 900- und ein 1800-MHz-GSM-Telefon, die Expositionsdauer betrug 30 Minuten. Pro Tag erfolgten drei bis vier Expositionen, die Scheinexposition wurde jeweils in der ersten oder zweiten Sitzung durchgeführt. Bei allen Probanden traten während der Scheinexposition mehr Symptome auf als bei realen Expositionen. Am häufigsten waren Schmerzen und Wärmegefühl im Kopf. Da am Anfang des Experiments häufiger Schein- statt echte Expositionen angewendet wurden, könnten andere Faktoren wie Nervosität, ungewohnte Umgebung usw. zum häufigeren Auftreten von Symptomen während der Scheinexposition beigetragen haben.

Rubin et al. 2006a wählten für ihre Provokationsstudie 60 Personen aus, die Kopfschmerzen bei Benutzung eines Mobiltelefons angaben, und 60 Personen ohne solche Beschwerden. Die Teilnehmer wurden doppelblind in zufälliger Reihenfolge entweder dem gepulsten Signal eines GSM-Telefons mit 900 MHz, einem unmodulierten Trägersignal von 900 MHz oder einer Scheinexposition ausgesetzt. Die Expositionsphasen dauerten jeweils 50 Minuten. Das Auftreten von Kopfschmerzen und weiteren Symptomen wurde während der Exposition nach 5, 10, 30 und 50 Minuten sowie 30 Minuten nach der Exposition und einen Tag später erhoben. Die Beschwerden nahmen im Verlauf des Experiments bei den Elektrosensiblen stärker zu als bei den übrigen Probanden. Dies war jedoch sowohl bei Scheinexposition als auch bei den realen Expositionen der Fall.

Wilén et al. 2006 erfassten in ihrer Studie auch das Auftreten von unspezifischen Symptomen bei 20 Personen mit mobiltelefonbezogenen Symptomen und 20 Kontrollpersonen. Die Probanden wurden während 30 Minuten einem Feld ausgesetzt, das durch ein GSM-Telefon (900 MHz) erzeugt wurde, sowie an einem anderen Tag einer Scheinexposition in zufälliger Reihenfolge. Nach der Testsituation beantworteten die Probanden einen Fragebogen zu ihren Symptomen. Von den 20 nicht empfindlichen Personen gab niemand während oder direkt nach den Tests Beschwerden an. Dagegen berichteten 18 empfindliche Personen über Symptome während oder nach der GSM-Exposition. Bei acht von ihnen traten die Symptome nach der Exposition auf, bei vier nur nach der Scheinexposition und bei sechs nach beiden Testsituationen. Dieser

Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p=0,13$ ). Die Ergebnisse zu physiologischen Parametern und kognitiven Leistungen sind in Kapitel 4.1.2 zu finden.

In der Studie von Oftedal et al. 2007 wurden 17 EHS-Personen vor und direkt nach der Exposition gegenüber einem Mobiltelefonsignal (GSM 900) nach dem Auftreten von Kopfschmerzen oder anderen Beschwerden gefragt. Die Exposition resp. Scheinexposition dauerte jeweils 30 Minuten, die Reihenfolge war zufällig. Jeder Proband konnte bis zu vier Expositionspaare bestehend aus Schein- und Mobiltelefonexposition absolvieren. Zwischen den Durchgängen lag ein Abstand von mindestens zwei Tagen. Bei 68 % der Testungen traten im Verlauf Kopfschmerzen oder Unbehagen auf, es zeigte sich kein Zusammenhang mit der Reihenfolge der Expositionen. Bei Scheinexposition war die Symptomzunahme etwas deutlicher, der Unterschied war für kein Symptom statistisch signifikant.

Die Publikation von Hillert et al. 2008 enthält die Ergebnisse der bereits in Kap. 4.1.2. erwähnten schwedischen Crossover-Studie zum Auftreten von unspezifischen Symptomen (vgl. Wiholm et al. 2009, Lowden et al. 2011). Für diese Auswertung standen Daten von 38 EHS- und 33 Nicht-EHS-Personen zur Verfügung. Die mobiltelefonähnliche Exposition (GSM 900) und die Scheinexposition fanden am Abend statt und dauerten jeweils 3 Stunden. Das Auftreten von Symptomen wurde mithilfe einer Likert-Skala dreimal erfasst: vor Expositionsbeginn sowie nach 1,5 und 2,75 Stunden. Nach 2,75 Stunden Exposition zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich Kopfschmerzen: Bei realer Exposition traten häufiger Kopfschmerzen auf als bei Scheinexposition (OR: 2.49, 95 %-CI: 1.16–5.38), und der Schweregrad war höher ( $p<0,01$ ). Der Unterschied war in der Kontrollgruppe deutlicher, bestand aber auch in der EHS-Gruppe. In Bezug auf die übrigen 13 Symptome ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

In der bereits beschriebenen, einfach verblindeten Studie von Nam et al. 2009 wurden 18 Personen mit EHS und 19 Kontrollpersonen einem CDMA-Mobiltelefon an der linken Kopfseite und Scheinexposition ausgesetzt. Die Exposition dauerte jeweils 30 Minuten. Das Auftreten von 9 unspezifischen Symptomen wurde während der Exposition alle 5 Minuten auf einer vierstufigen Skala erfasst. Weder in der EHS- noch in der Kontrollgruppe ergaben die Auswertungen statistisch signifikante Auswirkungen der Exposition auf die Symptome Hautrötung, Juckreiz, Wärmegefühl, Müdigkeit, Kopfschmerz, Schwindel, Übelkeit, Herzrasen und Verdauungsstörungen.

Für die Studie von Nieto-Hernandez et al. 2011 wurden Personen rekrutiert, die mindestens einmal pro Woche ein TETRA-Funkgerät («Terrestrial Trunked Radio») benutzten. Das TETRA-System wird in Grossbritannien für den Polizeifunk verwendet und basiert auf einem gepulsten Signal mit einer Frequenz von 385 MHz und einer Pulsfrequenz von 17,6 Hz. Sechzig Personen mit Beschwerden im Zusammenhang mit der Benutzung des Funkgeräts und 60 symptomfreie Personen absolvierten in zufälliger Reihenfolge drei Durchgänge: einmal mit TETRA-Funkgerät am linken Ohr, einmal mit einem unmodulierten Signal der selben Frequenz und einmal bei Scheinexposition. Die Exposition dauerte jeweils 50 Minuten, die Befragung zum Befinden fand vor und nach der Belastung sowie im Verlauf nach 5, 15, 30 und 50 Minuten statt. Nach Korrektur für multiple Testung ergaben die Auswertungen keine statistisch

---

signifikanten Einflüsse der TETRA-Exposition oder der unmodulierten Exposition auf 8 von 9 Symptome (vgl. Tab. 8). Der Symptomkomplex «Juckreiz, Kribbeln, Stechen oder Taubheitsgefühl der Haut» nahm bei Exposition gegenüber dem unmodulierten Signal in der EHS-Gruppe ab ( $p=0,03$ ). Beim TETRA-Signal wurde dies nicht beobachtet.

Die Veröffentlichung zur schwedischen Crossover-Studie von Lowden et al. 2011 enthält neben den Resultaten der Schlafanalyse auch Angaben zu unspezifischen Beschwerden. Die 23 Teilnehmer mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden und 25 Kontrollpersonen wurden während der dreistündigen GSM-Mobiltelefonexposition respektive Scheinexposition stündlich zu ihrem Befinden befragt. Die Auswertungen ergaben eine zunehmende Müdigkeit und Schläfrigkeit sowie eine Abnahme der Wachheit im Verlauf des Abends. Es bestand aber kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Art der Exposition oder der Gruppenzugehörigkeit und diesen Parametern.

**Tab. 8 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zum Auftreten von unspezifischen Symptomen im Zusammenhang mit hochfrequenter Nahfeldexposition (z. B. von Mobiltelefonen)**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Barth et al. 2000	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	1 Mann mit EHS, 44 Jahre	Mobiltelefon in der Hand	31 Testungen: 15 x Exposition, 16 x Scheinexposition, Dauer nicht angegeben		Symptome häufiger bei Scheinexposition (8/16) als bei tatsächlicher Exposition (5/15) (p= 0,236)
Hietanen et al. 2002	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge nicht randomisiert, nicht ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 65 %, 49,4 Jahre	Mobiltelefon an rechter Kopfseite: 900 MHz analog (1 W), GSM 900 (0,25 W), GSM 1800 (0,125 W)	3 bis 4 x 30 Minuten: 2 bis 3 reale Expositionen und eine Scheinexposition	Schmerzen und Wärmegefühl im Kopf ↓ (Expositionsreihenfolge nicht ausgeglichen)	
Rubin et al. 2006	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	60 EHS, (urspr. n= 71) Frauen: 56 %, 37,1 Jahre 60 Nicht-EHS, Frauen: 55 %, 33,5 Jahre	Mobiltelefon an linker Kopfseite in normaler Gesprächsposition: GSM 900 oder unmoduliertes Träger-signal; SAR jeweils 1,4 W/kg (Mittelungsvolumen nicht spezifiziert)	3 x 50 Minuten: GSM 900, unmoduliertes Träger-signal, Scheinexposition		Müdigkeit, Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit, Hautsymptome, Brennen, Augenschmerzen
Wilén et al. 2006	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 20 %, 45,4 Jahre 20 Nicht-EHS, Frauen: 20 %, 44,9 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, max. SAR10: 0,8 W/kg, Antenne in 8,5 cm Entfernung vom Kopf	2 x 30 Minuten		Wärmegefühl, Brennen, Müdigkeit, Unwohlsein, weitere Symptome
Oftedal et al. 2007	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	17 EHS, Frauen: 29 %, 39 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, Antenne 8,5 cm vom Kopf entfernt, SAR10: 0,8 W/kg	Bis zu 4 x 30 Minuten: 2 x Exposition, 2 x Scheinexposition		Kopfschmerzen, Schmerz/Unwohlsein, weitere Symptome
Hillert et al. 2008	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	38 EHS, Frauen: 63 %, 28 Jahre 33 Nicht-EHS, Frauen: 42 %, 30 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, externe Antenne ca. 20 cm neben linkem Ohr, max. SAR10: 1,4 W/kg	2 x 3 Stunden	Kopfschmerzen ↑, vor allem in der Kontrollgruppe	Müdigkeit, Übelkeit, Schwindel, Konzentrationsschwierigkeiten, Niedergeschlagenheit, Sehstörungen, Schwellungsgefühl im Gesicht, Juckreiz, Hautrötung, Hitzegefühl, stechender Schmerz oder Kribbelgefühl, Stress
Nam et al. 2009	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	18 EHS, Frauen: 56 %, 26 Jahre 19 Nicht-EHS, Frauen: 47 %, 25 Jahre	CDMA-Mobiltelefon an der linken Kopfseite, 835 MHz, max. 300 mW, SAR1: 1,22 W/kg	2 x 30 Minuten		Hautrötung, Juckreiz, Wärmegefühl, Müdigkeit, Kopfschmerz, Schwindel, Übelkeit, Herzrasen, Verdauungsstörungen
Nieto-Hernandez et al. 2011	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert	60 EHS, Frauen: 12 %, 38 Jahre 60 Nicht-EHS, Frauen: 17 %, 36 Jahre	TETRA-Signal und unmoduliertes Signal (beide 385 MHz), mittlere Sendeleistung jeweils 250 mW, max. SAR10: 1,3 W/kg	3 x 50 Minuten: TETRA, unmoduliertes Signal, Scheinexposition	in EHS-Gruppe bei unmoduliertem Signal: Juckreiz, Kribbeln, Stechen, Taubheitsgefühl ↓	Kopfschmerz, Müdigkeit, Schwindel, Übelkeit; Wärmegefühl oder Brennen auf der Haut; Juckreiz, Kribbeln, Stechen oder Taubheitsgefühl; Irritation, Ängstlichkeit oder depressive Stimmung; Konzentrations- oder Denkprobleme; Stimmungslage vor und nach der Exposition

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Lowden et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge nicht randomisiert, nicht ganz ausgeglichen: 23 Personen zuerst exponiert, 25 zuerst scheinexponiert	23 EHS (mobiltelefonbezogen), Frauen: 65 %, 27 Jahre 25 Nicht-EHS, Frauen: 48 %, 29 Jahre	Mobiltelefonähnliches Signal, externe Antenne an der linken Kopfseite, GSM 900, SAR10: 1,4 W/kg	2 x 3 Stunden vor dem Schlaf		Schläfrigkeit, Müdigkeit, Wachheit (im Verlauf des Testabends), Schlafqualität (Befragung am Morgen)

#### 4.2.3 Hochfrequente EMF: Fernfeldexposition

Die bereits erwähnte Folgestudie von Regel et al. 2006 ergab in Bezug auf unspezifische Symptome keinen Zusammenhang mit der Exposition gegenüber einem UMTS-Basisstationssignal bei Intensitäten von 1 V/m oder 10 V/m. Weder in der EHS- noch in der Nicht-EHS-Gruppe waren die Punktwerte aus den beiden verwendeten Fragebögen bei realer Befeldung höher als bei Scheinexposition.

Die Publikation von Eltiti et al. 2007a enthält Resultate der ebenfalls oben erwähnten Studie, in der sowohl ein GSM- als auch ein UMTS-Signal eingesetzt wurde. In den Gesamtauswertungen zu 6 Parametern des Befindens und 57 Beschwerden auf einer Symptomskala bestanden weder für Personen mit EHS noch für Kontrollpersonen statistisch signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Exposition, nachdem die Resultate für multiple Testung korrigiert worden waren. Nur in der EHS-Gruppe war ein Gefühl der Aufregung oder Nervosität («arousal») während der UMTS-Exposition signifikant stärker als bei Scheinexposition ( $p < 0,001$ ). Wie die Autoren anmerken, war die Reihenfolge der Expositionsbedingungen nicht ausgeglichen: Bei einem grösseren Teil der EHS-Personen hatte die UMTS-Exposition in der ersten Sitzung stattgefunden (45,5 % gegenüber 28,9 % in der Kontrollgruppe). Der beobachtete Unterschied im Befinden könnte teilweise darauf zurückzuführen sein, obwohl dies wohl nicht den kompletten beobachteten Effekt erklären kann (vgl. Kommentar von Rösli und Huss 2008).

In der oben genannten Feldinterventionsstudie von Leitgeb et al. 2008 bestand in der Gesamtauswertung der 43 Teilnehmer mit EHS kein Unterschied bezüglich subjektiver Schlafqualität, Aufwachqualität und Schlaffeffizienz im Zusammenhang mit der Abschirmung der Hochfrequenzimmissionen im Schlafzimmer. Drei Teilnehmer berichteten über eine Verbesserung ihrer Schlafqualität und -effizienz bei realer Abschirmung.

Wie bereits in Kapitel 4.1.3 erwähnt, untersuchten Augner et al. 2009 in ihrer Feldstudie 57 Personen in einem Gebäude, an dessen Aussenwand sich eine Mobilfunkbasisstation (GSM 900 MHz) befand. Als hypersensibel bezeichneten sich 8 Probanden (14,3 %). Die Mauer des Versuchsraums war bis auf eine Teilfläche mit einem Abschirmanstrich auf Kohlenstoffbasis gestrichen. Durch das Anbringen von Schirmvorhängen bzw. Scheinabschirmungsvorhängen vor diesem «Immissionsfenster» wurde die Exposition der Probanden variiert. Die Teilnehmer wurden zufällig einem von drei Szenarien mit je 5 Phasen mit unterschiedlicher Abschirmung zugeordnet. Kurz vor der Exposition sowie drei Minuten vor dem Ende bewerteten die Teilnehmer auf einer

Fünf-Punkte-Skala das Zutreffen von 24 Adjektiven, die sich auf drei Parameter des Wohlbefindens bezogen: gute Stimmung, Wachheit und Gelassenheit. Die Auswertungen zeigten für die Parameter «gute Stimmung» und «Wachheit» keine Unterschiede zwischen den Expositionsszenarien. Dagegen waren die Probanden in den beiden Szenarien mit höherer Exposition gelassener als Testpersonen im Szenario mit der niedrigsten Exposition. Diese Unterschiede waren statistisch signifikant ( $p=0,042$  bzw.  $0,030$ ). Im Verlauf des niedrigsten Expositionsszenarios nahm die Gelassenheit stärker ab als in den beiden anderen Szenarien ( $p=0,002$  bzw.  $0,009$ ). Personen, die gesundheitliche Auswirkungen der elektromagnetischen Felder befürchteten, reagierten nicht anders auf die Exposition als Personen ohne Besorgnis.

Auch in der bereits beschriebenen Crossover-Studie von Furubayashi et al. 2009 füllten die Teilnehmerinnen einen Fragebogen aus, der 65 Parameter zu 6 Stimmungslagen beinhaltete: Spannung/Angst, Depression, Wut/Ablehnung, Lebenskraft, Müdigkeit und Verwirrtheit. Zusätzlich wurden sie im Abstand von 5 Minuten nach ihrem Befinden gefragt. Die 11 Probandinnen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden wiesen generell eine schlechtere Stimmungslage auf als die Kontrollpersonen. Alle Teilnehmerinnen hatten nach den 4 Expositionsphasen (kontinuierlich, intermittierend, Scheinexposition mit oder ohne Lärm) statistisch signifikant höhere Punktwerte für Müdigkeit und Verwirrtheit und geringere Werte für Lebenskraft. Die Auswertungen der statistisch signifikanten Interaktionen in der Varianzanalyse ergaben, dass die Veränderungen in der Stimmungslage nicht von der Exposition abhängig waren, sondern von der Reihenfolge und vom Ablauf der Tests. Auch die Angaben der Probandinnen während der Expositionen zeigten keinen signifikanten Einfluss der Expositionsart auf das Befinden ( $p=0,859$ ). Bei Lärmexposition stieg das Unbehagen statistisch signifikant an ( $p=0,002$ ).

In der Studie von Wallace et al. 2010 (vgl. Kap. 4.1.3.) zur Ganzkörperexposition gegenüber einem TETRA-Signal durch eine Antenne im Abstand von ungefähr 5 Metern (420 MHz, ca. 2 V/m) beurteilten die Teilnehmer ebenfalls das Auftreten von unspezifischen Beschwerden während der vier 5-minütigen und zwei 50-minütigen Expositionsdurchgänge. Ausgewertet wurden Angaben von 48 Personen mit EHS und 132 Kontrollpersonen auf visuellen Analogskalen zu 6 Parametern des Befindens: Angst, Anspannung, Aufregung, Unbehagen, Müdigkeit und Entspannung sowie eine Beschwerdeskala mit 57 Symptomen. Unter Doppelblindbedingungen zeigten sich für die 6 Parameter keine statistisch signifikanten Unterschiede im Zusammenhang mit der Exposition oder zwischen EHS- und Kontrollpersonen, wenn die unterschiedlichen Ausgangswerte der beiden Gruppen berücksichtigt wurden. Bezüglich der Symptomskala bestanden zwar signifikante Unterschiede zwischen EHS- und Kontrollpersonen, es waren aber ebenfalls keine Expositionseffekte zu beobachten.

**Tab. 9 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zum Auftreten von unspezifischen Symptomen im Zusammenhang mit hochfrequenter Fernfeldexposition (z. B. von Basisstationen)**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Regel et al. 2006	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	33 EHS, Frauen: 58 %, 37,7 Jahre 84 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 37,7 Jahre	Laborantenne im Abstand von 2 m, UMTS-Signal, basisstationsähnlich, 2100 MHz, SAR10: 0,0062 mW/kg und 0,62 mW/kg	3 x 45 Minuten: Scheinexposition, 1 V/m und 10 V/m		Symptome in 2 Fragebögen, u.a.: Anspannung, Angst, Besorgnis, Unbehagen, Depression, Kopfschmerzen, andere körperliche Symptome
Eltiti et al. 2007a	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, aber nicht ganz ausgeglichen	44 EHS, Frauen: 42,9 %, 46,1 Jahre 114 Nicht-EHS, Frauen: 42,5 %, 54,5 Jahre	Laborantenne im Abstand von 5 m, basisstationsähnliche Signale: a) UMTS 2020 MHz, 10 mW/m <sup>2</sup> , b) GSM 900 und 1800 kombiniert, je 5 mW/m <sup>2</sup>	3 x 50 Minuten: GSM, UMTS, Scheinexposition, zusätzlich 3 x 5 Minuten	UMTS-Signal: Aufregung ↑ in EHS-Gruppe (p=0,001)	Bei GSM und UMTS in beiden Gruppen: Angst, Anspannung, Mangel an Entspannung, Beschwerden insgesamt und Symptomscore: Aufregung bei UMTS-Signal in Nicht-EHS-Gruppe und bei GSM-Signal in beiden Gruppen (alle p-Werte > 0,0025, Signifikanzniveau korrigiert für multiple Testung)
Leitgeb et al. 2008	Feldintervention, Crossover, randomisiert	43 EHS, Frauen: 60 %, 56 Jahre	Intervention: Abschirmung der Hochfrequenzimmissionen im Schlafzimmer	3 x 3 Nächte: mit / ohne Abschirmung, Scheinabschirmung	Schlafqualität und -effizienz ↑ durch reale Abschirmung bei 3 Teilnehmern	Subjektive Schlafqualität, Aufwachqualität und Schlaffeffizienz in Gesamtauswertung und bei 34 Teilnehmern in Einzelauswertung
Augner et al. 2009	Feldintervention, Parallelgruppen, doppelblind, randomisiert	57 Teilnehmer, davon 8 EHS, Frauen: 61 %, 40,7 Jahre	Mobilfunkbasisstation an der Aussenwand des Testraums. Abstand ca. 6 m, GSM 900, Downlink-Signal, Mikrozele (Durchmesser: 50 cm)	3 Expositionsszenarien mit jeweils fünf Expositionsphasen à 50 Minuten mit verschiedener Intensität: niedrig (Median: 0,044 V/m), mittel (0,241 V/m) und hoch (0,895 V/m).	Gelassenheit ↑ bei Teilnehmern in den beiden Szenarien mit höherer Exposition	Gute Stimmung, Wachheit
Furubayashi et al. 2009	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	11 Frauen mit EHS, 37 Jahre 43 Frauen ohne EHS, 38 Jahre	Antennenabstand: 3 m, W-CDMA Downlink-Signal, 2140 MHz, 10 V/m (am Kopf), 0,265 W/m <sup>2</sup> , Ganzkörper-SAR: 1,5 mW/kg	4 x 30 Minuten: kontinuierlich, intermittierend (5 Min. an, 5 Min. aus), Scheinexposition mit Lärm, Scheinexposition ohne Lärm		Anspannung/Angst, Depression, Wut/Ablehnung, Energie, Müdigkeit, Verwirrung, Unbehagen
Wallace et al. 2010	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	48 EHS, Frauen: 61 %, 42 Jahre 143 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 41 Jahre	Basisstationsähnliches TETRA-Signal, 420 MHz, Leistungsdichte: 10 mW/m <sup>2</sup> (ca. 2 V/m), Antenne in ca. 5 m Abstand, Ganzkörper-SAR ca. 271 µW/kg	4 x 5 Minuten (2 x Exposition, 2 x Scheinexposition) und 2 x 50 Minuten		Angst, Anspannung, Aufregung, Unbehagen, Müdigkeit, Entspannung; Beschwerden auf einer Skala mit 57 Symptomen

#### 4.2.4 Bewertung zu Symptomen

Bei den Studien zu kurzfristigen Effekten von EMF auf Befinden und Symptome handelt es sich um randomisierte Studien, so dass die initiale Evidenzqualität gemäss GRADE hoch ist. Von den sieben Studien zur *niederfrequenten Magnetfeldexposition* wiesen nur zwei auf das Auftreten verschiedener unspezifischer Symptome im Zusammenhang mit der Exposition hin. Eine der beiden Studien mit Assoziation hatte gravierende methodische Mängel (Rea et al. 1991), und in der anderen lag die magnetische Flussdichte bei 1 mT (Trimmel und Schweiger 1998). Das ist viel höher als in den anderen Studien und liegt deutlich über dem Immissionsgrenzwert (100  $\mu$ T). Da die übrigen fünf Studien methodisch besser sind und mehrheitlich randomisiert, doppelblind und mit Crossover-Design durchgeführt wurden, ergibt sich aus den Resultaten insgesamt eine hohe Evidenz *gegen* einen Zusammenhang zwischen der kurzfristigen Magnetfeldbelastung und dem Auftreten von Symptomen bei EHS- oder Kontrollpersonen. Die Studie von McCarty et al. 2011 zur wiederholten Exposition einer einzelnen Person gegenüber einem elektrischen Feld ist die einzige Arbeit, in der eine Person unter Doppelblindbedingungen mehrfach getestet wurde und daher nicht direkt mit den anderen Studien vergleichbar. Sie enthält gewisse Hinweise auf einen Symptomanstieg und könnte darauf hindeuten, dass bestimmte Personen empfindlicher auf die Exposition reagieren als der grösste Teil der Bevölkerung. Es handelt sich aber um eine Einzelbeobachtung, bei der auch noch einige methodische Fragen offen sind. Insbesondere konnte in einer Korrespondenz nach Erscheinen des Artikels nicht geklärt werden, wie die Symptome bzw. deren Stärke erhoben und kategorisiert wurden (Rubin et al. 2012a, Marino et al. 2012, Rubin et al. 2012b). Es wurde kritisiert, dass eine nachträglich erfolgte Kategorisierung der Daten zu einem statistischen Artefakt geführt haben könnte.

Zur *hochfrequenten Nahfeldexposition* liegen acht Publikationen vor, zwei davon betreffen dieselbe Studie (Wilen et al. 2006, Lowden et al. 2011). Ausser in einer Studie mit TETRA-Funktsignal wurden in allen mobiltelefonähnliche Felder eingesetzt. Fast durchgehend bestand kein Hinweis auf einen expositionsabhängigen Anstieg der unspezifischen Symptome. Lediglich in der Publikation von Hillert et al. 2008 wird eine Zunahme der Kopfschmerzen vor allem in der Kontrollgruppe berichtet. Auffällig an dieser Studie ist die im Vergleich zu den anderen Studien deutlich längere Expositionsdauer (3 Stunden). Zudem war die Hochfrequenzbelastung des Kopfes stärker als in den anderen Studien, weil die ganze linke Seite des Gehirns gleichmässig exponiert war. Auf diese Weise sollte die maximale Belastung von verschiedenen Mobiltelefon-typen repräsentiert werden («Worst-case-Szenario»). Sechs Studien zur *Fernfeldbelastung* ergaben überwiegend keinen Zusammenhang mit dem Auftreten von Symptomen. Nur in der Auswertung von Eltiti et al. 2007a war das Gefühl der Aufregung bei EHS-Personen während der UMTS-Exposition stärker als bei GSM-Signal oder Scheinexposition. Da es sich für beide Expositionsarten überwiegend um methodisch gute Studien handelt, ergibt sich aus den Resultaten insgesamt hohe Evidenz *gegen* das Auftreten von Symptomen bei kurzfristiger Hochfrequenzexposition. Aus der einen Studie von Hillert et al. 2008 ergibt sich eine niedrige Evidenz, dass bei starken Expositionen im Bereich des SAR-Grenzwertes für Nahfeldquellen Effekte auftreten können, dies allerdings vor allem in der Nicht-EHS-Gruppe.

### 4.3 **Wahrnehmung von EMF (Elektrosensitivität)**

Die Fähigkeit, schwache elektromagnetische Felder bewusst wahrzunehmen, wird als Elektrosensitivität bezeichnet und ist von der Elektrohypersensibilität (EHS) abzugrenzen. Im Gegensatz zur EHS ist die Feldwahrnehmung nicht unbedingt mit dem Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden verbunden. Allerdings berichtet ein grosser Teil der EHS-Personen auch über die Fähigkeit, schwache Felder in der Umgebung wahrnehmen zu können. In einer schweizerischen Befragung bei rund 400 EHS-Personen gaben auf die Frage nach der Feldwahrnehmungsfähigkeit 56 % an, schwache Felder in ihrer Umgebung unmittelbar wahrnehmen zu können (Rösli et al. 2004). Bei Provokationsstudien zur Untersuchung der Wahrnehmung von EMF wird die Feldstärke deutlich geringer gehalten als die etablierten und replizierten Schwellen für Reizstromwahrnehmung im niederfrequenten Bereich oder für Wärmewahrnehmung im hochfrequenten Bereich. Die Wärmewahrnehmungsschwelle liegt zum Beispiel für Mobilfunksignale mit Frequenzen von 900 oder 1800 MHz bei einer Leistungsflussdichte von ungefähr 500 W/m<sup>2</sup> bzw. einer Feldstärke von 450 V/m (BUWAL 2003, Silny 1999).

Als «Trefferquote» wird der Anteil richtiger Antworten an der Gesamtzahl der Einschätzungsversuche bezeichnet. Richtig-positive Antworten (Erkennen eines tatsächlich vorhandenen Feldes) und richtig negative Antworten (Erkennen der Abwesenheit eines Feldes) werden dabei zusammengezählt und durch die Gesamtzahl der Versuche dividiert. Anschliessend wird geprüft, ob die Trefferquote höher (oder tiefer) ist als es einer reinen Ratewahrscheinlichkeit entsprechen würde. Beispielsweise entspricht eine Trefferquote von 0,5 (50 %) der erwarteten Ratewahrscheinlichkeit, wenn es nur darum geht, die An- oder Abwesenheit einer Exposition zu bestimmen. Je nach Studiendesign und Versuchsablauf kann die erwartete Ratewahrscheinlichkeit von 0,5 abweichen.

#### 4.3.1 **Niederfrequente Felder**

Die oben erwähnte Crossover-Studie von Lyskov et al. 2001a mit 20 EHS- und 20 Kontrollpersonen beinhaltete 4 Expositionsbedingungen (je 10 Minuten): reale Befeldung (60 Hz, 10 µT), Scheinexposition, jeweils mit oder ohne gleichzeitige Durchführung von Rechenaufgaben. Die Angaben der Teilnehmer zur Feldwahrnehmung stimmten nicht mit der tatsächlichen Expositionsbedingung überein.

In der bereits beschriebenen NEMESIS-Studie von Mueller et al. 2002 bestand die Testung aus 10 Durchgängen mit einem 50-Hz-Feld (100 V/m, 6 µT) und 10 Scheinexpositionen, die jeweils 2 Minuten dauerten. An der Studie nahmen 49 EHS-Personen und 14 Kontrollpersonen teil. Statistisch signifikante Ergebnisse hinsichtlich ihrer Feldwahrnehmung erzielten 7 von 63 Teilnehmern. Die Wahrscheinlichkeit, bei 63 Testungen 7 oder mehr signifikante Resultate zu erhalten, beträgt  $p=0,037$ . Die Anzahl der Personen mit korrekter Wahrnehmung war also höher als durch Zufall zu erwarten. Obwohl 6 der 7 Personen mit besserer Wahrnehmungsfähigkeit zur EHS-Gruppe gehörten, bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

In der bereits erwähnten Studie von Kim et al. 2011 mit einer dreissigminütigen Exposition gegenüber einem Magnetfeld von  $12,5 \mu\text{T}$  (60 Hz) wurden 15 EHS- und 16 Kontrollpersonen im Abstand von 5 Minuten insgesamt 9 Mal nach der Feldwahrnehmung gefragt: einmal vor Expositionsbeginn, 5 Mal während der Exposition und 3 Mal danach. Der Anteil der Personen mit korrekter Einschätzung der Feldsituation hing in keiner Gruppe statistisch signifikant mit der Expositionsbedingung zusammen. EHS-Personen gingen aber zu allen Zeitpunkten häufiger von einer tatsächlichen Magnetfeldbelastung aus als Kontrollpersonen. Dieser Unterschied zwischen den Gruppen war für jeweils 3 Erhebungszeitpunkte signifikant.

Auch die ebenfalls bereits erwähnte Provokationsstudie zur wiederholten Testung einer EHS-Person von McCarty et al. 2011 enthielt ein Experiment zur Wahrnehmungsfähigkeit. Getestet wurde eine 35-jährige Ärztin mit einem elektrischen Feld, dessen Feldstärke im Bereich des Kopfes durchschnittlich  $300 \text{ V/m}$  und maximal  $1000 \text{ V/m}$  betrug, im Bereich des Körpers lag der Mittelwert bei  $50 \text{ V/m}$ . Das Experiment zur Feldwahrnehmung bestand aus einem Wechsel von gepulstem Feld (50 ms ein/50 ms aus) von 2 Sekunden Dauer und 10 Sekunden ausgeschaltetem Feld. Es umfasste 8 Sequenzen mit jeweils 30 bis 50 Durchgängen. Die Trägerfrequenz lag in drei Sequenzen bei 60 Hz, in zwei weiteren bei 1 kHz und in den übrigen drei bei 10, 100 und 500 kHz. Dazu kamen 4 Sequenzen mit je mindestens 30 Durchgängen mit Scheinexposition. Insgesamt kamen 300 Tests mit gepulstem / ausgeschaltetem Feld und 150 Tests mit Scheinexposition zur Auswertung. Die Analysen ergaben keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Trägerfrequenz des Signals. Daher wurden die Antworten für alle 300 Phasen mit eingeschaltetem Feld, alle 300 Phasen mit ausgeschaltetem Feld und die 150 Scheinexpositionsphasen gemeinsam ausgewertet. Bei insgesamt 586 gültigen Testphasen mit ein- oder ausgeschaltetem Feld antwortete die Probandin in 51 Fällen (9 %) mit «Ja» und in 535 Fällen mit «Nein» (ca. 91 %). Von den Ja-Antworten waren 32 richtig, also eine korrekte Erkennung des eingeschalteten Feldes, und 19 falsch. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ), aber der Anteil der korrekten Felderkennungen, wenn tatsächlich ein Feld vorhanden war, lag nur bei 11 %. Von den 535 Nein-Antworten waren 274 richtig (51 %) und 293 falsch (55 %) ( $p > 0,05$ ). Da die Probandin auch bei Scheinexposition in 10 % der Testphasen mit «Ja» antwortete, sehen die Autoren keinen Hinweis auf eine bewusste Feldwahrnehmung.

**Tab. 10 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zur Wahrnehmung niederfrequenter Felder.**

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Korrekte Einschätzung der Feldsituation überzufällig	Korrekte Einschätzung der Feldsituation nicht überzufällig
Lyskov et al. 2001a	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 75 %, 46 Jahre 20 Nicht-EHS, Frauen: 75 %, 45 Jahre	Ganzkörperexposition durch 3 Rechteckspulen, Sinuswellen, 60 Hz, 10 $\mu$ T, intermittierend (15 Sek. an, 15 Sek. aus)	4 x 10 Minuten: jeweils zweimal Exposition und Scheinexposition, mit / ohne Rechenaufgaben		EHS- und Kontrollgruppe
Mueller et al. 2002	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	49 EHS, Frauen: 61 % 14 Nicht-EHS, Frauen: 14 %, Gesamtgruppe: 49,5 Jahre	Ganzkörperexposition, Magnetspule über dem Kopf, Sinuswellen, 50 Hz, 100 V/m, 6 $\mu$ T	20 x 2 Minuten: 10 x Exposition und 10 x Scheinexposition	Bei 7 von 63 Personen ( $p=0,037$ ), davon 6 EHS	Bei 56 Personen, davon 43 EHS
Kim et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge ausgeglichen	15 EHS, Frauen: 33 %, 26,2 Jahre 16 Nicht-EHS, Frauen: 31 %, 25,6 Jahre	Ganzkörperexposition, Magnetspule 20 cm über dem Kopf, 60 Hz, 12,5 $\mu$ T im Bereich des Kopfes	2 x 30 Minuten		EHS- und Kontrollgruppe
McCarty et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	1 Frau mit EHS, 35 Jahre	Elektrisches Feld, 60 Hz bis 500 kHz, zwei Metallplatten neben dem Kopf; 300 V/m auf Kopfhöhe, 50 V/m am Körper; Intervalle: 100 Sekunden, duty cycle: 50 %, On-/Off-Phasen: 100 ms	2 x 293 Phasen ein- resp. ausgeschaltetes Feld, 150 Phasen Scheinexposition; Phasendauer jeweils 1 Sekunde	Ein- vs. ausgeschaltetes Feld ( $p < 0,05$ ), Anteil richtiger Antworten: 11 %	Reale Exposition vs. Scheinexposition ( $p > 0,05$ )

#### 4.3.2 Hochfrequente EMF (Nah- oder Fernfeld)

In der ersten Doppelblindstudie zur Wahrnehmung hochfrequenter Felder (Elektrosensitivität) mit 11 EHS-Personen wurden während eines Tages 12 Tests durchgeführt (Radon und Maschke 1998). Bei jedem Test wurden die Probanden einmal real- und zweimal scheinexponiert. Die Expositionsphasen dauerten jeweils 2 Minuten. Anschließend gaben die Probanden an, in welchem der drei Intervalle sie exponiert waren. Es handelte sich um eine Ganzkörperexposition gegenüber einem GSM 900-Signal. Als Feldwahrnehmungsfähigkeit galt eine richtige Zuordnung in mindestens 8 der 12 Tests. Das würde bei reinem Raten mit einer Wahrscheinlichkeit von 1,4 % eintreten. Diese Wahrnehmungsschwelle wurde weder im Gruppenmittel noch von einzelnen Probanden überschritten. Zwei Personen gaben allerdings in 7 von 12 Tests die richtige Antwort. Bei reinem Raten wäre ein solches Ergebnis nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 4 % zu erwarten gewesen und ist daher als statistisch signifikant zu betrachten. Die Autoren empfehlen die Überprüfung der Resultate in grösseren Studien, sehen aber insgesamt keinen Hinweis auf Elektrosensibilität.

Hietanen et al. 2002 untersuchten 20 Personen, die sich selbst als elektromagnetisch hypersensibel bezeichneten. Expositionsquellen waren ein analoges Mobiltelefon sowie zwei GSM-Mobiltelefone mit Frequenzen von 900 und 1800 MHz, die Expositionsdauer betrug 30 Minuten. Pro Tag erfolgten drei bis vier Expositionen, die Scheinexposition wurde jeweils als erste oder zweite durchgeführt. Die Personen konnten nicht unterscheiden, ob oder welcher Belastung sie ausgesetzt waren.

Auch in der Studie von Regel et al. 2006 an 33 Personen mit selbstberichteter Hypersensibilität und 84 Personen ohne eine solche Überempfindlichkeit wurde das Vorhandensein eines UMTS-basisstationsähnliches Signal von 1 V/m oder 10 V/m in keiner Probandengruppe überzufällig häufig korrekt eingeschätzt.

Rubin et al. 2006 wählten für ihre Provokationsstudie 60 Personen aus, die Kopfschmerzen bei Benutzung eines Mobiltelefons angaben, und 60 Personen ohne solche Beschwerden. Die Teilnehmer wurden doppelblind in zufälliger Reihenfolge entweder dem gepulsten Signal eines GSM-Telefons mit 900 MHz, einem unmodulierten Trägersignal von 900 MHz oder einer Scheinexposition ausgesetzt. Während der GSM-Exposition schätzten 60 % der Sensiblen und 58 % der Kontrollpersonen, dass es sich um ein reales Signal handelte, und während der Scheinexposition gingen 63 % der Sensiblen und 68 % der Kontrollen von einem wirklichen Signal aus. Dieses Ergebnis wird nicht statistisch analysiert, die Autoren weisen aber darauf hin, dass der Anteil der EHS-Personen, die von einer tatsächlichen Befeldung ausgingen, bei GSM-Exposition ähnlich hoch war wie bei Scheinexposition (60 vs. 63 %).

In der erwähnten Studie von Oftedal et al. 2007 mit Mobiltelefonexposition und 17 EHS-Probanden bestand hinsichtlich Wahrnehmungsfähigkeit keine statistisch signifikante Korrelation zwischen den Angaben der Probanden und den tatsächlichen Expositionen.

Auch in der Studie von Eltiti et al. 2007a zur basisstationsähnlichen Exposition sowie in den Auswertungen von Bamiou et al. 2008 und Hillert et al. 2008 zur Mobiltelefonexposition unterschied sich die Wahrnehmungsfähigkeit in beiden Gruppen nicht signifikant von der Zufallswahrscheinlichkeit.

Das Gleiche gilt für die Studie von Kwon et al. 2008, in der beide Gruppen nicht besser abschnitten als zufällig zu erwarten. Zwei Kontrollpersonen mit einem sehr hohen Anteil richtiger Antworten auf die Frage «War das Feld eingeschaltet?» (97 resp. 94 %) erreichten in einer erneuten Testung nur noch 51 resp. 50 %.

Furubayashi et al. 2009 berichten für die Feldwahrnehmung in der Gruppe mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden eine Trefferquote von 52 %, in der Kontrollgruppe von 49 %. Die Trefferquote setzte sich aus richtig-positiven und richtig-negativen Antworten zusammen. Sie unterschied sich nicht signifikant von der Ratewahrscheinlichkeit, und der Unterschied zwischen den Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p=0,105$ ).

In der Studie von Nam et al. 2009 bestand die Exposition aus einem CDMA-Mobiltelefon an der linken Kopfseite (Dauer: 30 Minuten). Während der realen Exposition lag der Anteil richtiger Antworten in der EHS-Gruppe bei 43,3 %, in der Kontrollgruppe 3,2 %. Während der Scheinexposition lag der Anteil richtiger Antworten in der EHS-Gruppe bei 73,9 %, in der Kontrollgruppe bei 95,1 %. Die Autoren sehen in den Resultaten keine Evidenz für eine bessere Wahrnehmungsfähigkeit bei EHS-Personen. Aus der entsprechenden Graphik in der Publikation ist ersichtlich, dass die Kontrollpersonen fast durchgehend davon ausgingen, dass kein Feld vorhanden war. Daher lagen sie bei Scheinexposition fast immer richtig, bei realer Exposition dagegen fast immer falsch. Bei den EHS-Personen war der Anteil richtiger Antworten dagegen

---

mit ca. 70 % bei Scheinexposition und 40 % bei tatsächlicher Exposition etwas höher als rein zufällig zu erwarten wäre (ein p-Wert kann aus den Angaben nicht abgeleitet werden). Dieser Unterschied wird von den Autoren nicht erwähnt.

In der Studie von Nieto-Hernandez et al. 2011 bestand keine Evidenz dafür, dass EHS- oder Kontrollpersonen die Felder wahrnehmen konnten. Das galt auch für die Differenzierung zwischen TETRA-Signal oder unmoduliertem Signal.

Die Teilnehmer der Studie von Wallace et al. 2010 beurteilten die Wahrnehmung bei einem basisstationsähnlichen TETRA-Signal oder Scheinexposition während vier 5-minütigen und zwei 50-minütigen Expositionsdurchgängen. Nach Korrektur für multiple Testung bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Auch die Trefferquote bezüglich An- oder Abwesenheit des Feldes war in beiden Gruppen nicht höher als die Ratewahrscheinlichkeit.

Auch in der Studie von Mortazavi et al. 2011 beantworteten die Teilnehmer die Frage nach der Feldwahrnehmung bei zehnminütiger Mobiltelefonexposition. Von 20 Teilnehmern konnten nur 5 Personen (25 %) die beiden Expositionssituationen unterscheiden.

**Tab. 11 > Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zur Wahrnehmung hochfrequenter Felder (Nah- oder Fernfeld).**

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Korrekte Einschätzung der Feldsituation überzufällig	Korrekte Einschätzung der Feldsituation nicht überzufällig
Radon und Maschke, 1998	Crossover, doppelblind	11 EHS, Frauen: 36 %, 48 Jahre	Ganzkörperexposition, Laborantenne in 1,9 m Entfernung, 0,24 W/m <sup>2</sup> (= 9,5 V/m)	12 Durchgänge mit jeweils 3 x 2 Minuten: 1 x Exposition, 2 x Scheinexposition	2 EHS-Personen: 7 von 12 Antworten korrekt (p=0,04)	9 EHS-Personen in Einzelauswertung und für Gesamtgruppe (11 EHS-Personen)
Hietanen et al. 2002	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge nicht randomisiert, nicht ausgeglichen	20 EHS, Frauen: 65 %, 49,4 Jahre	Mobiltelefon an rechter Kopfseite: CW analog 900 (1 W), GSM 900 (0,25 W), GSM 1800 (0,125 W)	3 bis 4 x 30 Minuten: 2 bis 3 reale Expositionen und eine Scheinexposition		20 EHS-Personen
Regel et al. 2006	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	33 EHS, Frauen: 58 %, 37,7 Jahre 84 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 37,7 Jahre	Laborantenne im Abstand von 2 m, UMTS-Signal, basisstationsähnlich, 2100 MHz, SAR10: 0,0062 mW/kg und 0,62 mW/kg	3 x 45 Minuten: Scheinexposition, 1 V/m und 10 V/m		EHS- und Kontrollgruppe
Rubin et al. 2006	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	60 EHS, (urspr. n= 71) Frauen: 56 %, 37,1 Jahre 60 Nicht-EHS, Frauen: 55 %, 33,5 Jahre	Mobiltelefon an linker Kopfseite in normaler Gesprächsposition: GSM 900 oder unmoduliertes Trägersignal; SAR jeweils 1,4 W/kg (Mittelungsvolumen nicht spezifiziert)	3 x 50 Minuten: GSM 900, unmoduliertes Trägersignal, Scheinexposition		EHS- und Kontrollgruppe
Oftedal et al. 2007	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	17 EHS, Frauen: 29 %, 39 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, Antenne 8,5 cm vom Kopf entfernt, SAR10: 0,8 W/kg	Bis zu 4 x 30 Minuten: 2 x Exposition, 2 x Scheinexposition		Erkennen der Feldsituation (p=0,27), Erkennen der Expositionsseite (p=0,67)
Eltiti et al. 2007a	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, aber nicht ausgeglichen	44 EHS, Frauen: 42,9 %, 46,1 Jahre 114 Nicht-EHS, Frauen: 42,5 %, 54,5 Jahre	Laborantenne im Abstand von 5 m, basisstationsähnliche Signale: a) UMTS 2020 MHz, 10 mW/m <sup>2</sup> , b) GSM 900 und 1800 kombiniert, je 5 mW/m <sup>2</sup>	3 x 50 Minuten: UMTS, GSM, Scheinexposition; zusätzlich 3 x 5-minütige Expositionen (56 EHS, 120 Nicht-EHS)		EHS- und Kontrollgruppe: in 5- und 50-Minuten-Tests (kein p-Wert angegeben)
Bamiou et al. 2008	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	9 EHS, Frauen: 33 %, 36,7 Jahre 21 Nicht-EHS, Frauen: 43 %, 34,7 Jahre	Mobiltelefon am Kopf: GSM 900-Signal und unmoduliertes Signal (882 MHz), jeweils 0,25 W Durchschnittsleistung, max. SAR10: 1,3 W/kg	6 x 30 Minuten: jeweils zweimal beide Expositionen und Scheinexposition		EHS- und Kontrollgruppe, Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant (p=0,963)
Hillert et al. 2008	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	38 EHS, Frauen: 63 %, 28 Jahre 33 Nicht-EHS, Frauen: 42 %, 30 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, externe Antenne ca. 20 cm neben linkem Ohr, SAR10: 1,4 W/kg	2 x 3 Stunden		EHS- und Kontrollgruppe (OR: 1,4, 95 % CI: 0,61–3,1)
Kwon et al. 2008	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	78 Nicht-EHS Gesamtkollektiv: Frauen: 68 %, 24,4 Jahre 6 EHS, Frauen: 50 %, 32,8 Jahre	GSM 900, Mobiltelefon in normaler Gesprächsposition: 17 Probanden links, 67 Probanden rechts, max. SAR10: 1,21 W/kg	600 Testdurchgänge mit 6 verschiedenen Expositionsphasen von jeweils 5 Sekunden		EHS- und Kontrollgruppe (Mittelwert: 50,84 %), Unterschied zwischen den Gruppen(p=0,104); 2 Kontrollpersonen mit sehr hohen Trefferquoten (97 resp. 94 %) erreichten in einer erneuten Testung nur noch 51 resp. 50 %.

Referenz	Studiendesign	Kollektiv, Durchschnittsalter	Feldquelle, Modulation, Frequenz, Intensität	Anzahl und Dauer der Expositionen	Korrekte Einschätzung der Feldsituation überzufällig	Korrekte Einschätzung der Feldsituation nicht überzufällig
Furubayashi et al. 2009	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	11 Frauen mit EHS, 37 Jahre 43 Frauen ohne EHS, 38 Jahre	Antennenabstand: 3 m, W-CDMA Downlink-Signal, 2140 MHz, 10 V/m (am Kopf), 0,265 W/m <sup>2</sup> , Ganzkörper-SAR: 1,5 mW/kg	4 x 30 Minuten: kontinuierlich, intermittierend (5 Min. an, 5 Min. aus), Scheinexposition mit Lärm, Scheinexposition ohne Lärm		EHS- und Kontrollgruppe, Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant
Nam et al. 2009	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	18 EHS, Frauen: 56 %, 26 Jahre 19 Nicht-EHS, Frauen: 47 %, 25 Jahre	CDMA-Mobiltelefon an der linken Kopfseite, 835 MHz, max. 300 mW, SAR <sub>1</sub> : 1,22 W/kg	2 x 30 Minuten		EHS- und Kontrollgruppe, Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant, mehr Fehlalarme in der EHS-Gruppe
Nieto-Hernandez et al. 2011	Crossover, einfach verblindet, Reihenfolge randomisiert	60 EHS, Frauen: 12 %, 38 Jahre 60 Nicht-EHS, Frauen: 17 %, 36 Jahre	TETRA-Signal und unmoduliertes Signal (beide 385 MHz), mittlere Sendeleistung jeweils 250 mW, max. SAR <sub>10</sub> : 1,3 W/kg	3 x 50 Minuten: TETRA, unmoduliertes Signal, Scheinexposition		EHS- und Kontrollgruppe, Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant
Wallace et al. 2010	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert, ausgeglichen	48 EHS, Frauen: 61 %, 42 Jahre 143 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 41 Jahre	Basisstationsähnliches TETRA-Signal, 420 MHz, Leistungsdichte: 10 mW/m <sup>2</sup> (ca. 2 V/m), Antenne in ca. 5 m Abstand, Ganzkörper-SAR ca. 271 µW/kg	4 x 5 Minuten (2 x Exposition, 2 x Scheinexposition) und 2 x 50 Minuten		EHS- und Kontrollgruppe, Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant
Mortazavi et al. 2011	Crossover, doppelblind, Reihenfolge randomisiert	20 EHS, Frauen: 20 %, 18 bis 28 Jahre	Mobiltelefon, keine weiteren Angaben	2 x 10 Minuten		25 % der Teilnehmer beurteilten beide Expositionssituationen korrekt

#### 4.3.3 Bewertung zur Wahrnehmung von EMF (Elektrosensitivität)

Bei den Studien zur Elektrosensitivität handelt es sich um randomisierte Studien, so dass die initiale Evidenzqualität gemäss GRADE hoch ist. Von den drei Studien zur Ganzkörper-Magnetfeldexposition wies nur die NEMESIS-Studie auf eine höhere Trefferquote bezüglich An- oder Abwesenheit des Feldes bei einigen EHS-Personen hin, der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war jedoch statistisch nicht signifikant (Mueller et al. 2002).

Die wiederholte Testung einer EHS-Person mit einem elektrischen Feld ergab ein statistisch signifikantes Resultat bezüglich der Unterscheidung zwischen ein- und ausgeschaltetem Feld (McCarty et al. 2011). Der Anteil richtig-positiver Antworten lag aber nur bei 11 % und unterschied sich kaum von den Antworten bei Scheinexposition (10 % der Testphasen mit «Ja» beantwortet). Die Dauer der Exposition war mit jeweils 2 Sekunden allerdings sehr kurz.

In allen grösseren Studien zu niederfrequenten Feldern konnten die EHS-Personen die Exposition im Gruppenmittel nicht wahrnehmen. Daraus ergibt sich hohe Evidenz, dass EHS-Personen als Kollektiv keine bessere Wahrnehmungsfähigkeit für niederfrequente Felder aufweisen als die Durchschnittsbevölkerung. Nicht replizierte Einzelbe-

funde werden als sehr niedrige Evidenz dafür beurteilt, dass es allenfalls Einzelfälle geben könnte, bei denen eine solche Elektrosensitivität vorliegt. Zweifelsfrei wurde aber bisher noch keine solche Person identifiziert.

Zur Hochfrequenzexposition (Nah- und Fernfeld) liegen Resultate von 14 Studien vor. Bis auf die erste Studie von Radon und Maschke 1998, in der zwei von 11 EHS-Personen eine Trefferquote bezüglich An- oder Abwesenheit eines Feldes erzielten, die statistisch signifikant besser war als die Ratewahrscheinlichkeit, bestanden keine Hinweise auf eine Feldwahrnehmungsfähigkeit von Personen mit EHS oder Kontrollpersonen. Die EHS-Studien zur Hochfrequenzexposition wurden ausserdem in zwei Metaanalysen mit den Ergebnissen von Provokationsstudien ohne EHS-Kollektive kombiniert und gemeinsam neu ausgewertet. Auch diese Metaanalysen ergaben weder für EHS-Personen, noch für Kontrollpersonen höhere Trefferquoten als die Ratewahrscheinlichkeit (Röösli 2008, Rubin et al. 2005, Rubin et al. 2010, Röösli et al. 2010a).

Da es sich bei nahezu allen Untersuchungen zur Feldwahrnehmung um Doppelblindstudien mit Crossover-Design handelt, ist die methodische Qualität gut und das «Bias-Risiko» gering. Das einzige Bias-Risiko für diese Studien ist die wiederholt beobachtete Tatsache, dass EHS-Personen dazu tendieren eine Feldwahrnehmung anzugeben, während Kontrollpersonen generell eher von der Abwesenheit der Felder ausgehen. Dadurch kann ein Bias entstehen, wenn die Feldapplikation nicht zufällig und nicht in ausbalancierter Reihenfolge erfolgt. Wird zum Beispiel, als illustrativer Extremfall, die Kontrollgruppe nur scheinexponiert, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass man Personen mit scheinbar perfekter Wahrnehmungsfähigkeit identifiziert, weil sie nie eine Feldwahrnehmung angegeben haben. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache sind die Resultate der Sensitivitätsexperimente relativ einheitlich, und es bestehen keine anderen Gründe, um die Qualität der Evidenz gemäss GRADE-Klassifizierung abzuwerten. Daher wird die Evidenz, dass schwache EMF-Expositionen unter Doppelblindbedingungen im Gruppendurchschnitt *nicht* wahrgenommen werden können, als hoch eingestuft.

Ob es einzelne Personen gibt, die eine solche Wahrnehmungsfähigkeit besitzen, kann damit aber nicht endgültig beurteilt werden, weil sich eine solche Person im Kollektiv verstecken könnte. Falls es solche Personen gibt, handelt es sich um eine sehr kleine Minderheit, da sich die Trefferquote der Feldderkennung (An- oder Abwesenheit einer Exposition) selbst in Metaanalysen nicht von der Ratewahrscheinlichkeit unterschieden hat. Auch Einzelfallanalysen mit wiederholter Testung konnten bisher noch keinen zweifelsfreien Nachweis einer solchen Wahrnehmungsfähigkeit erbringen. In Bezug auf die Wahrnehmung hochfrequenter Felder wird die Evidenz daher als niedrig bis mässig beurteilt, dass es *keine* solchen Personen gibt.

#### 4.4 Nozebo-Effekte

Als Nozebo-Effekt bezeichnet man das Auftreten von Beschwerden infolge einer entsprechenden Erwartungshaltung oder Besorgnis. Im Gegensatz zum positiven Placebo-Effekt bei der Einnahme von Medikamenten oder Scheinmedikamenten handelt es sich beim Nozebo-Effekt um negative Empfindungen (lat. *nocere*: «schaden»). In beiden Fällen treten die Effekte unabhängig von der tatsächlichen Expositionssituation auf.

Nozebo-Effekte werden häufig in Studien untersucht, die neben der Doppelblindtestung auch eine «offene Provokation» beinhalten. Dabei kennen sowohl die Teilnehmer als auch die Untersucher den jeweiligen Expositionsstatus. Wenn nur dann Symptome auftreten, wenn die Exposition bekannt ist, in der doppelblinden Testung jedoch kein Zusammenhang mit der Exposition besteht, weist das darauf hin, dass die Beschwerden nicht durch EMF ausgelöst wurden, sondern durch die Befürchtung oder Erwartungshaltung der Probanden. Ebenfalls bereits durchgeführt wurden ethisch problematische Studien ohne reale EMF-Exposition, bei denen den Teilnehmern trotzdem gesagt wurde, dass sie in einer oder mehreren Testphasen exponiert würden. Ein weiterer Forschungsansatz ist, in verblindeten Studien mit verschiedenen Expositionssituationen die Übereinstimmung zwischen der Selbsteinschätzung der Belastung, dem Auftreten von Beschwerden und der tatsächlich vorhandenen Exposition zu evaluieren. Wenn die Symptome nur mit der Einschätzung der Belastung korrelieren, aber nicht mit dem tatsächlich vorhandenen Feld, weist das ebenfalls auf Nozebo-Effekte hin.

Die entsprechenden Auswertungen in der Studie von Regel et al. 2006 ergaben eine signifikante Korrelation zwischen der empfundenen Feldintensität und dem Ausmass der Symptome bei EHS- und bei Kontrollpersonen. Die Einschätzung der Feldintensität korrelierte aber nicht mit der tatsächlich applizierten Feldstärke (Scheinexposition, 1 V/m oder 10 V/m).

In der Studie von Oftedal et al. 2007 fand vor der Doppelblindtestung ein offener Provokationstest statt. Nur diejenigen Teilnehmer, die während der (ihnen offengelegten) Mobiltelefonexposition die von ihnen beschriebenen Symptome entwickelten, wurden in die Doppelblindstudie aufgenommen. Von 36 erfüllten 24 Probanden dieses Kriterium. Die Doppelblindtestung, an der 17 Personen teilnahmen, zeigte dann jedoch keinen Zusammenhang zwischen der Exposition und dem Auftreten von Symptomen oder Veränderungen der Herz-/Kreislaufparameter (siehe Kapitel 4.2.2.).

Auch die Studie von Eltiti et al. 2007a enthielt einen offenen Provokationstest, in dem jeweils 15 Minuten GSM-, UMTS-Basisstationssignale oder Scheinexposition appliziert wurde. Sowohl die Teilnehmer als auch die Untersucher kannten den jeweiligen Expositionsstatus. Bezogen auf eine Skala mit 6 Parametern des psychischen Befindens gab die EHS-Gruppe (n= 56) während der GSM- und während der UMTS-Exposition statistisch signifikant höhere Werte für Ängstlichkeit, Anspannung, Aufregung und Unbehagen an als während der Scheinexposition. Im nachfolgenden Doppelblindexperiment, wenn weder die Probanden noch die Untersucher den Feldstatus kannten, waren diese Unterschiede nicht mehr zu beobachten. Somit können die Veränderungen darauf zurückgeführt werden, dass die Probanden in der offenen Provokation den

Expositionsstatus kannten. In der Kontrollgruppe (n= 120) stiegen die Beschwerden in der offenen Provokation leicht an, es bestanden aber keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Exposition und Scheinexposition.

In einem zusätzlichen Fragebogen mit 57 körperlichen Beschwerden wurde von der EHS-Gruppe ebenfalls ein Anstieg der Symptome bei bekannter GSM- und UMTS-Exposition rapportiert. Die Kontrollgruppe gab nur bei UMTS-Exposition statistisch signifikant mehr körperliche Symptome an. Die gemessenen Herzkreislaufparameter zeigten weder in der offenen Provokation noch unter Doppelblindbedingungen in einer der beiden Gruppen einen Zusammenhang mit der Exposition.

In der ebenfalls schon beschriebenen Studie von Hillert et al. 2008 zum Auftreten von Beschwerden bestand in der Befragung nach 2¾ Stunden Mobiltelefonexposition bei EHS-Personen eine Korrelation zwischen der Überzeugung exponiert zu sein und dem Auftreten folgender Symptome: Schwellungsgefühl im Gesicht, Hautrötung, Hitzegefühl, stechender Schmerz und/oder Kribbelgefühl an der Haut sowie Schmerzen in der linken Ohrregion. Alle diese Symptome traten unter doppelblinden Bedingungen bei Exposition nicht häufiger auf als bei Scheinexposition.

In einer experimentellen Studie aus Deutschland wurde mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRI) untersucht, ob sich die Aktivierung von Gehirnregionen, die für unangenehme Empfindungen zuständig sind, bei EHS-Personen und Kontrollpersonen unterscheidet (Landgrebe et al. 2008b). Dazu wurde die Gehirnaktivität von 15 EHS-Personen und 15 Nicht-EHS-Personen mittels fMRI sichtbar gemacht. Die Stimulierung bestand aus einer Scheinexposition durch ein nichtsendendes Mobiltelefon und Hitzereizen am Handgelenk. Die Probanden erhielten die Information, an der MRI-Magnetspule sei ein aktives Mobiltelefon angebracht. Appliziert wurden 24 Reize mit beiden Methoden, jeweils mit einer Dauer von 8 Sekunden. Unmittelbar vor jedem Hitze- oder «Mobiltelefon»-Reiz wurde den Probanden während 2 bis 8 Sekunden ein entsprechendes Symbol gezeigt, so dass sie einen entsprechenden Reiz erwarteten. Die «Exposition» dauerte jeweils 8 Sekunden, danach erfolgte auf einer Fünf-Punkteskala die Einstufung, wie unangenehm die Empfindung gewesen war. Die Einstufung der unangenehmen Empfindung war in beiden Gruppen ähnlich, sowohl für die Hitzereizung ( $p < 0,595$ ) als auch für die vermeintliche Mobiltelefon-Exposition ( $p < 0,174$ ). Für die Auswertung der fMRI-Daten wurden 11 EHS-Personen berücksichtigt, die eine unangenehme Empfindung von mindestens 1,5 Punkten angegeben hatten. Bei den EHS-Personen zeigte sich im Vergleich zu 14 Personen der Kontrollgruppe, deren unangenehme Empfindung kleiner als 1,5 Punkte war, eine signifikant stärkere Aktivierung in zwei Hirnarealen kurz vor und während der Schein-Mobiltelefonexposition. Bei Hitzereizen bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Autoren betrachten die stärkere Aktivierung der Hirnareale bei EHS-Personen als mögliche Erklärung für Unterschiede in der Regulation des autonomen Nervensystems und für die Symptomentwicklung.

Leitgeb et al. 2008 beobachteten in ihrer oben erwähnten Studie zur Abschirmung der Hochfrequenzexposition im Schlafzimmer bei 7 von 43 Teilnehmern (16 %) statistisch signifikante Placebo-Effekte. Bei diesen Personen verbesserten sich ein oder mehrere

subjektive Schlafparameter in allen Testnächten, unabhängig von der Art der Abschirmung.

In der einfach verblindeten Studie von Szemerszky et al. 2010 fand keine reale Exposition statt, die Teilnehmer erhielten aber die (gefälschte) Information, dass es sich im ersten Durchgang um schwache Magnetfelder handelte und im zweiten um sehr starke Magnetfelder (jeweils 10 Minuten). Unter dem Stuhl der Probanden befanden sich zwei Helmholtz-Spulen, die nicht an den Strom angeschlossen waren. Vierzig Studenten beantworteten vorher und nachher Checklisten zu 20 körperlichen Symptomen und schätzten die Feldsituation ein. Während der vermeintlich stärkeren Befeldung gaben die Probanden statistisch signifikant mehr Beschwerden an als bei der angeblich schwächeren Exposition (Mittelwert 10,4 vs. 7,1 Symptome,  $p < 0,001$ ). Zudem berichteten die Probanden bei «stärkerer» Exposition häufiger über eine Feldwahrnehmung (Mittelwert 1,23 vs. 0,75,  $p = 0,003$ ). Personen mit höheren Werten im Fragebogen zur EHS-Symptomatik vor der Testung berichteten über mehr Symptome, aber nicht häufiger über eine Feldwahrnehmung. Wie aus der Publikation hervorgeht, erfolgten die Durchgänge allerdings nicht in randomisierter und ausgeglichener Reihenfolge. Da die «starke Exposition» immer im letzten Durchgang stattfand, könnte auch dies das Ausmass der Beschwerden und das Ergebnis beeinflusst haben. Bei den Teilnehmern handelte es sich strenggenommen nicht um EHS-Personen, weil die Zuordnung zur EHS- resp. Nicht-EHS-Gruppe nachträglich erfolgte. Der Mittelwert für EHS-Beschwerden auf einer Skala von 0 bis 4 lag im Kollektiv bei 1,25 (Standardabweichung: 0,74).

Die bereits erwähnte Studie von Wallace et al. 2010 zur Ganzkörperexposition gegenüber einem TETRA-Signal enthielt eine offene Provokation vor der Doppelblindtestung. In der offenen Testphase zeigten sich unabhängig von der Exposition statistisch signifikant stärkere Symptome in der EHS-Gruppe. Zusätzlich berichteten EHS-Personen während der ihnen bekannten TETRA-Exposition über mehr Symptome als während der Scheinexposition. Dieser Unterschied bestand in der Kontrollgruppe nicht. Im Doppelblindtest waren keine statistisch signifikanten Expositionseffekte zu beobachten, weder bezüglich sechs verschiedenen Parametern des Befindens (Angst, Anspannung, Aufregung, Unbehagen, Müdigkeit und Entspannung), noch bezüglich einer Beschwerdeskala mit 57 Symptomen.

#### 4.4.1 Bewertung zum Nozebo-Effekt

Alle Studien, die darauf ausgelegt waren, Nozebo-Wirkungen zu untersuchen, konnten diese Effekte auch dokumentieren. Das zeigt, dass Nozebo-Effekte für das Phänomen EHS relevant sind. Es zeigt aber auch, dass die Fragebögen geeignet waren und die statistische Power gross genug, um Expositionseffekte in der gleichen Grössenordnung nachzuweisen, falls sie existierten. Da es sich um experimentelle Studien handelt und die Ergebnisse konsistent sind, kann daraus gemäss GRADE *hohe* Evidenz abgeleitet werden, dass Nozebo-Effekte bei EHS-Personen auftreten können. Dies allein ist noch kein Beweis, dass die beobachteten Veränderungen ausschliesslich auf Nozebo zurückzuführen sind. Es bedeutet jedoch, dass Studien, in denen die Teilnehmenden ihren Expositionsstatus kannten, sehr kritisch zu beurteilen sind. In diesen Studien ist davon

---

auszugehen, dass die Kenntnis des Expositionsstatus insbesondere subjektive Zielgrößen wie das Befinden oder das Auftreten von unspezifischen Symptomen beeinflusst. Das betrifft in erster Linie beobachtende (epidemiologische) Studien und Fallbeschreibungen, da hier eine Verblindung im Allgemeinen nicht realisiert werden kann.

Ausserdem ist aus der Psychosomatik bekannt, dass durch entsprechende Erwartungen nicht nur die Wahrnehmung von Symptomen, sondern auch biologische Prozesse beeinflusst und messbare physiologische Veränderungen induziert werden können, beispielsweise die Herzfrequenz oder die Kortisonkonzentration im Blut (de Vocht 2010). Das bedeutet, dass auch bei objektiv gemessenen physiologischen Parametern die Möglichkeit von nozebo-induzierten Veränderungen geprüft werden muss.

In der Studie von Landgrebe et al. 2008b erfolgte die Zuordnung zur EHS- und Nicht-EHS-Gruppe nachträglich. Dies ist problematisch, weil die Definition der EHS eine entsprechende Selbstdeklaration voraussetzt und es sich daher strenggenommen nicht um EHS-Personen handelte. Interessant ist aber das Ergebnis, dass Nozebo-Effekte offenbar nicht nur bei Personen mit EHS eine Rolle spielen. Das wurde zum Beispiel auch in der Studie von Regel et al. 2006 beobachtet.

**Tab. 12 > Studien zum Nozebo-Effekt**

Die Pfeile verdeutlichen die Richtung der Assoziation: ↑ bezeichnet eine positive Korrelation, ↓ eine negative Korrelation.

Referenz	Kollektiv, Durchschnittsalter	Art der Testung und Exposition	Anzahl und Dauer der Tests	Signifikante Assoziation	Keine oder nichtsignifikante Assoziation
Regel et al. 2006	33 EHS, Frauen: 58 %, 37,7 Jahre  84 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 37,7 Jahre	Laborantenne im Abstand von 2 m, basisstationsähnliches UMTS-Signal, 2100 MHz, SAR10: 0,0062 mW/kg und 0,62 mW/kg	3 x 45 Minuten: Scheinexposition, 1 V/m und 10 V/m	Korrelation zwischen Feldeinschätzung und Symptomen	Korrelation zwischen Feldeinschätzung und realer Exposition
Oftedal et al. 2007	36 Probanden, davon 24 EHS	Offene Provokation vor der Doppelblindtestung: Mobiltelefon, Scheinexposition	4 x 30 Minuten: 2 x Exposition, 2 x Scheinexposition	Symptome ↑ bei bekanntem Feld	Symptome in Doppelblindtest
Eliiti et al. 2007a	56 EHS  120 Nicht-EHS	Offene Provokation: Basisstationssignal GSM, UMTS, Scheinexposition	3 x 15 Minuten	EHS-Gruppe: psychische und physische Symptome bei bekanntem Feld ↑  Kontrollgruppe: physische Symptome bei bekannter UMTS-Exposition ↑	Kontrollgruppe: psychische Symptome bei bekanntem Feld  Kontrollgruppe: physische Symptome bei bekannter GSM- und Scheinexposition  Doppelblindtestung: physische und psychische Symptome bei GSM- und UMTS-Exposition
Hillert et al. 2008	38 EHS, Frauen: 63 %, 28 Jahre  33 Nicht-EHS, Frauen: 42 %, 30 Jahre	GSM 900, mobiltelefonähnliches Signal, externe Antenne ca. 20 cm neben linkem Ohr, SAR10: 1,4 W/kg	2 x 2,75 Stunden	EHS-Gruppe: Korrelation zwischen Überzeugung exponiert zu sein und Symptomen (offene Testung)	Doppelblindtestung: alle Symptome
Landgrebe et al. 2008b	15 EHS, Frauen: 40 %, 47,7 Jahre  15 Nicht-EHS, Frauen: 40 %, 46,9 Jahre	Nichtsendendes Mobiltelefon, Hitzereize am Handgelenk	2 x 24 Reize von 8 Sekunden Dauer	Aktivierung von zwei Gehirnregionen für unangenehme Empfindungen bei Schein-Mobiltelefonexposition in der funktionellen MRI-Untersuchung	Gehirnaktivität bei Hitzereizen
Leitgeb et al. 2008	43 EHS, Frauen: 60 %, 56 Jahre	Abschirmung der Hochfrequenzimmissionen im Schlafzimmer	3 x 3 Nächte: mit Abschirmung, mit Scheinabschirmung, ohne Abschirmung	Bei 7 Probanden Placebo-Effekte durch Scheinabschirmung	
Szemerszky et al. 2010	40 Probanden ohne EHS (?), Frauen: 73 %, 22,8 Jahre	2 Helmholtzspulen unter dem Stuhl, nicht an den Strom angeschlossen	2 Durchgänge, je 10 Minuten («schwach», «stark»)	Symptome und Feldwahrnehmung ↑ bei angenehmerer starker Exposition	
Wallace et al. 2010	51 EHS, Frauen: 61 %, 42 Jahre  132 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 41 Jahre	Basisstationsähnliches TETRA-Signal, 420 MHz, Leistungsdichte: 10 mW/m <sup>2</sup> (ca. 2 V/m), Antenne in ca. 5 m Abstand, Ganzkörper-SAR ca. 271 µW/kg	2 x 15 Minuten	EHS-Gruppe: Angst, Anspannung, Aufregung, Unbehagen, Müdigkeit, Entspannung; Beschwerden auf einer Skala mit 57 Symptomen ↑ bei bekanntem Feld	Kontrollgruppe: Angst, Anspannung, Aufregung, Unbehagen, Müdigkeit, Entspannung; Beschwerden auf einer Skala mit 57 Symptomen bei bekanntem Feld  Doppelblindtestung, beide Gruppen: Angst, Anspannung, Aufregung, Unbehagen, Müdigkeit, Entspannung; Beschwerden auf einer Skala mit 57 Symptomen

## 5 > Langzeiteffekte der EMF-Exposition: Epidemiologische Studien

---

Bisher sind erst wenige epidemiologische Untersuchungen publiziert worden, in denen die Höhe der EMF-Exposition gemessen oder modelliert wurde und die auf Personen mit EHS fokussiert waren. Das Ziel dieser Querschnitts- oder Kohortenstudien ist, eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Belastung mit elektromagnetischen Feldern und dem Auftreten oder der Häufigkeit von unspezifischen Beschwerden in der Bevölkerung zu evaluieren.

An einer Pilotstudie von Hillert et al. 2001 nahmen 9 Frauen und 5 Männer teil, die ihre starke Müdigkeit auf eine Überempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern zurückführten. Das Ziel dieser Studie war es, einen möglichen Wirkungsmechanismus für die Entstehung von unspezifischen Symptomen wie Müdigkeit durch schwache EMF-Belastungen zu evaluieren. Analysiert wurde die Konzentration der Azetylcholinesterase in den Erythrozyten und der Butyrylcholinesterase im Blutplasma. Bei jeder Person wurden zu Hause oder am Arbeitsplatz 3 Blutentnahmen durchgeführt: einmal, wenn sich die Versuchsperson nach eigener Einschätzung wegen einer EMF-Exposition (Bildschirm, Fluoreszenzlicht etc.) sehr müde fühlte, einmal bei Wohlbefinden und einmal nach dem Zufallsprinzip. Als Referenzwert diente die Blutprobe, bei deren Entnahme sich die Person wohl fühlte. Als auffällig wurde ein Unterschied in der Azetylcholinesterase von mindestens 15 % und in der Butyrylcholinesterase von 20 % definiert. Die Azetylcholinesterase war bei keinem Probanden im müden Zustand um mehr als 15 % erniedrigt. Zwei Personen hatten eine mehr als 20 %ige Verminderung der Butyrylcholinesterase, wenn sie Müdigkeit angaben. Zwei weitere Personen hatten bei einer der anderen Blutentnahmen eine subnormale Butyrylcholinesterase-Aktivität. Über alle Teilnehmer hinweg bestand keine Korrelation zwischen der Aktivität der Azetyl- oder Butyrylcholinesterase und der Müdigkeit. Die Resultate stützen die Hypothese nicht, dass die Müdigkeit bei EHS-Personen durch eine EMF-induzierte Abnahme der Cholinesteraseaktivität zustande kommt.

Im Rahmen eines umweltmedizinischen Beratungsprojekts in der Schweiz wurde die Expositionssituation von Personen mit EHS evaluiert (Huss et al. 2005). Zudem beurteilte ein interdisziplinäres Expertenteam anhand von Messungen und medizinischen Untersuchungen, ob die berichteten Beschwerden plausibel mit der EMF-Exposition zusammenhängen. Die Messungen in den Wohnungen erfassten nieder- und hochfrequente Felder (5 Hz bis 3 GHz). Als «potenziell relevante persönliche Belastung» galten Expositionen, die eine gewisse Mindeststärke hatten und an einer Stelle auftraten, an der sich die betreffende Person mindestens mehrere Stunden pro Tag aufhielt. Die Mindestexposition wurde definiert als Überschreitung eines Zehntels des schweizerischen Anlagegrenzwerts. Für hochfrequente Felder lag dieser Schwellenwert bei 0,6 V/m. Zusätzlich musste ein zeitlicher und räumlicher Bezug zwischen der Exposition und dem Auftreten der Beschwerden gegeben sein. Insgesamt nahmen 63 Perso-

nen an den Untersuchungen teil. Auf EMF führten 25 Personen (40 %) ihre Beschwerden zurück. Nach Abwägung aller zusätzlichen umweltmedizinischen Befunde und Informationen wurden in der interdisziplinären Fallkonferenz 14 von insgesamt 85 geschilderten Symptomen bzw. Beschwerden (16 %) bei 8 von 25 Personen (32 %) als plausibel mit der EMF-Belastung zusammenhängend erachtet. Die Hälfte dieser Symptome waren Schlafstörungen, Müdigkeit oder Erschöpfung. Bei all diesen «plausiblen» Symptomen handelte es sich um kurzfristig (z. B. Kribbeln) bis mittelfristig (z. B. nicht chronische Schlafstörungen) einsetzende Einschränkungen des Wohlbefindens. Obwohl keiner der in der Schweiz geltenden Grenzwerte überschritten wurde, erschien es dem Projektteam bei einzelnen Personen plausibel, dass ihre Beschwerden durch EMF hervorgerufen worden waren (siehe auch Kapitel 6, «Fallbeschreibungen»).

Neben der Feldintervention beinhaltete die bereits erwähnte Studie von Leitgeb et al. 2008 auch eine Querschnittsauswertung zur Schlafqualität von 43 EHS-Personen während der drei Studiennächte ohne Abschirmung. Dabei ging es um Auswirkungen der Grundbelastung gegenüber hochfrequenten Feldern in den Schlafzimmern der Probanden, nicht um die experimentelle Abschirmung. Die Hochfrequenzbelastung lag in den meisten Wohnungen unterhalb von 0,5 % des ICNIRP-Referenzwertes, der höchste Wert war 3,5 % (bei 1800 MHz: 2 V/m). Die Auswertungen ergaben keine Assoziation zwischen der Hochfrequenzbelastung und der Schlafqualität.

Die Qualifex-Studie evaluierte den Zusammenhang von gesundheitlichen Beschwerden bei EHS-Personen mit ihrer persönlichen EMF-Exposition im Frequenzbereich von 88 bis 2500 MHz (Röösli et al. 2010b). Neben einer Querschnittsanalyse enthielt die Studie auch eine Verlaufsbeobachtung über ein Jahr. Im Jahr 2008 wurde eine Zufallsstichprobe von 4000 Bewohnern der Region Basel im Alter von 30 bis 60 Jahren gezogen. An der Basiserhebung beteiligten sich insgesamt 1375 Personen (Teilnahmerate: 37 %). An der Folgerhebung ein Jahr später nahmen 82 % (n= 1122) von ihnen erneut teil. Die Frage «sind Sie elektrohypersensibel?» (EHS-Personen) bejahten in den beiden Jahren jeweils ungefähr 8 % der Teilnehmer, wobei nur knapp 5 % in beiden Jahren die gleiche Einschätzung abgaben. Jeweils weitere 13 bis 14 % bejahten die Frage: «Glauben Sie, dass Sie wegen der EMF-Belastung im Alltag gesundheitliche Beschwerden entwickeln?» («Attributers»). Von den Attributers im Jahre 2008 berichtete ein Jahr später rund die Hälfte nicht mehr von Symptomen im Zusammenhang mit EMF. Die Abschätzung der persönlichen Hochfrequenzexposition erfolgte mittels Modellierung, zusätzlich wurden die Entfernungen zur nächsten Basisstation sowie Teilnehmerangaben und/oder Betreiberdaten zur Benutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen berücksichtigt. Die Expositionssituation war in den drei Studiengruppen ähnlich; am meisten Symptome hatten Personen mit EHS, dann die «Attributers», dann der Rest der Teilnehmer. Die statistischen Auswertungen ergaben keinen Zusammenhang zwischen der Hochfrequenzexposition und dem Ausmass der gesundheitlichen Beschwerden in der EHS-Gruppe. Die erste Auswertung betraf den Expositionsstatus am Anfang der Studie und die Frage, ob eine hohe Anfangsexposition zu einer Symptomzunahme über den Beobachtungszeitraum führte (Kohortenanalyse). Die zweite Analyse untersuchte, ob eine Zu- oder Abnahme der Exposition zwischen 2008 und 2009 eine entsprechende Veränderung der Symptomatik mit sich brachte (Veränderungsanalyse). Beide Auswertungen ergaben keine Hinweise auf Zusammenhänge zwischen der Hochfrequenzexposition und gesundheitlichen Beeinträchtigungen.

Insgesamt war das Expositions-niveau niedrig und die Veränderungen vom Anfang bis zum Ende der Studie gering. Für die EHS-Gruppe lag der Mittelwert der modellierten Hochfrequenzbelastung durch Fernfeldquellen im Jahr 2008 bei 0,114 mW/m<sup>2</sup> (0,207 V/m) und 2009 bei 0,116 mW/m<sup>2</sup> (0,209 V/m). Die entsprechenden Werte für die Kontrollgruppe betrugen 0,120 und 0,125 mW/m<sup>2</sup> (0,213 und 0,217 V/m), für die «Attributers» 0,126 und 0,134 mW/m<sup>2</sup> (0,218 und 0,225 V/m).

## 5.1

**Bewertung der Langzeitstudien**

Bei den Studien zu langfristigen Auswirkungen von EMF auf die Gesundheit von EHS-Personen handelt es sich um beobachtende Studien. Gemäss GRADE ist damit die initiale Evidenzqualität niedrig. Da nur sehr wenige Studien vorliegen, wird die Evidenz weiter abgewertet, und die Gesamtevidenz für oder gegen einen Zusammenhang zwischen langfristiger EMF-Belastung und gesundheitlichen Beschwerden von EHS-Personen wird als sehr niedrig beurteilt. Es ist deshalb keine Aussage möglich.

Ein entscheidendes Problem bei der Durchführung und Interpretation von Studien zur langfristigen Auswirkung von EMF bei EHS-Personen ist die Annahme von EHS-Personen, dass durch die Exposition gesundheitliche Beschwerden verursacht werden. Gerade bei beobachtenden Studien zum Langzeitverlauf ist eine Verblindung der Teilnehmer gegenüber ihrem Expositionsstatus oft nicht möglich. Daher lassen sich reale Expositionseffekte kaum von Nozebo-Effekten unterscheiden. Dies ist insbesondere bei der Untersuchung von subjektiven Zielgrössen wie Wohlbefinden oder Symptomen problematisch. Es kann aber auch für physiologische Parameter relevant sein, wenn sich die Befürchtungen der EHS-Personen auf diese Parameter auswirken (z. B. Kortisonspiegel im Blut, Herzfrequenz).

Zudem ist davon auszugehen, dass Personen mit EMF-bezogenen Beschwerden ihre Exposition im Alltag soweit wie möglich minimieren. So wurde zum Beispiel in einer Studie mit einem Beobachtungszeitraum von einem Jahr festgestellt, dass EHS-Personen ihre EMF-Belastung im Verlauf der Studie tendenziell reduzierten (Rööli et al. 2010b). Wenn die Beschwerden durch entsprechende Massnahmen abnehmen, lässt sich nicht beurteilen, ob dafür biophysikalische Mechanismen oder psychologische Faktoren (Plazebo-/Nozebo-Effekte) verantwortlich sind. In einer Querschnittsstudie könnte sogar die paradoxe Situation auftreten, dass EHS-Personen zwar mehr Symptome haben, aber weniger stark exponiert sind als Vergleichspersonen. Dadurch würde der falsche Eindruck entstehen, dass höhere EMF-Belastungen mit weniger Symptomen einhergehen.

Aus diesen Gründen ist es schwierig, direkt aus empirischen Studien hohe Evidenz für oder gegen einen langfristigen Zusammenhang zwischen Befinden und EMF-Belastung im Alltag zu erhalten. Die Plausibilität eines Zusammenhanges muss also indirekt aus anderen Studien erschlossen werden, in denen die beschriebenen methodischen Schwierigkeiten umgangen werden können, z. B. aus doppelblinden Laborstudien. Allerdings lassen sich in solchen Studien keine langfristigen Auswirkungen der Exposition unter realen Bedingungen untersuchen. Da Nozeboeffekte und Expositionsvermeidung bei Nicht-EHS-Personen weniger ausgeprägt zu erwarten sind als bei Perso-

---

nen mit EHS, sind beobachtende Studien an Nicht-EHS-Personen weniger anfällig für Verzerrungen. In der Gesamtbewertung in Kapitel 9 wird deshalb auch ein Überblick über diese Studien gegeben, um zu evaluieren, ob allfällige Auswirkungen von EMF auf das Befinden bei Personen beobachtet worden sind, die sich nicht als EHS einschätzen.

## 6 > Einzelfallberichte

---

Wie bereits im Methodenteil (Kap. 2.2. und 2.3.) erwähnt, sind im vorliegenden Bericht zusätzlich zu den wissenschaftlichen Studien auch Einzelfallberichte über Personen mit EHS berücksichtigt. Wichtig ist dabei die Unterscheidung zwischen Einzelfallexperimenten und Einzelfallberichten. Bei Einzelfallexperimenten, in denen eine Person mehrfach unter verschiedenen Expositionsbedingungen getestet wird, handelt es sich methodisch um eine experimentelle Cross-over-Studie, bei der die Person gleichzeitig als ihre eigene Kontrolle dient. Solche Studien werden in diesem Bericht in Kapitel 4 beschrieben und bewertet.

Einzelfallberichte beschreiben dagegen die Krankheitsgeschichten einzelner Personen, die wegen ihrer Beschwerden ärztliche oder therapeutische Hilfe aufgesucht haben. Diese Einzelfallberichte, auch «Kasuistiken» genannt, dienen dazu, unbekannte oder ungewöhnliche Krankheitsbilder zu dokumentieren und sie gemeinsam mit den jeweiligen medizinischen Befunden zu veröffentlichen. Sie beinhalten keine experimentelle Testung unter Doppelblindbedingungen, und die Expositionsabschätzung beruht häufig auf den Angaben der Betroffenen.

Die in diesem Kapitel aufgeführten Einzelfallberichte werden als wichtig erachtet, weil in statistischen Untersuchungen die Gefahr besteht, dass seltene, unerwartete Fälle unentdeckt bleiben. Zudem können sie Aufschluss über Gewöhnungs- oder Sensibilisierungsprozesse bei Personen mit langfristiger Exposition geben.

Wegen der riesigen Anzahl an Einzelfallberichten im Internet und anderen Medien ohne Qualitätskontrolle ist es allerdings nicht realistisch, die Fallbeschreibungen von Personen mit EHS auch nur annähernd vollständig zu erfassen. Daher beschränkt sich die Auswahl für diesen Bericht auf Fallberichte, die in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Begutachtungsverfahren veröffentlicht wurden. Zudem sollte die Fallbeschreibung dem «Vorschlag zur Gliederung von umweltmedizinischen Kasuistiken» des Robert Koch-Instituts entsprechen (RKI 2006, vgl. Kapitel 2.3.). Besonders wichtig sind dabei die detaillierte Dokumentation der medizinischen Abklärungen und die genaue Schilderung der Hinweise auf eine Umweltverursachung. Für die Plausibilitätsbeurteilung sind räumliche und zeitliche Bezüge zwischen Exposition und Symptomatik von entscheidender Bedeutung.

Hocking und Westerman 2000 berichteten über den Fall eines 72-jährigen Geschäftsmannes, der an zwei aufeinanderfolgenden Tagen ein je einstündiges Telefonat mit einem GSM-Telefon durchführte. Anschliessend traten Empfindungsstörungen (Dysästhesien) auf der rechten Gesichtseite auf. Eine neurologische Untersuchung ergab keine Gleichgewichts- oder Hörstörungen. Die Wahrnehmungsschwelle für Berührung war auf der rechten Gesichtseite dreimal höher als normal, links wurden normale Werte gemessen. Beim zweiten Einzelfall handelte es sich um einen 31-jährigen Antennenoperateur, der bei der Arbeit versehentlich der Strahlung einer CDMA-Basisstation (800 bis 900 MHz) ausgesetzt war (Hocking und Westerman 2001). Die

Feldstärke wird mit 7,5 V/m (linke Schulter) bis 15 V/m (Kopf) beziffert. Der Arbeiter berichtete über ein Wärmegefühl im Bauch während der Exposition, danach traten Kopfschmerzen und in der folgenden Nacht Schlaflosigkeit auf. Am nächsten Tag bemerkt er eine Sehstörung des linken Auges. Am Tag nach der Exposition ergab eine Sensibilitätstestung mit Wechselstromreizen höhere Wahrnehmungsschwellen auf der linken als auf der rechten Seite der Stirn. Einen Monat nach der Exposition bestanden diese Unterschiede noch in abgeschwächter Form, nach 6 Monaten waren sie nicht mehr nachweisbar.

Eine weitere Publikation von Hocking betrifft eine Fallserie von 40 Personen, die sich auf ein Inserat gemeldet hatten und über Beschwerden bei der Benutzung von digitalen oder analogen Mobiltelefonen berichteten (Hocking 1998). Angegeben wurden neben einem unangenehmen Wärmegefühl (11 Personen) auch dumpfe Schmerzen (10) und verschiedene andere Symptome wie Klopfen, Stechen und Druckgefühl. Am häufigsten wurden die Symptome in der Schläfengegend (17), am Ohr (9) und am Hinterkopf (9) wahrgenommen. Die Symptome begannen meist Minuten nach dem Telefonat (23), manchmal auch mit grösserer Verzögerung (11). Sie klangen teilweise innerhalb einer Stunde ab (19), dauerten bis zum Abend (15) oder bis zum nächsten Tag (5) an. Bei Freisprecheinrichtungen traten keine Symptome auf, drei Personen hatten jedoch Beschwerden, wenn sie das Telefon am Gürtel trugen.

Der selbe Autor berichtet über eine 34-jährige Journalistin, die seit ungefähr fünf Jahren ein analoges und später ein digitales Mobiltelefon benutzte und dieses immer ans linke Ohr hielt (Hocking und Westerman 2002). Sie klagte über Schmerzen am Hinterkopf und am Ohr, die nach fünf bis zehn Minuten Mobiltelefonbenutzung auftraten und deren Dauer von der Länge des Telefonats abhing. Die Testung bestand darin, dass die Patientin ihr Mobiltelefon ans Ohr hielt und so lange hineinsprach, bis sie Beschwerden bekam (ca. 7 Minuten). Um Wärmeentwicklung zu vermeiden, befand sich das Telefon in einer dünnen Styroporhülle. Vor und nach der Exposition wurden am unteren Hinterkopf (am Processus mastoideus) die Wahrnehmungsschwellen für elektrische Wechselstromreize bei Frequenzen von 5, 250 und 2000 Hz bestimmt. Nach dem Mobiltelefongespräch waren die Wahrnehmungsschwellen für alle drei Frequenzen auf der linken Hinterkopfseite höher als auf der rechten Seite. Vor dem Telefonat bestanden nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Seiten. Die Autoren sahen darin einen Hinweis auf Veränderungen der Reizempfindung durch die Mobiltelefonbenutzung. Sie weisen aber darauf hin, dass es sich nicht um eine doppelt verblindete Provokationsstudie handelte, weil keine Scheinexposition erfolgte.

In zwei kurzen Übersichtsarbeiten fassen dieselben Autoren mehrere eigene und fremde Einzelfallberichte zu neurologischen Veränderungen durch Hochfrequenzstrahlung zusammen (Hocking und Westerman 2003, Westerman und Hocking 2004). Es handelt sich dabei um Beobachtungen zur Mobiltelefonbenutzung und zur Exposition von Antennenmonteuren, aber auch von Hochfrequenz-Schweissern oder durch die Verwendung von Hyperthermie-Geräte und defekten Mikrowellenöfen. Am häufigsten wurden Sensibilitätsstörungen in Zusammenhang mit der (akzidentellen) Hochfrequenzexposition gebracht. Weitere Symptome waren Kopfschmerzen und Müdigkeit. Teilweise handelte es sich um thermische Effekte. Die Autoren gehen aber davon aus,

dass bei manchen Personen schon geringere Intensitäten zu Funktionsstörungen des peripheren Nervensystems führen können.

Aus Italien stammt die Beschreibung von zwei Personen, die ihre neurologischen, kardiovaskulären und sensorischen Beschwerden auf eine 123 kV-Freileitung in der Nähe ihrer Wohnungen zurückführten, die Ende 1998 ans Netz gegangen war (Gobba 2002). Es handelte sich um eine 52-jährige Patientin, die über Herzstolpern, Atemnot, Gelenkschmerzen, Empfindungsstörungen und andere Symptome berichtete, wenn sie sich in der Wohnung oder in der näheren Umgebung aufhielt. Die medizinische Anamnese und Untersuchung ergab keine körperlichen Befunde, aber die psychiatrische Diagnose einer «dysphorischen Reaktion mit depressiver Tendenz und ängstlichen Somatisierungen». In der Wohnung wurden im Januar 1999 von einer lokalen Behörde Magnetfeldbelastungen zwischen 0,5 und 0,6  $\mu\text{T}$  gemessen, ausserhalb der Wohnung ergaben sich Messwerte von 0,4 bis 0,65  $\mu\text{T}$  und elektrische Felder zwischen 11 und 26 V/m. Der 54-jährige Ehemann der Patientin gab ähnliche Beschwerden an, zusätzlich Schmerz- und Schwindelepisoden, die ebenfalls medizinisch nicht erklärt waren und sich auf die Wohnumgebung beschränkten. Nach dem Umzug in eine andere Wohnung ohne Freileitungen in der Nachbarschaft verschwanden die Beschwerden bei beiden Personen. Der Autor schlägt ein landesweites Archiv für EHS-Fälle und interdisziplinäre Beratungsstellen für Betroffene vor.

In dem bereits erwähnten umweltmedizinischen Beratungsprojekt in der Schweiz (Huss et al. 2005) wird eine Person beschrieben, die beim Aufenthalt im oberen Stockwerk ihrer zweistöckigen Wohnung Symptome wie Herzklopfen, Schlafstörungen und Kopfschmerzen entwickelt. Es gab keine medizinischen oder psychologischen Befunde, die die Beschwerden hätten erklären können. Als Ursache vermutete die Person eine Mobilfunkbasisstation, die sich auf dem Dach des Nachbarhauses in einer Entfernung von ca. 5 bis 7 m befand. Im Schlafzimmer wurde eine von der Basisstation ausgehende Hochfrequenzbelastung von bis zu 2,25 V/m gemessen. In den anderen Räumen der Wohnung war die Belastung mit 0,38 bis 0,55 V/m niedriger. Durch die Verlegung des Schlafraums in die untere Etage liessen sich die Beschwerden reduzieren. Da sich die Beschwerden nach Inbetriebnahme der Basisstation entwickelt hatten und im ursprünglichen Schlafzimmer eine potenziell relevante Belastung bestand, beurteilte das interdisziplinäre Team der Beratungsstelle es als plausibel, dass die Beschwerden durch die EMF-Belastung verursacht waren.

Ein weiterer Einzelfallbericht betrifft einen 42-jährigen Geschäftsmann aus Saudi-Arabien, dessen Hörvermögen auf dem rechten Ohr seit 3 Monaten abgenommen hatte (Al-Dousary 2007). Ausserdem berichtete er im Zusammenhang mit der Mobiltelefonbenutzung über Hautbrennen und dumpfe Schmerzen im Bereich des rechten Ohres. Er benutzte sein Mobiltelefon ungefähr 90 Minuten pro Tag und fast ausschliesslich am rechten Ohr. Die Beschwerden traten einige Minuten nach dem Beginn des Telefonats auf und verschwanden ungefähr eine Stunde nach Gesprächsende wieder. Gelegentlich traten auch Kopfschmerzen auf. Bei der Benutzung von Festnetztelefonen war der Mann beschwerdefrei. Allergien oder andere Krankheiten waren nicht bekannt. Die klinische Untersuchung inklusive Audiometrie ergab einen geringgradigen Hörverlust auf dem rechten Ohr (25 dB), ansonsten keine Auffälligkeiten. Zwei weitere Audiometrien im Abstand von drei Monaten zeigten einen fortschreitenden Hörverlust auf der rechten Seite. Nachdem der Patient seine Gewohnheiten geändert hatte und das

Mobiltelefon mehrheitlich ans linke Ohr hielt, verbesserte sich das rechtsseitige Hörvermögen wieder, und das Hörvermögen des linken Ohres nahm ab. Drei Monate später, nach einem erneuten Wechsel zum rechten Ohr, war der Befund auf der rechten Seite wieder verschlechtert. In den nächsten sechs Monaten beschränkte der Patient seinen Mobiltelefongebrauch auf 15 Minuten pro Tag und benutzte eine Freisprechanlage. Die Kontrolluntersuchung nach zwei Jahren ergab eine leichte Verbesserung des rechtsseitigen Hörvermögens. Die Autoren empfehlen eine prospektive Studie, um das Hörvermögen vor, während und nach der Mobiltelefonexposition zu dokumentieren und den langfristigen Verlauf zu untersuchen.

Eine Neurologin aus Deutschland berichtet über einen 55-jährigen Feinmechaniker, der verschiedene Beschwerden auf hochfrequente Expositionen von Mobilfunk- und anderen Sendeanlagen innerhalb und ausserhalb seines Wohn- resp. Arbeitsortes zurückführte (Aschermann 2011). Ebenfalls als symptomauslösend bezeichnete er Mobil- und Schnurlostelefone, WLAN-Anlagen und diverse elektrische Geräte. Bei der Beantwortung eines Fragebogens mit 84 Symptomen gab er 46 Symptome als «oft» oder «häufig» auftretend an. Dazu gehörten Hautveränderungen, Schlafstörungen, kognitive Defizite, Schmerzen, Übelkeit, Bluthochdruck und Darmblutungen. Die Hautveränderungen waren teilweise verbrennungsähnlich. Zusätzlich bestand bei dem Patienten eine als Berufskrankheit anerkannte Chemikalienunverträglichkeit, die bereits 20 Jahre zuvor zu einer Umschulung zum Maschinenbautechniker geführt hatte. Im Jahr 2009 wurde wegen der aktuellen Beschwerden eine Arbeitsunfähigkeit attestiert. Die EMF-Belastung am Arbeitsplatz und zu Hause wurde einmal gemessen, die Messwerte werden aber nicht zum Auftreten oder zum Ausmass von Beschwerden in Beziehung gesetzt. Die medizinischen Abklärungen ergaben offenbar keine Erklärung für die Symptome. Allerdings lehnte der Patient ein geplantes Kernspintomogramm ab und beendete den Aufenthalt in einer psychosomatischen Rehabilitationsklinik bereits nach 4 Stunden. Als Grund nannte er eine Chemikalienbelastung in der Klinik und Funkbelastung durch Mobiltelefone oder WLAN von Mitpatienten. Seinen regelmässigen Alkohol- und Nikotinkonsum setzte er fort (durchschnittlich 1 Bier und 10 bis 20 Zigaretten pro Tag). Die Autorin stellt die Verdachtsdiagnose einer Elektrosensibilität bei vorbestehender Chemikalienunverträglichkeit. Der Auslöser für die verbrennungsartigen Hautveränderungen sei unklar.

Genius und Lipp 2011 schildern in ihrer Übersichtsarbeit den Fall einer 35-jährigen Patientin, bei der nach dem Umzug in ein neu renoviertes Haus innerhalb von 3 Wochen zunehmende Müdigkeit, Muskelschmerzen, Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit, Ängstlichkeit und uncharakteristische Gedächtnisstörungen auftraten. Im weiteren Verlauf kamen starke Kopfschmerzen, Übelkeit, Nachtschweiss, Muskelschwäche und Gewichtsverlust hinzu. Umfassende medizinische Untersuchungen ergaben keine erklärende Diagnose. Die Patientin stellte fest, dass die Beschwerden abnahmen, wenn sie auf Reisen war, und nach der Rückkehr wieder zunahmen. Sie beobachtete auch einen Zusammenhang mit dem Aufenthalt in der Nähe von Leuchtstofflampen, Mikrowellenherden und Küchengeräten. Versuche, die EMF-Exposition zu verringern, führten nicht zum Erfolg. Zusätzlich berichtete die Patientin über hartnäckige Atemwegserkrankungen bei ihren beiden Kindern und ihrem Ehemann. Weitere Abklärungen ergaben eine Chemikalienbelastung durch Farbe an zahlreichen Stellen des Hauses. Zusätzlich befand sich ein Elektrizitätswerk in der Nähe des Hauses. Nach

einem erneuten Umzug in ein älteres Haus, das in der Nähe eines Naturschutzgebiets lag, gingen die Symptome zurück. Nachdem die Patientin zusätzliche Massnahmen zur Reduktion der EMF-Belastung ergriffen hatte (z. B. kabelgebundenes Internet und Netzfreisalter), verbesserte sich ihr Gesundheitszustand so weit, dass sie ihre Alltagsaktivitäten wieder aufnehmen konnte. Unter den Bedingungen der reduzierten Chemikalien- und EMF-Belastung war ihr Gesundheitszustand auch 13 Jahre später stabil.

## 6.1 Bewertung der Einzelfallberichte

Gut dokumentierte Einzelfallberichte enthalten wichtige medizinische Informationen und haben auch historisch gesehen zum Fortschritt der Medizin beigetragen. Im Gegensatz zu epidemiologischen oder toxikologischen Studien erfassen sie den seltenen, ungewöhnlichen Fall, der mit statistischen Methoden möglicherweise unentdeckt bleiben würde. Sie verfolgen also einen individualmedizinischen Ansatz, bei dem die behandlungsbedürftige Einzelperson mit ihren spezifischen Beschwerden und Bedürfnissen im Vordergrund steht. Dies entspricht der Situation in einer ärztlichen Praxis, in der es ausschliesslich um das Individuum und die Verbesserung seiner Gesundheit geht. Bei der Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz geht es dagegen darum, anhand von Studien und statistischen Tests Erkenntnisse über Krankheitsursachen oder Risiken zu gewinnen und daraus allgemein gültige Schlussfolgerungen für die Gesundheit ganzer Bevölkerungsgruppen abzuleiten. Diese beiden Ansätze ergänzen einander, sind aber nicht direkt kompatibel.

Daher ist die Berücksichtigung von Einzelfallberichten bei der Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz anhand der GRADE-Methode nicht vorgesehen. Grundsätzlich lassen sich aber die gleichen Qualitätskriterien anwenden wie bei experimentellen oder epidemiologischen Studien. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die entscheidende Frage, inwiefern die beobachteten Gesundheitsprobleme durch andere Faktoren als EMF-Expositionen verursacht werden können (Bias-Risiko). Zudem ist eine Häufung von gleichartigen Beobachtungen (Konsistenz) eher ein Indiz für einen Zusammenhang, obwohl natürlich nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich das Phänomen EHS individuell sehr unterschiedlich manifestiert.

Eine entscheidende Schwäche von Fallberichten ist, dass meistens sowohl die Angaben zur Exposition als auch zur Symptomatik auf Angaben der Probanden beruhen, also nicht objektiv gemessen wurden. Zudem kannten die Personen in den meisten Fällen ihre Expositionssituation. Dies ist problematisch, weil Studien zum Placebo- bzw. Nozebo-Effekt gezeigt haben, dass durch entsprechende Erwartungen nicht nur das Auftreten von Symptomen, sondern auch biologische Prozesse beeinflusst und messbare physiologische Veränderungen induziert werden können (de Vocht 2010). Ein weiteres Problem ist, dass gerade bei sehr kurz gehaltenen Beschreibungen mehrerer Fälle wie zum Beispiel in der Publikation von Hocking 1998 keine anderen Einflüsse wie Umweltfaktoren oder Vorerkrankungen erfasst und bei der Interpretation berücksichtigt wurden. Daher ist bei Fallbeschreibungen – im Gegensatz zum Einzelfallexperiment – grundsätzlich von einem hohen Bias-Risiko auszugehen.

Bezogen auf den konkreten Fall einer Person mit EHS-Beschwerden spielt dieses Bias-Risiko eine untergeordnete Rolle. Aus individualmedizinischer Sicht geht es darum, für diese Person die Plausibilität eines Kausalzusammenhangs zu beurteilen. Dabei sind zeitliche und örtliche Übereinstimmungen zwischen der Exposition und dem Auftreten der Beschwerden von entscheidender Bedeutung. Zudem sollten andere Ursachen für die Symptome ausgeschlossen werden können. Basierend auf dieser Plausibilitätsbeurteilung können dann spezifische Empfehlungen für die betroffene Person erarbeitet werden.

Wenn es dagegen um die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz für oder gegen einen Zusammenhang geht, ist die Aussagekraft von Kasuistiken selbst dann limitiert, wenn es wahrscheinlich erscheint, dass die Person ihre Expositionssituation nicht kannte und die Expositionssituation von einer Drittperson gut dokumentiert wurde. Denn es besteht immer die Gefahr, dass nur diejenigen Einzelfälle weiter verfolgt werden, bei denen ein Zusammenhang zwischen Exposition und Symptomatik beobachtet wurde, andere Einzelfälle aber nicht. Da die Anzahl der nicht weiter verfolgten Einzelfälle unbekannt ist, kann nicht statistisch abgeschätzt werden, ob die Fälle mit Assoziationen häufiger aufgetreten sind als zufällig zu erwarten. Dies lässt sich an einem hypothetischen Beispiel verdeutlichen: Wenn man annimmt, dass pro Monat beispielsweise bei 1 % der Schweizer Gesamtbevölkerung neu Schlafstörungen auftreten und gleichzeitig auch 1 % der Bevölkerung neu einer EMF-Exposition ausgesetzt werden, zum Beispiel durch eine neue Basisstation oder eine WLAN-Installation in der Wohnung, ist zu erwarten, dass beide Veränderungen gleichzeitig bei 0,01 % der Gesamtbevölkerung auftreten. Pro Monat wäre also mit circa 700 solcher zufällig auftretenden Übereinstimmungen zu rechnen und pro Jahr mit 8400. Anhand einer Einzelfallbeschreibung lässt sich nicht beurteilen, ob es sich bei diesem spezifischen Fall um eine zufällige auftretende Übereinstimmung zwischen Symptom und Exposition handelt oder nicht.

Aus individualmedizinischer Sicht spielt diese Unsicherheit eine untergeordnete Rolle, aber aus wissenschaftlicher Sicht können falsch positive Assoziationen zu falschen Schlussfolgerungen mit gravierenden Konsequenzen für ganze Bevölkerungen führen. Daher dienen Einzelfallberichte in der Wissenschaft in erster Linie der Entwicklung von Hypothesen, die in experimentellen oder epidemiologischen Studien überprüft werden müssen. Sie können aber möglicherweise Hinweise auf einzelne Personen mit erhöhter Empfindlichkeit geben.

Durch individuelle Messung der entsprechenden EMF-Belastung und Dokumentation der zeitlichen und räumlichen Zusammenhänge, wie sie beispielsweise von Huss et al. 2005 beschrieben werden, steigt die Aussagekraft von Fallbeschreibungen. Ideal wären Messungen über einen längeren Zeitraum, um Aufschluss über durchschnittliche Belastungen und Spitzenwerte zu erhalten. Damit kommt man einem experimentellen Ansatz relativ nahe, und das Bias-Risiko kann etwas vermindert werden. Im Gegensatz zum experimentellen Ansatz kann jedoch bei einem solchen Vorgehen die Randomisierung und Verblindung nicht vollkommen sichergestellt bzw. kontrolliert werden.

Gesamthaft lässt sich feststellen, dass die Fallberichte, welche die üblichen Qualitätsanforderungen an eine medizinische Kasuistik erfüllen und wissenschaftlich publiziert

---

wurden, nicht zum besseren Verständnis beitragen, ob EMF-Expositionen die Beschwerden bei EHS-Personen verursachen. Die berichteten Symptome und Auslöser sind sehr heterogen. Bevor man daraus schliessen kann, dass das Beschwerdebild und die Empfindlichkeit individuell sehr unterschiedlich sind, müssten entsprechende Beobachtungen mit einem experimentellen Ansatz nachvollzogen werden können. Dabei wären Einzelfallexperimente mit wiederholter Testung einer EHS-Person unter Doppelblindbedingungen und kontrollierten Expositionen aufschlussreicher als experimentelle Studien mit grösseren Teilnehmergruppen. Ideal wäre eine wiederholte Testung der Einzelperson in ihrer gewohnten Umgebung mit möglichst genauer Expositionsmessung. Wenn in einem solchen Versuchsansatz die Existenz von einzelnen Personen mit erhöhter Empfindlichkeit gegenüber EMF zweifelsfrei nachgewiesen werden könnte, wäre auch aus wissenschaftlicher Sicht eine Neuurteilung erforderlich. Ein weiteres Indiz für EHS wäre eine generelle Zunahme der entsprechenden Symptome in der Bevölkerung parallel mit der Implementierung entsprechender EMF-Quellen in der Umwelt («ökologische Studien»). Solche Untersuchungen liegen aber bisher nicht vor.

## 7 > Charakterisierung von EHS-Personen

---

Es ist zweifelsfrei dokumentiert worden, dass EHS-Personen mehr gesundheitliche Beschwerden haben als andere Personen (z. B. Frick et al. 2002, Nieto-Hernandez et al. 2011, Rööslü und Hug 2011, Rööslü et al. 2011). Dies ist schon deshalb zu erwarten, weil sich nur Personen mit Gesundheitsbeschwerden überhaupt als hypersensibel deklarieren können. Auch in einer Befragung von 88 EHS-Personen und 261 Kontrollpersonen aus Grossbritannien schätzten die EHS-Personen ihre Gesundheit statistisch signifikant schlechter ein als die Kontrollpersonen (Eltiti et al. 2007b). Zudem bestanden bei 32 % der EHS-Personen chronische Erkrankungen, aber nur bei 14,6 % der Kontrollpersonen ( $p < 0,01$ ).

Die in diesem Kapitel zusammengefassten Studien betreffen die Frage, ob sich Personen mit EHS auch hinsichtlich physiologischer oder psychischer Parameter von der restlichen Bevölkerung unterscheiden. Dazu wurden in diesen Studien verschiedene Herz-Kreislaufparameter, die elektrische Leitfähigkeit der Haut, hormonelle Veränderungen oder andere Parameter im Blut untersucht. Einige Studien betrafen auch die Wahrnehmungsschwelle oder die Reizverarbeitung im Gehirn bei Stromreizen oder bei Impulsen der transkraniellen Magnetstimulation. In all diesen Studien geht es nicht darum herauszufinden, ob allfällige Unterschiede auf die EMF-Belastung zurückzuführen sind, sondern ob es Unterschiede zwischen Personen mit und ohne EHS gibt. Solche «Gruppenvergleiche» wurden sowohl in beobachtenden als auch in experimentellen Studien vorgenommen.

In den experimentellen Studien erfolgte der Gruppenvergleich meistens durch eine Messung der physiologischen Parameter **vor** der eigentlichen Testung oder während des Experiments, indem entweder nur die Scheinexposition betrachtet wurde oder der Expositionseffekt mit statistischen Methoden eliminiert wurde (z. B. durch Varianzanalyse). Obwohl in keiner dieser Analysen allfällige Gruppenunterschiede durch die Expositionsbedingung verursacht sein können, ist diese Unterscheidung für die Interpretation der Ergebnisse von Bedeutung: Wenn Probanden in einem doppelblinden Experiment nicht wussten, ob sie gerade exponiert waren oder nicht, ist das Auftreten von Nozebo-Effekten möglich. Bei einer Untersuchung **vor** dem eigentlichen Experiment, wenn die Probanden wussten, dass noch keine experimentelle EMF-Exposition erfolgte, können Nozebo-Effekte ausgeschlossen werden.

In beobachtenden Studien wurden im Allgemeinen weder zusätzliche EMF-Belastungen erzeugt, noch wurden Anstrengungen unternommen, diese zu minimieren. Die Erhebung der Zielgrössen erfolgte also üblicherweise bei alltagstypischen EMF-Belastungen, und es kann folglich nicht evaluiert werden, ob allfällige Unterschiede auf diese chronische EMF-Belastung zurückzuführen sind oder ob sie konstitutionelle Unterschiede unabhängig von EMF repräsentieren. Die Studien in diesem Kapitel können Hinweise liefern, ob und welche physiologischen Prozesse für das beobachtete schlechtere Befinden von EHS-Personen relevant sein könnten. Dies ist im Hinblick auf die Frage wichtig, ob EMF eine ursächliche Rolle bei der Entstehung von EHS

spielen. Ausserdem kann aus diesen Studien möglicherweise abgeleitet werden, ob und wie EHS allenfalls objektiv diagnostiziert werden kann und welche therapeutischen Ansätze hilfreich sein könnten.

## 7.1 Beobachtende Studien

Erste Hinweise auf neurophysiologische Unterschiede zwischen Personen mit und ohne EHS ergaben Studien aus den 1990er Jahren an Patienten, die diverse Hautsymptome auf ihre Bildschirmarbeit im Büro zurückführten (u.a. Sandström et al. 1997). Die Resultate deuteten teilweise auf Unterschiede zwischen den Personengruppen hin, z. B. bezüglich der visuell evozierten Potenziale.

In einer schwedischen Studie verglichen die Autoren in der Basiserhebung ohne EMF-Exposition verschiedene neurophysiologische Parameter von 20 EHS- und 20 Kontrollpersonen (Lyskov et al. 2001b). Die Probanden wurden darüber informiert, dass im Testraum des Labors nur eine geringe EMF-Exposition bestand. Die physiologischen Untersuchungen ergaben eine höhere Herzfrequenz in Ruhe und eine geringere Herzfrequenzvariabilität bei EHS-Personen. Ausserdem zeigten sich ein schnellerer Beginn, grössere Amplituden und eine Links-Rechts-Asymmetrie der sympathikotonen, elektrodermalen Hautreaktionen. Die Fusionsfrequenz im Flimmerlichttest war bei EHS-Personen höher, und es bestanden tendenziell stärkere visuell evozierte Potenziale bei Stimulationsfrequenzen von 30 bis 70 Hz. Insgesamt wurden in der EHS-Gruppe Trends zu erhöhtem Sympathikotonus sowie zu Hyperreaktivität auf sensible Reize und zu erhöhter allgemeiner Erregbarkeit beobachtet.

In einer weiteren Studie aus Schweden erhielten 14 EHS-Patienten und 14 Kontrollpersonen ein tragbares Gerät zur Aufzeichnung des Elektrokardiogramms (EKG) über 24 Stunden (Sandström et al. 2003). Sie trugen das EKG-Gerät während eines normalen Arbeitstags und füllten ein Aktivitätstagebuch aus. Gleichzeitig wurde die Magnetfeldbelastung im Alltag gemessen (40 bis 800 Hz, Median in der EHS-Gruppe  $0,05 \mu\text{T}$ , in der Kontrollgruppe  $0,06 \mu\text{T}$ ). Die EKG-Auswertungen ergaben insgesamt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Mittelwerte aller 6 Parameter der Herzfrequenzvariabilität waren in der EHS-Gruppe etwas höher. Beim Vergleich der einzelnen Komponenten der Herzfrequenzvariabilität zeigte sich in der EHS-Gruppe ein statistisch signifikant geringerer Anstieg der Hochfrequenzkomponente während der Nacht. Da die Hochfrequenzkomponente die Parasympathikusaktivität repräsentiert, wurde diese Beobachtung als Störung des Tag-Nacht-Rhythmus des autonomen Nervensystems interpretiert. Die subjektive Schlafqualität war nicht beeinträchtigt.

Eine Studie von Hardell et al. 2008 evaluierte die Blutkonzentration von persistenten organischen Schadstoffen (POP) bei 13 Frauen mit EHS und 21 Frauen ohne EHS. Von 12 getesteten POP-Parametern waren 2 Werte in der EHS-Gruppe statistisch signifikant höher und 3 signifikant niedriger. Für die Summe der polychlorierten Biphenyle und die Summe der Chlordane bestanden keine Unterschiede. Die Aussagekraft der Resultate ist wegen der kleinen Gruppengrössen, der vielen statistischen Tests

und des Altersunterschieds zwischen den Gruppen (Median: 53 Jahre in EHS-Gruppe, 45 Jahre in Kontrollgruppe) gering.

Eine Querschnittsbefragung von Rubin et al. 2008 betraf Personen, die an einer experimentellen Studie zum Auftreten von Beschwerden bei der Exposition gegenüber einem Mobiltelefon teilnahmen (vgl. Rubin et al. 2006). Verglichen wurde neben dem Gesundheitszustand auch die Mobiltelefonbenutzung von Personen mit und ohne EHS. Die Probanden wurden in 3 Gruppen eingeteilt: 1) Personen, die sich selbst als elektrosensibel bezeichneten (EHS-Gruppe), 2) Personen, die sich nicht als elektrosensibel bezeichneten, bei denen aber in den ersten zwanzig Minuten der Mobiltelefonbenutzung unspezifische Beschwerden, zum Beispiel Kopfschmerzen, auftraten (MP-Gruppe), und 3) Kontrollpersonen ohne Symptome im Zusammenhang mit Mobiltelefonen. Zur Auswertung kamen die Daten von 60 Probanden ohne Empfindlichkeit gegenüber Mobiltelefonen und 71 Probanden mit Beschwerden. Von den Personen mit Symptomen bezeichneten sich 19 als elektrosensibel (EHS-Gruppe), die übrigen 52 hatten nur bei der Mobiltelefonbenutzung Beschwerden (MP-Gruppe). Die Dauer oder Häufigkeit der Mobiltelefonbenutzung unterschied sich nicht signifikant zwischen den drei Gruppen. EHS-Personen hatten signifikant höhere Punktwerte auf der Depressionskala PHQ-9 als die beiden anderen Gruppen ( $p=0,001$ ), schätzten ihren Gesundheitszustand insgesamt schlechter ein ( $p<0,05$ ), gaben mehr Symptome an ( $p<0,05$ ) und machten sich mehr Sorgen wegen Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf die Gesundheit ( $p<0,001$ ). Eingeschränkt wird die Aussagekraft der Ergebnisse dadurch, dass die EHS-Personen im Mittel circa 14 Jahre älter waren als die beiden anderen Gruppen. Soweit aus der Publikation hervorgeht, wurde der Einfluss des Alters in den statistischen Auswertungen nicht berücksichtigt.

Im Rahmen des Deutschen EMF-Forschungsprogrammes wurden Blutwerte von 132 EHS-Personen und 101 Kontrollpersonen mit passendem Geschlecht, Alter und Body Mass Index analysiert (Dahmen et al. 2009, Ghezel-Ahmadi et al. 2010). Bei der Rekrutierung füllten die Probanden die «Regensburger Liste für EMF-Beschwerden» (Frick et al. 2002) aus. Wenn sie mindestens 14 Punkte erreichten, galten sie als EHS-Personen.

Die Publikation von Dahmen et al. 2009 enthält Ergebnisse zu 20 Parametern wie schilddrüsenstimulierendem Hormon (TSH), Alanin-Transaminase (ALT), Aspartat-Transaminase (AST), Kreatinin, Hämoglobin, Hämatokrit, C-reaktives Protein (CRP), Natrium, Chlorid, Kalium und Zellzahlen im Blut. Die Mittelwerte in beiden Gruppen unterschieden sich für die Parameter ALT, AST, Natrium und Chlorid statistisch signifikant. In der geschlechterspezifischen Analyse zeigte sich, dass nur bei Frauen mit EHS diese vier Parameter signifikant höher waren als in der Kontrollgruppe. Für Männer bestanden keine Unterschiede. Alle Mittelwerte lagen (für beide Gruppen und beide Geschlechter) innerhalb der jeweiligen Referenzbereiche. Einen TSH-Wert unterhalb des Referenzbereichs hatten 6,1 % der EHS- und 0,9 % der Kontrollpersonen ( $p=0,042$ ). Der ALT-Wert lag bei 20,9 % der EHS-Personen und bei 11 % der Kontrollpersonen über dem Referenzbereich. Hinsichtlich der Nierenfunktion oder der Blutzusammensetzung zeigten sich bei EHS-Personen keine Auffälligkeiten (z. B. Anämie). Die Auswertungen von Ghezel-Ahmadi et al. 2010 betreffen die Schwermetallkonzentrationen im Blut und ergaben in der Kontrollgruppe statistisch signifikant

höhere Durchschnittswerte für Kadmium als in der EHS-Gruppe, auch bei getrennter Auswertung von Rauchern und Nichtrauchern. Für Blei und Quecksilber bestanden keine signifikanten Differenzen.

Eine weitere Querschnittsstudie evaluierte die Häufigkeit unspezifischer Beschwerden und psychischer Symptome wie Angst und Depression bei Personen mit allgemeiner EHS und bei Personen, die ihre Beschwerden speziell auf Mobiltelefone zurückführten (Johansson et al. 2010). Rekrutiert wurden Personen, die sich selbst als hypersensibel gegenüber EMF bezeichneten. Danach wurde gefragt, bei der Benutzung welcher Geräte die Beschwerden auftraten. Wenn die Probanden angaben, dass die Symptome nur bei der Benutzung von Mobiltelefonen auftraten, wurden sie dieser Untergruppe zugeteilt. Personen mit allgemeiner EHS betrachteten auch andere Geräte als ursächlich für ihre Beschwerden. Die Häufigkeit dieser Symptome wurde zwischen diesen beiden Gruppen sowie mit derjenigen in einer zufällig ausgewählten Bevölkerungsstichprobe und in einer gesunden Kontrollgruppe verglichen. Ausgewertet wurden Daten von 45 Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden und 71 Personen mit genereller EHS. Die Bevölkerungsstichprobe wurde aus dem Einwohnerregister zufällig ausgewählt und bestand aus 106 Personen mit passendem Alter und Geschlecht. Die gesunde Kontrollgruppe bildeten 63 Personen ohne EMF-bezogene Beschwerden aus dieser Stichprobe. Die Auswertungen ergaben, dass Personen mit mobiltelefonbezogenen Symptomen häufiger über Beschwerden im Bereich des Kopfes, beispielsweise Wärmegefühl am Ohr, Brennen und Prickeln auf der Haut berichteten. Personen mit allgemeiner EHS gaben dagegen eher allgemeine neurasthenische Beschwerden wie Müdigkeit, Konzentrationsstörungen und Schwindel an. Insgesamt bestand bei Personen mit EHS ein höheres Niveau an Ängstlichkeit, Depression, Somatisierung und Erschöpfung als in der Allgemeinbevölkerung oder in der gesunden Kontrollgruppe. Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden erzielten höhere Punktwerte auf den Skalen für Erschöpfung und Depression, aber nicht für Ängstlichkeit und Somatisierung. Bezüglich des Stress-Aufkommens bestanden keine Unterschiede zwischen den Gruppen mit Beschwerden und den Kontrollgruppen. Insgesamt unterschied sich die EHS-Gruppe in mehr Aspekten signifikant von den Referenzgruppen als die Gruppe mit rein mobiltelefonbezogenen Beschwerden. Anzumerken ist, dass sich in der Gruppe mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden mehr Männer befanden als in der generellen EHS-Gruppe oder in den beiden Referenzgruppen, und dass das Durchschnittsalter niedriger war. Der Anteil an Rauchern war in beiden Referenzgruppen grösser als in den Fallgruppen.

In einer Reihe von Studien wurde die Wahrnehmungsschwelle oder die Reizverarbeitung im Gehirn bei Stromreizen oder Impulsen der transkraniellen Magnetstimulation untersucht. Obwohl dies experimentell geschah, ist das Design dieser Studien beobachtend, da die Stromreizung oder transkranielle Magnetstimulation in diesem Studien nicht als experimentelle Expositionsintervention eingesetzt wird, sondern als Messinstrument für einen physiologischen Parameter analog zu einer Blutdruckmessung oder einer Befragung zum Befinden.

Frick et al. 2005 bestimmten in einer Pilotstudie bei EHS-Personen und bei zwei Kontrollgruppen mit und ohne Beschwerden mittels transkranieller Magnetstimulation die individuelle Wahrnehmungsschwelle. Dabei wurden am Kopf der Probanden

einzelne Magnetfeldimpulse in aufsteigender Stärke ausgelöst. Die Prozedur erfolgte bei jedem Probanden zweimal, einmal mit einer richtigen Magnetspule und einmal mit einem Scheingerät. Der Schwellenwert für die Feldwahrnehmung unterschied sich zwischen den drei Gruppen nicht signifikant. Die Fähigkeit, zwischen Stimulation und Scheinstimulation zu unterscheiden, war dagegen in der EHS-Gruppe wegen der häufigeren Fehlalarme bei Scheinstimulation statistisch signifikant schlechter als in den beiden Kontrollgruppen ( $p=0,007$ ). Am besten gelang die Differenzierung in der Kontrollgruppe mit starken Beschwerden. Der objektiv messbare Schwellenwert für die Auslösung einer motorischen Reaktion unterschied sich zwischen den drei Gruppen nicht signifikant.

In einer anderen Studie aus Deutschland wurde die transkranielle Magnetstimulation (TMS) eingesetzt, um Unterschiede in der Erregbarkeit der Grosshirnrinde von Personen mit und ohne EHS unabhängig von EMF zu evaluieren (Landgrebe et al. 2007). Verglichen wurden 23 Personen mit EHS und zwei Kontrollgruppen aus einer repräsentativen Zufallsstichprobe der Bevölkerung von Regensburg. Die erste Kontrollgruppe bestand aus 23 Personen mit einem hohen Mass an unspezifischen Beschwerden ohne Zusammenhang mit EMF, die zweite aus 26 Personen mit wenig oder keinen Beschwerden. Neben den Schwellenwerten für motorische Reaktionen wurden motorisch-evozierte Potenziale am Kleinfingermuskel gemessen. Die Schwellenwerte unterschieden sich zwischen den drei Gruppen nicht signifikant. Bei Magnetstimulation mit Intervallen von 2 und 6 ms ergaben sich keine Unterschiede bezüglich der intrakortikalen Hemmung. Die intrakortikale Bahnung als Mass für die Erregbarkeit der Grosshirnrinde war dagegen bei Stimulationsintervallen von 15 ms in der Gruppe der Hypersensiblen signifikant geringer als in den beiden anderen Gruppen. Die Resultate könnten gemäss den Autoren auf eine geringere Anpassungsfähigkeit der Grosshirnrinde von EHS-Personen hindeuten.

Eine Nachfolgestudie der selben Autoren mit 89 EHS- und 107 Kontrollpersonen betraf die Fähigkeit, reale Impulse einer transkraniellen Magnetstimulation von Scheinimpulsen zu unterscheiden (Landgrebe et al. 2008a). Dazu wurde eine Magnetspule über den Kopf der Probanden gehalten (linker dorsolateraler Präfrontalkortex). Die Intensität der magnetischen Impulse wurde in Schritten von 3 % bis zu einem Maximum von ungefähr 1,8 T gesteigert. Die Testpersonen waren darüber informiert, dass 50 % der Impulse real waren und die andere Hälfte nur aus einem akustischen Klickgeräusch bestand. Bei einer Gesamtzahl von 19 Scheinstimulationen lag der Anteil an Fehlalarmen in der EHS-Gruppe bei 60 % und in der Kontrollgruppe bei 40 %. Die Wahrnehmungsschwelle für reale Magnetimpulse war dagegen in beiden Gruppen ähnlich: In der EHS-Gruppe lag der Median bei 21 % der maximalen Impulsintensität, in der Kontrollgruppe bei 24 %. Die Fähigkeit, die beiden Bedingungen zu unterscheiden, war in der EHS-Gruppe geringer ausgeprägt als bei den Kontrollpersonen ( $p=0,01$ ). Ebenfalls untersucht wurden Parameter der kortikalen Erregbarkeit (motorisch evozierte Potenziale). Bei einer Gesamtzahl von 19 Scheinstimulationen zeigten sich kleine, aber statistisch signifikante Unterschiede in der Erregbarkeit der Grosshirnrinde, die innerhalb der EHS-Gruppe nicht einheitlich waren: Bei EHS-Personen unter 45 Jahren war die Bahnung geringer, bei älteren EHS-Personen stärker als in der Kontrollgruppe.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Teilnehmer auch nach psychischen oder körperlichen Erkrankungen, Schlafstörungen und nach dem Auftreten von Tinnitus gefragt (Landgrebe et al. 2009). Beantwortet wurde der Fragebogen von 69 EHS-Personen (77,5 %) und 80 Kontrollpersonen (74,8 %). In der EHS-Gruppe waren Depressionen, Angststörungen und somatoforme Erkrankungen statistisch signifikant häufiger als in der Kontrollgruppe. Zudem berichteten EHS-Personen über mehr körperliche Symptome und eine schlechtere Schlafqualität. Auch Tinnitus wurde von EHS-Personen signifikant häufiger angegeben als von Kontrollpersonen (50,7 % vs. 17,5 %,  $p < 0,0001$ ). Bei beiden Gruppen stand das Tinnitusrisiko nicht in Verbindung mit dem Ausmass der Mobiltelefonbenutzung.

Ziel der Studie von Schröttner et al. 2007 war der Vergleich von drei Gruppen mit EHS und einer Kontrollgruppe hinsichtlich ihrer Fähigkeit, einen elektrischen Strom wahrzunehmen. Die erste EHS-Gruppe bestand aus Mitgliedern einer Selbsthilfegruppe für Elektrosensible ( $n=37$ ), die zweite setzte sich aus Personen zusammen, die auf ein entsprechendes Zeitungsinserat reagiert oder sich bei der schwedischen Umweltbehörde gemeldet hatten ( $n=29$ ). In der dritten Gruppe befanden sich 24 Personen, die ihre schweren Schlafstörungen auf Mobilfunkbasisstationen zurückführten. Als Vergleichskollektiv dienten 708 Personen aus einer repräsentativen Stichprobe der österreichischen Allgemeinbevölkerung. Die Stimulation bestand aus einem elektrischen Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz, der abwechselnd jeweils an einem Unterarm appliziert wurde. Die Reihenfolge der stimulierten Seite war zufällig. Die Stromstärke wurde so lange linear gesteigert, bis die Probanden den Strom wahrnahmen und auf einen Stoppschalter drückten. Wegen der niedrigeren Wahrnehmungsschwelle von Frauen im Vergleich zu Männern wurden die beiden Geschlechter zuerst getrennt analysiert. Die Resultate der Frauen wurden danach durch 0,77 geteilt, um die Ergebnisse der verschiedenen Kollektive vergleichbar zu machen. Die Medianwerte der Wahrnehmungsschwellen lagen für die Stichprobe der Allgemeinbevölkerung bei  $313 \mu\text{A}$ , für die erste EHS-Gruppe bei  $321 \mu\text{A}$ , für die zweite und dritte EHS-Gruppe bei 188 respektive  $121 \mu\text{A}$ . Während sich die Wahrnehmungsschwelle der ersten EHS-Gruppe nicht von der Allgemeinbevölkerung unterschied, lagen die Wahrnehmungsschwellen der beiden anderen EHS-Gruppen signifikant niedriger. Bei dieser Studie stellt sich die Frage, inwiefern das Resultat dadurch beeinflusst wurde, dass die Intensität der Exposition immer zunahm. Falls die EHS-Personen mehr falsch-positive Antworten gegeben haben, wie das in Studien mit transkranieller Magnetstimulation beobachtet wurde, könnte auch dies die niedrigere Wahrnehmungsschwelle erklären. Die Autoren erwähnen zwar, dass sie Schätzungen ausgeschlossen haben, wenn die Variabilität zu gross war, weil das auf reines Raten hindeuten könnte. Der dabei verwendete Algorithmus bzw. die Beurteilungskriterien werden aber nicht beschrieben, und es ist zu erwarten, dass kein solcher Algorithmus perfekt funktioniert.

**Tab. 13 > Beobachtende Studien zu physiologischen oder psychischen Parametern bei EHS- und Kontrollpersonen ohne EMF-Exposition.**

Referenz	Kollektive, Durchschnittsalter	Zielgrösse(n)	Signifikanter Unterschied zwischen EHS- und Kontrollpersonen	Kein signifikanter Unterschied zwischen EHS- und Kontrollpersonen	Bemerkungen
Lyskov et al. 2001b	20 EHS, Frauen: 55 %, 47 Jahre  20 Nicht-EHS, Frauen: 60 %, 44 Jahre	Blutdruck, Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, elektrodermale Aktivität, Atmung, kritische Fusionsfrequenz im Flimmerlichttest, Hirnströme (EEG), visuell evozierte Potenziale	Herzfrequenz in Ruhe ↑, Herzfrequenzvariabilität (SD und Ratio) ↓, Fünf von 6 Parametern der sympathikotonen Hautreaktion (3x ↑, 2x ↓)	Systolischer und diastolischer Blutdruck, Reaktionen im Atmungs- und Orthostasetest, Hirnstromaktivität (4 Frequenzbänder), visuell evozierte Potenziale (4 Stimulationsfrequenzen)	Wenig Angaben zur Vergleichbarkeit der beiden Gruppen; keine Korrektur für multiple Testung; keine Adjustierung für zusätzliche Faktoren
Sandström et al. 2003	14 EHS, Frauen: 64 %, 48,9 Jahre  14 Nicht-EHS, Frauen: 64 %, 49,6 Jahre	24-Stunden-EKG: Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität	Geringerer Anstieg der Hochfrequenzkomponente der Herzfrequenzvariabilität in der Nacht (p=0,001)	Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität (alle 6 Parameter bei EHS etwas höher), Niederfrequenzkomponente der HRV	Kleine Gruppen, Drop-out: 4 Patienten und 9 Kontrollpersonen; keine Korrektur für multiple Testung
Frick et al. 2005	30 EHS, Frauen: 77 %, 41,7 Jahre  27 Nicht-EHS mit starken Beschwerden, Frauen: 74 %, 47,5 Jahre  28 Nicht-EHS mit schwachen Beschwerden, Frauen: 21 %, 45,5 Jahre	Wahrnehmungsschwelle und Schwelle für motorische Reaktion bei transkranieller Magnetstimulation mit zunehmender Intensität der transkraniellen Magnetfeldstimulation	EHS mehr falsch positive Antworten	Wahrnehmungsschwelle und motorische Reaktionen	
Landgrebe et al. 2007	23 EHS, Frauen: 74 %, 41,3 Jahre  23 Personen mit EMF-unabhängigen Beschwerden, Frauen: 78 %, 47,2 Jahre  26 Personen ohne Beschwerden, Frauen: 23 %, 44,4 Jahre	Erregbarkeit der Grosshirnrinde (Kortex) durch transkranielle Magnetstimulation	Intrakortikale Bahnung (Stimulationsintervall: 15 ms) ↓	Schwellenwerte der kortikalen Erregbarkeit, intrakortikale Hemmung (Stimulationsintervalle: 2 und 6 ms)	Keine Korrektur für multiple Testung
Schröttner et al. 2007	37 EHS (aus Selbsthilfegruppe) Frauen: 68 %, 27–81 Jahre  29 EHS (Inserate) Frauen: 79 %, 32–63 Jahre  24 EHS mit schweren Schlafstörungen, Frauen: 63 %, 37–73 Jahre  708 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 17–60 Jahre	Wiederholte Stimulationen mit elektrischem Strom am Unterarm bis zur Wahrnehmungsschwelle, 50 Hz	Mediane Wahrnehmungsschwellen in Gruppen 2 und 3 niedriger als in Kontrollgruppe: 188 µA resp. 121 µA (p<0,001)	Mediane Wahrnehmungsschwelle in Gruppe 1 und Kontrollgruppe (321 µA und 313 µA)	

Referenz	Kollektive, Durchschnittsalter	Zielgrösse(n)	Signifikanter Unterschied zwischen EHS- und Kontrollpersonen	Kein signifikanter Unterschied zwischen EHS- und Kontrollpersonen	Bemerkungen
Landgrebe et al. 2008a	89 EHS, Frauen: 58 %, 50,5 Jahre  107 Nicht-EHS, Frauen: 63 %, 49 Jahre	Erregbarkeit der Grosshirnrinde (Kortex) durch transkranielle Magnetstimulation	EHS-Personen: < 45 J.: intrakortikale Bahnung ↓ > 45 J.: Intrakortikale Bahnung ↑  Differenzierung zwischen Magnet- und Scheinstimulation bei EHS-Personen schlechter als Nicht-EHS (p= 0,01)	Schwellenwerte der kortikalen Erregbarkeit, intrakortikale Hemmung  Wahrnehmungsschwelle für Magnetimpulse	Unterschiede sind sehr klein; gesundheitliche Relevanz unklar
Hardell et al. 2008	13 Frauen mit EHS, 53 Jahre  21 Frauen ohne EHS, 45 Jahre	12 persistente organische Schadstoffe (Konzentration im Blut)	3 Schadstoffe ↓, 2 Schadstoffe ↑	7 Schadstoffe, u.a. Summe der polychlorierten Biphenyle und Chlordane	Kleine Gruppen, inkonsistente Ergebnisse, statistische Auswertung mangelhaft
Rubin et al. 2008	19 EHS, Frauen: 58 %, 47,3 Jahre  52 Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden, Frauen: 56 %, 33,4 Jahre  60 Nicht-EHS, Frauen: 55 %, 33,5 Jahre	Psychischer und physischer Gesundheitszustand, unspezifische Symptome	Depressions-Score ↑, Einschätzung des Gesundheitszustands ↓, unspezifische Symptome ↑, Besorgnis wegen Umwelteinflüssen ↑		Durchschnittsalter in EHS-Gruppe höher als in beiden anderen Gruppen (p< 0,001)
Landgrebe et al. 2009	69 EHS, Frauen: 58 %, 50,5 Jahre  80 Nicht-EHS, Frauen: 63 %, 49 Jahre	Tinnitus	Häufigkeit von Tinnitus↑ Depressionen↑, Angststörungen↑ somatoforme Erkrankungen↑, Schlafqualität↓	Dauer und Schweregrad des Tinnitus	
Dahmen et al. 2009	132 EHS, Frauen: 68,2 %, 52 Jahre  101 Nicht-EHS, Frauen: 66,3 %, 50 Jahre	Blutwerte: Schilddrüsenstimulierendes Hormon (TSH), Alanin-Transaminase (ALT), Aspartat-Transaminase (AST), Eisen, Ferritin, Erythrozyten, Leukozyten, Thrombozyten, Hämoglobin, Hämatokrit, C-reaktives Protein (CRP), Kreatinin, Natrium, Chlorid, Kalium	Frauen in EHS-Gruppe: ALT, AST, Natrium, Chlorid↑ (alle p<0,006);  TSH < 0,3 mU/l ↑ (6,1 % EHS, 0,9 % Nicht-EHS, p= 0,042); ALT > 35 U/l ↑ (20,9 % EHS, 11 % Nicht-EHS, p= 0,045);	ALT, AST, Natrium, Chlorid bei Männern;  Eisen, Ferritin, Hämoglobin, Hämatokrit, Erythrozyten, Leukozyten, Thrombozyten, CRP, Kreatinin, Kalium, AST > 35 U/l;	Keine Korrektur für multiple Testung; potenzielle Störfaktoren in Dahmen et al. 2009 nicht berücksichtigt
Ghezal-Ahmadi et al. 2010		Blei, Kadmium, Quecksilber	Kadmium ↓ in EHS-Gruppe (Raucher und Nichtraucher)	Blei, Quecksilber	
Johansson et al. 2010	71 EHS, Frauen: 82 %, 51,6 Jahre  45 Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden (MP), Frauen: 62 %, 45,7 Jahre  106 Nicht-EHS (Bevölkerungsstichprobe), Frauen: 80 %, 48,3 Jahre  63 Nicht-EHS (gesund), Frauen: 71 %, 51,4 Jahre	Unspezifische Symptome (mit/ohne Bezug zu EMF), Persönlichkeitseigenschaften: Ängstlichkeit, Depression, Somatisierung, Erschöpfung, Anspannung, Antriebslosigkeit; Stress	Unspezifische Symptome (mit/ohne Bezug zu EMF):  EHS>MP>Bevölkerungsstichprobe>Nicht-EHS  EHS vs. Kontrollgruppen: 14 von 17 Persönlichkeitseigenschaften ↑  EHS vs. MP: 2 von 17 Persönlichkeitseigenschaften ↑	Stress  MP vs. Kontrollgruppen: 10 von 17 Persönlichkeitseigenschaften	Gruppe mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden: mehr Männer, niedrigeres Durchschnittsalter

## 7.2 Experimentelle Studien

In der Studie von Lyskov et al. 2001a wurden vor der Testung in der EHS-Gruppe statistisch signifikant höhere Herzfrequenzen, höhere Blutdruckwerte und eine höhere elektrodermale Aktivität gemessen.

Eine Studie aus Schweden bezog sich auf Personen, die bei der Benutzung von Mobiltelefonen Beschwerden entwickelten, sich aber nicht generell als elektrohypersensibel bezeichneten (Wilén et al. 2006). Neben einer Provokationstestung (siehe Kapitel 4.1.2.) beinhaltete die Studie auch einen Vergleich der physiologischen Parameter und der kognitiven Leistungen zwischen dieser Gruppe und beschwerdefreien Probanden. Vor der Exposition gab es bezüglich Fusionsfrequenz im Flimmerlichttest, Herz- und Atemfrequenz sowie elektrodermalen Aktivität keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Im Kurzzeitgedächtnistest vor der Exposition erzielten die 20 Kontrollpersonen am ersten Untersuchungstag statistisch signifikant bessere Ergebnisse als die 20 Personen mit Beschwerden. Auch die Reaktionszeit war in der Gruppe der Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden signifikant länger. Am zweiten Untersuchungstag waren die Unterschiede nicht mehr signifikant. Die Messung der Herzfrequenzvariabilität ergab während des Gedächtnis- und Flimmerlichttests vor der Exposition in der Fallgruppe eine statistisch signifikant höhere Aktivität der Niederfrequenzkomponente und eine geringere Aktivität der Hochfrequenzkomponente. Diese Unterschiede wurden als Hinweis auf einen erhöhten Sympathikotonus bei Personen mit mobiltelefonbezogenen Beschwerden unter experimentellen Bedingungen interpretiert.

Die Publikationen von Eltiti et al. 2007a und 2009 enthalten Vergleiche der physiologischen Parameter bei EHS- und Kontrollpersonen im Rahmen einer Doppelblindstudie während der Durchführung der Experimente, aber unabhängig von der Exposition. In beiden Auswertungen war die elektrische Leitfähigkeit der Haut bei EHS-Personen unabhängig von der Exposition durch GSM- oder UMTS-Basisstationssignale statistisch signifikant höher als bei Kontrollpersonen ( $p < 0,01$ ). Für die Herzfrequenz bestanden keine signifikanten Unterschiede.

In der oben erwähnten japanischen Studie von Furubayashi et al. 2009 (vgl. Kapitel 4.1.3) wurden die Persönlichkeitsmerkmale von 11 Frauen mit und 43 Frauen ohne mobiltelefonbezogene Beschwerden vor der Durchführung des Experiments verglichen. Es bestanden keine Unterschiede in Bezug auf Faktoren wie Neurotizismus, Extroversion oder Offenheit. Während des Experiments wurde folgende Befindlichkeiten gemessen: Ängstlichkeit, Depressivität, Feindseligkeit, Vitalität, Müdigkeit und Verwirrtheit. Eine Analyse der Gruppenunterschiede unabhängig von der Exposition ergab für alle Parameter signifikante Unterschiede. Mit Ausnahme der Vitalität war der Punktwert auf der Skala bei Frauen mit Symptomen höher als bei Frauen ohne Symptome. Die Messung der physiologischen Parameter (Herzfrequenz, lokale Durchblutung und Hauttemperatur) ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Auch in der oben erwähnten TETRA-Studie (Kapitel 4.1.3.) war die durchschnittliche Herzfrequenz in der EHS-Gruppe während des Bspan-Tests etwas höher (78,80 vs.

75,24,  $p=0,031$ ) und die Variabilität der Hautleitfähigkeit während des OSPAN-Tests etwas stärker (+ 2,1 vs. -0,46,  $p=0,024$ ) als in der Kontrollgruppe. Nach Korrektur für multiple Testung waren diese Unterschiede nicht mehr statistisch signifikant, weil das korrigierte Signifikanzniveau bei 0,008 lag. Für den Blutvolumenpuls (Mittelwert und Variabilität) sowie die Variabilität der Herzfrequenz und die mittlere Hautleitfähigkeit bestanden keine Unterschiede zwischen den Gruppen (Wallace et al. 2012).

**Tab. 14 > Experimentelle Studien zu physiologischen oder psychischen Parametern bei EHS- und Kontrollpersonen ohne EMF-Exposition**

Zur Interpretation: ↑ bedeutet höhere Messwerte bei EHS-Personen im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Referenz	Kollektive, Durchschnittsalter	Zielgrösse(n)	Messzeitpunkt	Signifikanter Unterschied zwischen EHS- und Kontrollpersonen	Kein signifikanter Unterschied zwischen EHS- und Kontrollpersonen	Bemerkungen
Lyskov et al. 2001a	20 EHS, Frauen: 75 %, 46 Jahre  20 Nicht-EHS, Frauen: 75 %, 45 Jahre	Herzfrequenz, Blutdruck, elektrodermale Aktivität, kritische Fusionsfrequenz im Flimmerlichttest, Hirnströme (EEG), visuell evozierte Potenziale	Vor dem Experiment	Herzfrequenz, Blutdruck, elektrodermale Aktivität, kritische Fusionsfrequenz im Flimmerlichttest↑	Hirnströme (EEG), visuell evozierte Potenziale	
Wilén et al. 2006	20 Personen mit Beschwerden bei Mobiltelefonbenutzung, Frauen: 20 %, 45,4 Jahre  20 Personen ohne Beschwerden, Frauen: 20 %, 44,9 Jahre	Kognitive Leistungen im Kurzzeitgedächtnistest, kritische Fusionsfrequenz (Flimmerlicht)	Vor dem Experiment  Unter experimentellen Bedingungen	1. Untersuchungstag: Anzahl korrekter Antworten ↓, Anzahl falscher Antworten ↑, Testabbrüche ↑, Reaktionszeiten↑  Beide Untersuchungstage während des Gedächtnis- und Flimmerlichttests: Niederfrequenzkomponente der HRV ↑, Hochfrequenzkomponente der HRV ↓, Verhältnis NF/HF ↑	2. Untersuchungstag: Anzahl korrekter oder falscher Antworten, Testabbrüche, Reaktionszeiten;  Vor dem Experiment und unter experimentellen Bedingungen: kritische Fusionsfrequenz, Herzfrequenz, Atemfrequenz, elektrodermale Aktivität	Personen mit Beschwerden gaben signifikant mehr Mobiltelefonate pro Tag, längere Telefonate und längere Benutzungsdauer (12,3 vs. 8,9 Jahre) an; Resultate für multiple Testung korrigiert (Bonferroni)
Eltiti et al. 2007a	44 EHS, Frauen: 42,9 %, 46,1 Jahre  114 Nicht-EHS, Frauen: 42,5 %, 54,5 Jahre	Herzfrequenz, elektrische Leitfähigkeit der Haut	Unter experimentellen Bedingungen	Elektrische Leitfähigkeit der Haut ↑	Herzfrequenz	
Eltiti et al. 2009	44 EHS, Frauen: 40,9 %, 46,1 Jahre  44 Nicht-EHS, Frauen: 45,5 %, 46,1 Jahre	Herzfrequenz, elektrische Leitfähigkeit der Haut	Unter experimentellen Bedingungen	Elektrische Leitfähigkeit der Haut ↑	Herzfrequenz	
Furubayashi et al. 2009	11 Frauen mit EHS, 37 Jahre  43 Frauen ohne EHS, 38 Jahre	Persönlichkeitsmerkmale und Befindlichkeiten	Unter experimentellen Bedingungen	Ängstlichkeit, Depressivität, Feindseligkeit, Müdigkeit, Verwirrtheit ↑, Vitalität ↓	Neurotizismus, Extroversion, Offenheit, Freundlichkeit, Pflichtbewusstsein; Herzfrequenz, lokale Durchblutung, Hauttemperatur	
Wallace et al. 2012	48 EHS, Frauen: 60 %, 42 Jahre  132 Nicht-EHS, Frauen: 51 %, 41 Jahre	Herzfrequenz, elektrische Leitfähigkeit der Haut, Blutvolumenpuls	Unter experimentellen Bedingungen		Herzfrequenz ( $p=0,03$ ), elektrische Leitfähigkeit der Haut ( $p=0,02$ ), Blutvolumenpuls	Signifikanzniveau nach Bonferroni-Korrektur für multiples Testen: $p>0,008$

### 7.3 Bewertung zur Charakterisierung von EHS-Personen

Im Hinblick auf konstitutionelle Unterschiede zwischen EHS- und Nicht-EHS-Personen wurden am häufigsten Herz-/Kreislaufparameter wie Herzfrequenz, Blutdruck und Herzfrequenzvariabilität untersucht. Teilweise bestanden statistisch signifikante Unterschiede, die Resultate waren aber nicht einheitlich. Auch die elektrodermale Aktivität war nicht in allen Studien bei EHS-Personen höher, aber bei den meisten mit dieser Zielgrösse, insbesondere wenn die Versuche bei Scheinbedingungen durchgeführt wurden und die Personen also nicht wussten, ob sie tatsächlich exponiert waren oder nicht. Zwei Studien zur Herzfrequenzvariabilität ergaben Hinweise auf einen erhöhten Sympathikotonus bei Personen mit EHS, der sich in einer geringeren Aktivität der Hochfrequenzkomponente der HRV manifestierte. Zur Erregbarkeit der Grosshirnrinde mittels transkranieller Magnetstimulation liegen mehrere Studien einer Forschergruppe vor, die auf Unterschiede zwischen EHS- und Kontrollpersonen hinweisen. Es ist aber kein einheitliches Muster zu erkennen, und unabhängige Wiederholungen fehlen.

In rund der Hälfte der Studien ist die Herzfrequenz bei EHS-Personen unabhängig von der jeweiligen Exposition erhöht. Drei Studien zur elektrischen Hautleitfähigkeit finden Hinweise auf eine Erhöhung bei EHS-Personen unter Scheinbedingungen. Da diese Veränderungen insbesondere bei Scheinexposition aufgetreten sind, sind sie wahrscheinlich eher durch die Versuchsbedingungen verursacht und durch die Unwissenheit der Probanden, ob sie exponiert waren.

Zur Zusammensetzung des Blutes und zur Konzentration verschiedener Schadstoffe im Blut gibt es erst einzelne Untersuchungen, und es wurden unterschiedliche Parameter evaluiert. Entsprechend unsicher sind diese Ergebnisse. Sie deuten nicht darauf hin, dass die EHS-Symptomatik mit der Exposition gegenüber anderen Schadstoffen, z. B. Schwermetallbelastungen, erklärt werden könnte.

Insgesamt ist also eine gewisse Tendenz ersichtlich, dass EHS-Personen einen erhöhten Sympathikotonus und erhöhte kortikale Erregbarkeit besitzen. Die beobachteten Unterschiede werden als mässig zuverlässig beurteilt, d. h. die Evidenzqualität wird als mässig bewertet.

Für alle untersuchten Parameter lässt sich festhalten, dass allfällige Unterschiede zwischen EHS- und Nicht-EHS-Personen gering waren und die Messwerte innerhalb der physiologischen Bandbreite lagen. Das bedeutet, dass sie nicht als diagnostisches Kriterium einsetzbar sind. Sie könnten jedoch auf Unterschiede in der Regulation des autonomen Nervensystems und damit auf eine grössere Empfindlichkeit von EHS-Personen hindeuten. Auslöser für die Reaktionen müssen aber nicht unbedingt externe Stimuli sein, es kommen auch körpereigene Reize in Frage. Zu einer erhöhten Aktivität des autonomen Nervensystems passen auch die beobachteten, expositionsunabhängigen Gruppenunterschiede bei der Teilnahme an einem Experiment. Sie weisen darauf hin, dass EHS-Personen während den Experimenten stärker belastet sind.

## 8 > Therapieansätze für EHS

---

Unabhängig von den Auslösern und Entstehungsmechanismen der EHS-Beschwerden ist die Frage nach der Beratung und dem therapeutischen Angebot für Betroffene von entscheidender Bedeutung. Bisher gibt es dazu erst wenige wissenschaftliche Untersuchungen.

In einer systematischen Literaturübersicht wurden neun Studien zu dieser Fragestellung ausgewertet (Rubin et al. 2006b). Vier Studien betrafen die kognitive Verhaltenstherapie, zwei die Reduktion der Exposition von Computerbildschirmen durch Filter aus leitfähigem Material. Je eine Studie fand sich zum Einsatz eines Abschirmungsgeräts, zur Einnahme von Vitaminpräparaten und zur Behandlung mit Akupunktur. Von den vier Untersuchungen zur Verhaltenstherapie war keine verblindet, zwei wurden als randomisiert beschrieben. Drei von ihnen berichteten über Verbesserungen bei den therapierten Personen, in einer war kein Effekt zu beobachten. Die beiden Studien zu Filtern für Computerbildschirme wurden doppelblind und randomisiert durchgeführt. Bei der ersten Studie waren objektive dermatologische Symptome sowie sechs subjektive Symptome bei der wahren Abschirmung im Vergleich zur Placeboabschirmung nicht verändert. Einzig das Kribbeln auf der Haut war reduziert. Die zweite Studie untersuchte die Wirkung einer Schein- und einer realen Abschirmung bei einer grösseren Stichprobe über einen längeren Zeitraum. Unabhängig von der Art der Abschirmung reduzierten sich die Symptome bei Abschirmung. Der Effekt der wahren Abschirmung war aber nicht besser als derjenige der Scheinabschirmung. Die Untersuchung zum Abschirmungsgerät ergab signifikante Effekte, war aber weder randomisiert noch verblindet und enthielt keine statistischen Analysen. In der Akupunkturstudie zeigten sich keine Unterschiede zwischen der Behandlung mit echter oder mit Scheinakupunktur. Gemäss den Autoren war die kognitive Verhaltenstherapie am erfolgversprechendsten, allerdings gab es in keiner dieser Studien eine Scheinbehandlung, sondern nur unbehandelte Kontrollgruppen. Dies sei problematisch, weil bereits die mit einem Therapeuten verbrachte Zeit zu Placeboeffekten führen könne. Daher wäre ein Vergleich mit einer Behandlung mit ähnlich langer Kontaktzeit, aber ohne verhaltenstherapeutische Elemente, aussagekräftiger. Das bereits oben beschriebene umweltmedizinische Beratungsprojekt in der Schweiz hat gezeigt, dass ein solches Beratungs- und Abklärungsangebot von Betroffenen häufig als hilfreich eingeschätzt wird (Huss et al. 2005). Die Abklärungen waren allerdings sehr zeit- und kostenintensiv und konnten nach Projektende nicht als dauerhaftes Angebot fortgesetzt werden. Seit 2008 hat der Verein «Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz» (AefU) ein umweltmedizinisches Beratungsnetzwerk implementiert, bei dem die Konsultationen und Abklärungen in den ärztlichen Praxisalltag eingebettet sind. Das Beratungsnetzwerk setzt sich aus einer zentralen telefonischen Anlaufstelle und umweltmedizinisch geschulten Grundversorgern in verschiedenen Regionen der Schweiz zusammen. Die Netzärzte führen die umweltmedizinischen Abklärungen in ihren Praxen und durch. Sie berücksichtigen umweltbezogene, somatische und psychische Faktoren und ziehen bei Bedarf Spezialärzte, Umweltfachleute oder Psychologen hinzu. Ausserdem werden in bestimmten Fällen Hausuntersuchungen oder persönliche EMF-Messungen angeboten.

Der Aufbau dieses Beratungsnetzwerks wurde in den ersten 2,5 Jahren im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitstudie evaluiert (Röösli et al. 2011). Zwischen dem 1. Januar 2008 und dem 30. Juni 2010 meldeten sich bei der zentralen telefonischen Anlaufstelle insgesamt 255 Personen. Darunter waren 185 Anfragen von Patienten, die ihre Symptome einem oder mehreren Umweltfaktoren zuschrieben. Eine Vermittlung an eine Netzarzt-Praxis zur weiteren Abklärung erfolgte bei 73 Patienten (38%), von denen 49 diese Möglichkeit tatsächlich in Anspruch nahmen. 37 Personen waren bereit, an der wissenschaftlichen Begleitstudie teilzunehmen, 31 von ihnen führten ihre Symptome auf elektromagnetische Felder zurück. Die am häufigsten genannten Beschwerden waren Schlafstörungen und Kopfschmerzen, ausserdem wurden Müdigkeit, Konzentrationsstörungen und Herz-oder Kreislaufbeschwerden berichtet. Unter den 31 Personen mit EMF-bezogenen Beschwerden befanden sich 18 Frauen, das Durchschnittsalter lag bei 53 Jahren (Bereich: 28 bis 75 Jahre). Vollständige Daten aus dem Patienten- und Arztfragebogen lagen für 23 Personen mit EMF-bezogenen Beschwerden vor, an der Nachbefragung nach einem Jahr nahmen 19 Personen teil. Bei der Nachbefragung nach einem Jahr war der selbstberichtete Gesundheitszustand im Durchschnitt praktisch unverändert, wenn auch mit einer leichten Tendenz zur Verbesserung. Das Ausmass der Sorgen und der Beeinträchtigung im Alltag war ähnlich wie in der Basiserhebung, aber das Gefühl der Selbstkontrolle hatte etwas zugenommen. Aus den Antworten auf die Frage, welche Behandlungsschritte als besonders hilfreich erlebt wurden, ergab sich, dass am ehesten Patienten profitierten, die etwas in ihrem Wohn- oder Arbeitsumfeld verändern konnten ( $p=0,08$ ). Dabei handelte es sich um 12 Personen, die entweder ihren Schlafplatz abgeschirmt oder gewechselt hatten oder umgezogen waren oder ihre Arbeitsstelle gewechselt oder ihre Exposition durch Verzicht auf drahtlose Geräte vermindert hatten. Bei neun Personen wurde im Rahmen eines Hausbesuchs die Hochfrequenzexposition gemessen. Die durchschnittlichen Belastungen variierten zwischen  $<0,05$  und  $0,2$  V/m und lagen damit weit unterhalb der Schweizer Grenzwerte. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen unterschiedlich hohen Belastungen in verschiedenen Wohnbereichen und dem Auftreten oder Verschwinden von Symptomen. In den Beurteilungen der Ärzte wurden eher mehrere Faktoren als ursächlich für die Beschwerden betrachtet, bei den Patienten bestand dagegen häufig eine monokausale Sichtweise mit Einengung auf die Umwelthypothese. Wenn sich diese Hypothese durch die Exposimetrie nicht bestätigten, führte dies bei den Betroffenen teilweise zu Verunsicherung und Enttäuschung. In der Gesamtbeurteilung befürworteten fast alle Patienten eine Weiterführung des Projekts, und 70% würden es weiterempfehlen. Allerdings war der Anteil der Personen, die das Angebot des umweltmedizinischen Beratungsnetzwerks als hilfreich bezeichneten, am Ende der Studie niedriger als zu Beginn (32% vs. 57%, statistisch nicht signifikant).

## 8.1 Bewertung zu Therapieansätzen

Bisher gibt es nur wenige Studien zur Untersuchung von Therapieansätzen für EHS-Personen. Da die meisten Behandlungsformen, wie zum Beispiel die kognitive Verhaltenstherapie, auch in den randomisierten Studien nicht doppelblind getestet werden konnten, besteht ein erhebliches Bias-Risiko, und die Evidenzqualität muss gemäss GRADE abgewertet werden. Insgesamt besteht mässige Evidenz dafür, dass verhaltenstherapeutische Massnahmen die Situation von EHS-Personen verbessern. Ebenfalls

---

mässige Evidenz gibt es dafür, dass die Entfernung von Strahlungsquellen nützlich ist, wenn die Betroffenen darüber informiert sind. Dies spricht vor allem für eine Abnahme der Nozebokomponente. Der Nutzen von Massnahmen zur Expositionsverminderung, von denen die Betroffenen nichts wissen, wurde bisher nur in zwei Studien im Zusammenhang mit Bildschirmen untersucht. Für eine Wirksamkeit solcher Massnahmen gibt es nur geringe Evidenz. Da auch bei allen anderen bisher eingesetzten Therapieformen die Evidenz für Wirksamkeit sehr gering ist, lässt sich bisher keine gesicherte Aussage ableiten.

## 9 > Gesamtbewertung und Diskussion

---

### 9.1 Gesamtbewertung

Die Provokationsstudien zu kurzfristigen Veränderungen von physiologischen Parametern betrafen überwiegend Herzkreislaufparameter. Mehrheitlich handelte es sich um methodisch gute, randomisierte Doppelblindstudien mit Crossover-Design. Ihre Resultate zeigen fast durchgehend keine expositionsabhängigen Veränderungen der kardiovaskulären Parameter. Für hochfrequente EMF-Expositionen (Nah- oder Fernfeld) liegen viele Studien vor, so dass die Evidenz für die Abwesenheit eines kurzfristigen Effekts auf das Herzkreislaufsystem als hoch eingeschätzt wird. In Bezug auf niederfrequente Felder ist die Studienlage weniger gut, und die Evidenz für die Abwesenheit eines Effektes wird deshalb als mässig erachtet.

Bezüglich der kognitiven Funktionen liegen bis Dezember 2011 für nieder- und hochfrequente EMF nur wenige Studien mit EHS-Personen vor. Sie ergeben ebenfalls kaum Hinweise auf Auswirkungen kurzfristiger Expositionen, so dass mässige Evidenz dafür besteht, dass die kognitiven Funktionen von EHS-Personen durch EMF nicht beeinflusst werden.

Das Auftreten von akuten unspezifischen Beschwerden wurde in sieben Provokationsstudien zu niederfrequenten Feldern und in 14 Studien zur hochfrequenten Nah- oder Fernfeldexposition untersucht. Hinweise auf eine expositionsabhängige Zunahme der Beschwerden zeigten drei Studien zu niederfrequenten Feldern und zwei Studien zu hochfrequenten Feldern. Da in den meisten methodisch guten Studien keine Auswirkungen auf unspezifische Symptome beobachtet wurden, ist die Evidenz gegen einen Zusammenhang unter kontrollierten Bedingungen als hoch einzustufen.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Fähigkeit, schwache elektromagnetische Felder wahrzunehmen, die auch als «Elektrosensitivität» bezeichnet wird. Diese Elektrosensitivität kann unabhängig von Symptomen auftreten, wird aber häufig von Personen mit EHS berichtet. Die Elektrosensitivität wurde in drei Studien zu niederfrequenten Feldern und 14 Studien zur hochfrequenten Nah- oder Fernfeldexposition evaluiert. Da EHS-Personen die Exposition im Gruppenmittel in keiner Studie wahrnehmen konnten, ergeben die Resultate hohe Evidenz dafür, dass sie als Kollektiv keine niedrigere Wahrnehmungsschwelle für nieder- oder hochfrequente EMF aufweisen als die Durchschnittsbevölkerung. Ob es einzelne Personen gibt, bei denen eine solche Elektrosensitivität vorliegt, kann anhand der vorliegenden, nicht replizierten Einzelbefunde nicht beurteilt werden. Zweifelsfrei wurde bisher noch keine solche Person identifiziert.

Alle neun Studien, die darauf ausgelegt waren, Nozebo-Phänomene zu untersuchen, konnten diese Effekte auch dokumentieren. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Befürchtungen von EHS-Personen unabhängig von der tatsächlichen Exposition zum Entstehen von Symptomen führen. Da es sich um experimentelle Studien handelt und die Ergeb-

nisse konsistent sind, kann daraus gemäss GRADE hohe Evidenz für das Auftreten von Nozebo-Effekten bei EHS-Personen abgeleitet werden. Dies allein ist noch kein Beweis, dass die beobachteten Veränderungen ausschliesslich auf Nozebo-Effekte zurückzuführen sind. Es bedeutet aber, dass Studien, in denen die Teilnehmenden ihren jeweiligen Expositionsstatus kannten, anfällig für eine Verzerrung sind.

Die Frage nach langfristigen Auswirkungen der EMF-Exposition auf das Befinden lässt sich nicht in randomisierten Doppelblindstudien untersuchen, und es liegen nur wenige beobachtende epidemiologische Studien dazu vor. Obwohl sie keinen Hinweis auf einen Zusammenhang liefern, wird die Evidenz für oder gegen einen Zusammenhang als sehr niedrig eingestuft, weil methodische Schwierigkeiten die Untersuchung von gesundheitlichen Auswirkungen bei EHS-Personen aus verschiedenen Gründen limitieren. Es ist deshalb keine Aussage möglich. Auch die Fallberichte, welche die üblichen Anforderungen an eine medizinische Kasuistik erfüllen und wissenschaftlich publiziert wurden, tragen nicht zum besseren Verständnis bei, ob EMF-Expositionen tatsächlich die Beschwerden von EHS-Personen verursachen.

Die Studien zur Charakterisierung von Personen mit EHS betreffen die Frage, ob es unabhängig von der EMF-Exposition messbare physiologische Unterschiede zwischen Personen mit EHS und beschwerdefreien Vergleichspersonen gibt. Diese Studien haben wiederholt Hinweise auf Differenzen zwischen EHS- und Kontrollpersonen ergeben, unter anderem hinsichtlich der Regulation des autonomen Nervensystems oder der Reizverarbeitung im Gehirn. Die Ergebnisse sind aber nicht einheitlich, und es bestehen methodische Mängel, die die Aussagekraft der Studien abschwächen. Daher wird die Evidenz für konstitutionelle Unterschiede zwischen Personen mit und ohne EHS nur als mässig beurteilt. Allfällige Unterschiede sind gering und liegen innerhalb der physiologischen Normen, so dass sich daraus keine objektiven diagnostischen Kriterien für EHS ableiten lassen.

In den beiden Schweizer Projekten zu umweltmedizinischen Beratungsstellen hat sich gezeigt, dass es bei Betroffenen, bei Hausärzten und bei Umweltfachstellen einen Bedarf für solche Beratungsangebote gibt. Dennoch gibt es nur wenige Informationen über hilfreiche Therapieansätze bei EHS-Personen. Die Evidenz dafür, dass kognitive Verhaltenstherapie hilfreich ist, um die Situation von EHS-Personen zu verbessern, wird als mässig eingeschätzt. Es gibt auch mässige Evidenz dafür, dass die Expositionsreduktion hilfreich ist, wenn dies den Betroffenen bekannt ist. Das deutet darauf hin, dass mit solchen Massnahmen vor allem die Nozebo-Komponente reduziert werden kann. Zur Wirksamkeit aller anderen Therapiemöglichkeiten lässt sich bisher keine gesicherte Aussage machen.

## 9.2 Diskussion

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass hohe Evidenz dafür besteht, dass kurzfristige EMF-Expositionen keine Auswirkungen auf physiologische Parameter oder das Befinden von EHS-Personen haben. Bezüglich langfristiger Auswirkungen liegen nur wenige Daten vor, so dass derzeit keine Aussage möglich ist. EHS ist eine Selbstdeklaration von Personen, die aufgrund von eigenen Erfahrungen im Alltag zum Schluss

kommen, dass sie auf elektromagnetische Felder reagieren. Ein messbarer Diagnoseparameter konnte bisher nicht identifiziert werden.

Ein psychosomatisches Erklärungsmodell für die Entstehung von EHS beschreibt drei typische Phasen (vgl. Barth et al. 2000). Die erste Phase besteht darin, dass bei den Betroffenen Symptome auftreten, für die sie keine einleuchtende medizinische Erklärung oder Therapie erhalten. Auf der Suche nach einer Erklärung stossen sie in der zweiten Phase auf das Phänomen der EHS und beginnen, diese als Ursache der bisher ungeklärten Beschwerden zu betrachten. Häufig werden Selbstexponierungsexperimente unternommen, bei denen besonders stark auf Symptome geachtet wird. Diese Beschwerden werden intensiver erlebt und wiederum auf die Anwesenheit von EMF-Belastungen zurückgeführt. Im Laufe der Zeit werden immer mehr Symptome auf das Vorhandensein elektromagnetischer Felder attribuiert. In der dritten Phase werden die Überzeugungen zu einem System ausgebaut: Bei jedem Auftreten von Beschwerden werden elektromagnetische Felder gesucht und als Auslöser identifiziert. Wenn keine Beschwerden vorliegen, wird hingegen nicht nach denselben Auslösern Ausschau gehalten, so dass die bestehenden Überzeugungen nicht korrigiert werden können. Durch weitere Selbstexponierungsexperimente werden zudem immer neue Auslöser entdeckt.

Neben dem oben beschriebenen psychosomatischen Modell sind auch andere Ansätze zur Erklärung der EHS-Entstehung denkbar. Ausserdem ist nicht komplett auszuschliessen, dass langfristige EMF-Belastungen in Einzelfällen zu Beschwerden führen können. Es ist jedoch sehr schwierig, den kausalen Nachweis dafür zu erbringen. Grundsätzlich wären weitere Langzeitstudien wünschenswert. Ein entscheidendes Problem bei der Durchführung und Interpretation von Studien zur EHS ist die Annahme von EHS-Personen, dass durch die Exposition gesundheitliche Beschwerden verursacht werden. Gerade bei beobachtenden Studien zum Langzeitverlauf ist eine Verblindung der Teilnehmer gegenüber ihrem Expositionsstatus oft nicht möglich, und reale Expositionseffekte lassen sich kaum von Nozebo-Effekten unterscheiden (detaillierte Diskussion in Kapitel 5). Dies ist auch ein wichtiger Unterschied zu Studien, in denen Zusammenhänge zwischen EMF-Expositionen und objektiv diagnostizierbaren chronischen Erkrankungen untersucht werden. In diesen Studien ist man nicht auf die subjektiven Teilnehmerangaben zum Auftreten oder zum Ausmass der Beschwerden angewiesen. Zudem kommt bei beobachtenden Studien mit EHS-Personen erschwerend hinzu, dass diese häufig zu einem expositionsvermindernden Verhalten tendieren. Das kann bei Studien, die nicht longitudinal angelegt sind, zu fehlerhaften Schlussfolgerungen führen. Diese methodische Schwierigkeit ist bei der Untersuchung von Personen ohne EHS weniger ausgeprägt.

Aus diesen Gründen wird es schwierig sein, aus rein beobachtenden Studien hohe Evidenz für oder gegen einen langfristigen Zusammenhang zwischen dem Befinden von EHS-Personen und der EMF-Belastung im Alltag zu erhalten. Dabei ist auch in Betracht zu ziehen, dass eine eventuelle Auswirkung der Exposition, die möglicherweise nur einen Bruchteil der EHS-Personen betrifft, durch falsche Selbstdeklaration der Probanden verdünnt wird und dadurch statistisch nicht mehr feststellbar ist. Die Frage ist dann, ob sich in diesem heterogenen Kollektiv einzelne tatsächlich kausal durch EMF beeinträchtigte Personen verbergen.

Eine zusätzliche Schwierigkeit ist, dass das insgesamt höhere Symptommiveau in den EHS-Kollektiven sowie das beobachtete höhere Erregungsniveau während der experimentellen Tests die Aufdeckung von expositionsabhängigen Veränderungen möglicherweise erschweren. In diese Richtung weist zum Beispiel das Ergebnis der Studie von Hillert et al. 2008, in der nur in der Kontrollgruppe ein Anstieg der Kopfschmerzen nachweisbar war. Insgesamt fanden sich keine überzeugenden Hinweise, dass allfällige schädliche Auswirkungen von EMF ausschliesslich EHS-Personen betreffen würden.

Es stellt sich also die Frage, ob Studien, in denen nur Personen ohne EHS untersucht wurden, zu den gleichen Ergebnissen kommen. Im Rahmen des vorliegenden Berichts wurden diese Studien nicht systematisch ausgewertet, es sind aber bereits systematische Literaturübersichten zu diesem Thema vorhanden. Eine Übersichtsarbeit fasst die Ergebnisse von vier experimentellen Studien und 10 epidemiologischen Studien mit Exposition gegenüber Mobilfunkbasisstationen bis März 2009 zusammen (Rösli et al. 2010a). Die meisten Experimente ergaben keine Assoziation mit akuten Beschwerden, und auch in den epidemiologischen Studien zeigte sich keine einheitliche Beziehung zwischen der Exposition und einem oder mehreren unspezifischen Symptomen. In Untersuchungen mit weniger detaillierter Expositionserfassung bestanden eher Hinweise auf Zusammenhänge als in Studien mit genaueren Messungen. Ein möglicher Grund dafür ist die Überschätzung der Exposition durch Personen mit gesundheitlichen Problemen, wenn die Klassifizierung der Belastung auf Teilnehmerangaben beruht und nicht objektiv erhoben wurde.

In anderen Übersichtsarbeiten wurden auch die Studien zu hochfrequenten Nahfeldquellen, z. B. Mobiltelefonen, systematisch evaluiert (Rösli 2008, van Rongen et al. 2009, Kwon und Hämäläinen 2011, Rösli und Hug 2011). Auch hier lautete die Schlussfolgerung, dass kurzfristige Effekte auf das Befinden unwahrscheinlich sind und die beobachtenden Studien in Bezug auf langfristige Effekte grösstenteils keine Zusammenhänge zwischen der EMF-Belastung und dem Auftreten von Beschwerden zeigen, allerdings mit den oben diskutierten Einschränkungen bezüglich der Aussagekraft dieser Studien.

In einigen Studien wurden konstitutionelle Unterschiede zwischen Personen mit und ohne EHS beobachtet. Es gibt einige Unsicherheiten, ob diese Unterschiede tatsächlich bestehen und falls ja, welche physiologischen Parameter sie betreffen. Tendenziell scheinen EHS-Personen einen erhöhten Sympathikotonus und eine allgemein erhöhte Erregbarkeit aufzuweisen. Falls diese Unterschiede tatsächlich bestehen, können sie auf drei unterschiedliche Arten interpretiert werden:

Erstens könnte es sich um die Folge von alltäglichen, immer vorhandenen EMF-Expositionen handeln. Allerdings berichten Personen mit EHS im Allgemeinen auch über kurzfristig auftretende Symptome, die unter kontrollierten Bedingungen mit den heute üblichen Studiendesigns bisher nicht verifiziert werden konnten. Zweitens könnten diese Unterschiede die erhöhte Empfindlichkeit erklären. Nach aktuellem Kenntnisstand kann die erhöhte Empfindlichkeit aber auch andere externe Stimuli als EMF betreffen. Beispielsweise wird diskutiert, ob die Dysregulation des autonomen Nervensystems zu Veränderungen der Reizweiterleitung im Gehirn führt (intrakortikale

Bahnung) und schlussendlich die «Schmerz-Neuromatrix» im Gehirn durch Scheinexposition aktiviert wird (vgl. Marc-Vergnes 2010). Drittens könnten Unterschiede in der psychischen Veranlagung und im Umgang mit Umweltbelastungen im Allgemeinen bestehen, die physiologisch messbare Auswirkungen nach sich ziehen. Das könnte insbesondere auch auf die Untersuchungssituation in experimentellen Studien zutreffen. Bei EHS-Personen könnte die Teilnahme an einer Studie stärkere Stressreaktionen auslösen als bei Nicht-EHS-Personen.

Für die Beurteilung von Einzelfällen ist natürlich der Ausschluss von zugrunde liegenden körperlichen Erkrankungen wichtig, die bestimmte Symptome erklären könnten, zum Beispiel von Schilddrüsen-Funktionsstörungen oder Diabetes. Da die Ursache von Beeinträchtigungen des Befindens häufig unbekannt bleibt, kann selbst beim Ausschluss aller bekannten relevanten Begleiterkrankungen im Einzelfall kaum zweifelsfrei nachgewiesen werden, ob EMF der Auslöser der Beschwerden ist. Die einzige Ausnahme ist, wenn eine Person unter doppelblinden Versuchsbedingungen unmittelbar auf die Exposition reagiert. Die meisten bisherigen Studien untersuchten Kollektive und führten keine individuellen Analysen durch. Da es erst wenige Einzelfallstudien mit wiederholter Testung der gleichen Personen gibt, besteht in diesem Bereich weiterer Forschungsbedarf.

Bei Einzelfallbetrachtungen wäre insbesondere zu evaluieren, ob solche Provokationsexperimente andere Ergebnisse liefern, wenn sie gemäss den Vorgaben der Betroffenen durchgeführt werden. Die Experimente könnten beispielsweise bei den Betroffenen zu Hause stattfinden, indem man die Situation in Bezug auf EMF-Quelle und Auswaschphase zwischen den Tests gemäss den Wahrnehmungen der Betroffenen nachbildet. Möglicherweise könnte ein solches Provokationsexperiment auch für Betroffene hilfreich sein, wenn die Probanden testen können, ob sich ihre subjektiven Erfahrungen objektivieren lassen.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass bisher wissenschaftlich nicht nachgewiesen ist, dass Personen, die sich als elektromagnetisch hypersensibel bezeichnen, anders auf EMF reagieren als die restliche Bevölkerung. Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass bei allfälligen Auswirkungen von EMF auf die Gesundheit nicht alle Personen gleich stark reagieren würden, wie das auch bei anderen Umwelteinflüssen der Fall ist. In Bezug auf die langfristigen Auswirkungen von EMF auf die Gesundheit und das Befinden bestehen noch Unsicherheiten, die angesichts der weiten und immer noch zunehmenden Verbreitung der Exposition durch gezielte Forschung ausgeräumt werden sollten. Es empfiehlt sich dabei, nicht nur auf EHS-Personen zu fokussieren, sondern allfällige Effekte in der gesamten Bevölkerung zu untersuchen. Aus wissenschaftlicher Sicht kann man davon ausgehen, dass die Bevölkerung, auch Menschen mit EHS, vor direkten Auswirkungen der EMF-Exposition auf das Befinden geschützt ist. Mangels gezielter Untersuchungen lässt sich allerdings auch nicht ausschliessen, dass einzelne Menschen durch die heute zulässige EMF-Belastung kausal in ihrem Befinden beeinträchtigt werden.

## > Literatur

- Al-Dousary S.H. Mobile phone induced sensorineural hearing loss. *Saudi Med J*. 2007; 28 (8): 1283–1286.
- Arnetz B., Akerstedt T., Hillert L., Lowden A., Kuster N., Wiholm C. 2007: The Effects of 884MHz GSM Wireless Communication Signals on Self-reported Symptoms and Sleep – An Experimental Provocation Study. *PIERS Online*. 3 (7): 1148–1150.
- Aschermann C. Elektrosensibilität: Ein Patient mit verbrennungsartigen Hautveränderungen. *umwelt mediziner gesellschaft* 2011; 24 (2): 141–146.
- Atkins D., Best D., Briss P.A., Eccles M., Falck-Ytter Y., Flottorp S., Guyatt G.H., Harbour R.T., Haugh M.C., Henry D., Hill S., Jaeschke R., Leng G., Liberati A., Magrini N., Mason J., Middleton P., Mrukowicz J., O'Connell D., Oxman A.D., Phillips B., Schünemann H.J., Edejer T.T., Varonen H., Vist G.E., Williams J.W., Jr., Zaza S. 2004: Grading quality of evidence and strength of recommendations. *British Medical Journal*, 328 (7454): 1490.
- Augner C., Florian M., Pauser G., Oberfeld G., Hacker G.W. 2009: GSM base stations: short-term effects on well-being. *Bioelectromagnetics*, 30 (1): 73–80.
- Augner C., Hacker G.W., Oberfeld G., Florian M., Hitzl W., Hutter J., Pauser G. 2010: Effects of exposure to GSM mobile phone base station signals on salivary cortisol, alpha-amylase, and immunoglobulin A. *Biomed Environ Sci*; 23 (3): 199–207.
- BUWAL 2003: Rösli M., Rapp R: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich. *Umwelt-Materialien Nr. 162*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2003.
- BAFU 2007: Hug K., Rapp R., Schär P., Taschner N: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich. *Umwelt-Wissen Nr. 0722*. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2007.
- Balshem H., Helfand M., Schünemann H.J., Oxman A.D., Kunz R., Brozek J., Vist G.E., Falck-Ytter Y., Meerpohl J., Norris S., Guyatt G.H. 2011: GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence. *J Clin Epidemiol*; 64 (4): 401–406.
- Bamiou D.E., Ceranic B., Cox R., Watt H., Chadwick P., Luxon L.M. 2008: Mobile telephone use effects on peripheral audiovestibular function: A case-control study. *Bioelectromagnetics*; 29 (2): 108–117.
- Barth A., Maritzak L., Valic E., Konnaris C., Wolf C. 2000: Pseudostenokardie bei Belastung durch »Elektrosmog«. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*; 125 (27): 830–832.
- Bertoft G. 1996: Patient reactions to some electromagnetic fields from dental chair and unit: a pilot study. *Swed Dent J*; 20 (3): 107–112.
- Blettner M., Schlehofer B., Breckenkamp J., Kowall B., Schmiedel S., Reis U., Potthoff P., Schüz J., Berg-Beckhoff G. 2009: Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany. *Occup Environ Med*; 66 (2): 118–123.
- Dahmen N., Ghezel-Ahmadi D., Engel A. 2009: Blood laboratory findings in patients suffering from self-perceived electromagnetic hypersensitivity (EHS). *Bioelectromagnetics*; 30 (4): 299–306.
- de Vocht F. 2010: «Dirty electricity»: what, where, and should we care? *J Expo Sci Environ Epidemiol*; 20 (5): 399–405.
- Eltiti S., Wallace D., Ridgewell A., Zougkou K., Russo R., Sepulveda F., Mirshekar-Syahkal D., Rasor P., Deeble R., Fox E. 2007a: Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study. *Environ Health Perspect*; 115 (11): 1603–1608.
- Eltiti S., Wallace D., Zougkou K., Russo R., Joseph S., Rasor P., Fox E. 2007b: Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire. *Bioelectromagnetics*; 28 (2): 137–151.
- Eltiti S., Wallace D., Ridgewell A., Zougkou K., Russo R., Sepulveda F., Fox E. 2009: Short-term exposure to mobile phone base station signals does not affect cognitive functioning or physiological measures in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields and controls. *Bioelectromagnetics*; 30 (7): 556–563.
- Frick U., Rehm J., Eichhammer P. 2002: Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields—a randomized survey study. *Int J Hyg Environ Health*; 205 (5): 353–360.
- Frick U., Kharraz A., Hauser S., Wiegand R., Rehm J., Kovatsits U., Eichhammer P. 2005: Comparison perception of singular transcranial magnetic stimuli by subjectively electrosensitive subjects and general population controls. *Bioelectromagnetics*; 26 (4): 287–298.
- Furubayashi T., Ushiyama A., Terao Y., Mizuno Y., Shirasawa K., Pongpaibool P., Simba A.Y., Wake K., Nishikawa M., Miyawaki K., Yasuda A., Uchiyama M., Yamashita H.K., Masuda H., Hirota S., Takahashi M., Okano T., Inomata-Terada S., Sokejima S., Maruyama E., Watanabe S., Taki M., Ohkubo C., Ugawa Y. 2009: Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics*; 30 (2): 100–113.
- Genuis S.J., Lipp C.T. 2011: Electromagnetic hypersensitivity: Fact or fiction? *Sci Total Environ* (414): 103–112.
- Ghezel-Ahmadi D., Engel A., Weidemann J., Budnik L.T., Baur X., Frick U., Hauser S., Dahmen N. 2010: Heavy metal exposure in patients suffering from electromagnetic hypersensitivity. *Sci Total Environ*; 408 (4): 774–778.

- Gobba F. 2002: Subjective non-specific symptoms related with electromagnetic fields: description of 2 cases. *Epidemiol Prev*; 26 (4): 171–175.
- Guyatt G., Oxman A.D., Akl E.A., Kunz R., Vist G., Brozek J., Norris S., Falck-Ytter Y., Glasziou P., DeBeer H., Jaeschke R., Rind D., Meerpohl J., Dahm P., Schünemann H.J. 2011: GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *J Clin Epidemiol*; 64 (4): 383–394.
- Hardell L., Carlberg M., Soderqvist F., Hardell K., Bjornfoth H., van Bavel B., Lindstrom G. 2008: Increased concentrations of certain persistent organic pollutants in subjects with self-reported electromagnetic hypersensitivity—a pilot study. *Electromagn Biol Med*; 27 (2): 197–203.
- Hartmann M., Belz J. 2010: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – Vorhaben 3609S80001. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Salzgeber, 2010.
- Hietanen M., Hamalainen A.M., Husman T. 2002: Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link. *Bioelectromagnetics*; 23 (4): 264–270.
- Hillert L., Flato S., Georgellis A., Arnetz B.B., Kolmodin-Hedman B. 2001: Environmental illness: fatigue and cholinesterase activity in patients reporting hypersensitivity to electricity. *Environ Res*; 85 (3): 200–206.
- Hillert L., Berglind N., Arnetz B.B., Bellander T. 2002: Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scand J Work Environ Health*; 28 (1): 33–41
- Hillert L., Akerstedt T., Lowden A., Wiholm C., Kuster N., Ebert S., Boutry C., Moffat SD, Berg M, Arnetz B.B. 2008: The effects of 884 MHz GSM wireless communication signals on headache and other symptoms: an experimental provocation study. *Bioelectromagnetics*; 29 (3): 185–196
- Hocking B. 1998: Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occup Med (Lond)*; 48 (6): 357–360.
- Hocking B., Westerman R. 2000: Neurological abnormalities associated with mobile phone use. *Occup Med (Lond)*; 50 (5): 366–368.
- Hocking B., Westerman R. 2001: Neurological abnormalities associated with CDMA exposure. *Occup Med (Lond)*; 51 (6): 410–413.
- Hocking B., Westerman R. 2002: Neurological changes induced by a mobile phone. *Occup Med (Lond)*; 52 (7): 413–415.
- Hocking B., Westerman R. 2003: Neurological effects of radiofrequency radiation. *Occup Med (Lond)*; 53 (2): 123–127.
- Huss A., Küchenhoff J., Bircher A., Niederer M., Tremp J., Waeber R., Braun-Fahrländer C. 2005: Electromagnetic fields and health complaints – Interdisciplinary case evaluations in an environmental medicine counselling project. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*; 10 (1): 21–28.
- Johansson A., Nordin S., Heiden M., Sandström M. 2010: Symptoms, personality traits, and stress in people with mobile phone-related symptoms and electromagnetic hypersensitivity. *J Psychosom Res*; 68 (1): 37–45.
- Kim D.W., Choi J.L., Nam K.C., Yang D.I., Kwon M.K. 2011: Origins of electromagnetic hypersensitivity to 60 Hz magnetic fields: A provocation study. *Bioelectromagnetics* (epub ahead of print); doi: 10.1002/bem.20711.
- Knave B.G., Wibom R.I., Voss M., Hedstrom L.D., Bergqvist U.O. 1985: Work with video display terminals among office employees. I. Subjective symptoms and discomfort. *Scand J Work Environ Health*; 11 (6): 457–466.
- Kowall B., Breckenkamp J., Blettner M., Schlehofer B., Schüz J., Berg-Beckhoff G. 2011: Determinants and stability over time of perception of health risks related to mobile phone base stations. *Int J Public Health* (epub ahead of print); doi: 10.1007/s00038–011–0310–4.
- Kwon M.S., Koivisto M., Laine M., Hämäläinen H. 2008: Perception of the electromagnetic field emitted by a mobile phone. *Bioelectromagnetics*; 29 (2): 154–159.
- Kwon MS, Hämäläinen H. 2011: Effects of mobile phone electromagnetic fields: Critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics*; 32 (4): 253–272.
- Landgrebe M, Hauser S, Langguth B, Frick U, Hajak G, Eichhammer P. 2007: Altered cortical excitability in subjectively electrosensitive patients: results of a pilot study. *J Psychosom Res*; 62 (3): 283–288
- Landgrebe M., Frick U., Hauser S., Langguth B., Rosner R., Hajak G., Eichhammer P. 2008a: Cognitive and neurobiological alterations in electromagnetic hypersensitive patients: results of a case-control study. *Psychol Med*; 38 (12): 1781–1791.
- Landgrebe M., Barta W., Rosengarth K., Frick U., Hauser S., Langguth B., Rutschmann R., Greenlee M.W., Hajak G., Eichhammer P. 2008b: Neuronal correlates of symptom formation in functional somatic syndromes: a fMRI study. *Neuroimage*; 41 (4): 1336–1344.
- Landgrebe M., Frick U., Hauser S., Hajak G., Langguth B. 2009: Association of tinnitus and electromagnetic hypersensitivity: hints for a shared pathophysiology? *PLoS ONE*; 4 (3): e5026.
- Leitgeb N, Schröttner J, Cech R, Kerbl R. 2008: EMF-protection sleep study near mobile phone base stations. *Somnologie*; 12 (3): 234–243
- Levallois P., Neutra R., Lee G., Hristova L. 2002: Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. *Environ Health Perspect*; 110 (Suppl 4): 619–623.

- Lowden A., Akerstedt T., Ingre M., Wiholm C., Hillert L., Kuster N., Nilsson J.P., Arnetz B. 2011: Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics*; 32 (1): 4–14.
- Lyskov E., Sandström M., Mild K.H. 2001a: Provocation study of persons with perceived electrical hypersensitivity and controls using magnetic field exposure and recording of electrophysiological characteristics. *Bioelectromagnetics*; 22 (7): 457–462.
- Lyskov E., Sandström M., Hansson Mild K. 2001b: Neurophysiological study of patients with perceived «electrical hypersensitivity». *Int J Psychophysiol*; 42 (3): 233–241.
- Marc-Vergnes J-P. 2010: Electromagnetic hypersensitivity: The opinion of an observer neurologist. *Comptes Rendus Physique*; 11 (9–10): 564–575.
- Marino A.A., Carrubba S., McCarty D.E. 2012: Response to Letter to the Editor Concerning «Electromagnetic Hypersensitivity: Evidence for a Novel Neurological Syndrome». *Int J Neurosci* (epub ahead of print); doi: 10.3109/00207454.2011.648764.
- McCarty D.E., Carrubba S., Chesson A.L., Frilot C., Gonzalez-Toledo E., Marino A.A. 2011: Electromagnetic hypersensitivity: evidence for a novel neurological syndrome. *Int J Neurosci*; 121 (12): 670–676.
- Meg Tseng M.C., Lin Y.P., Cheng T.J. 2011: Prevalence and psychiatric comorbidity of self-reported electromagnetic field sensitivity in Taiwan: A population-based study. *J Formos Med Assoc*; 110 (10): 634–641.
- Mortazavi S.M., Mahbudi A., Atefi M., Bagheri S., Bahaedini N., Besharati A. 2011: An old issue and a new look: electromagnetic hypersensitivity caused by radiations emitted by GSM mobile phones. *Technol Health Care*; 19 (6): 435–443.
- Mueller CH, Krueger H, Schierz C. 2002: Project NEMESIS: perception of a 50 Hz electric and magnetic field at low intensities (laboratory experiment). *Bioelectromagnetics*; 23 (1): 26–36.
- Nam K.C., Lee J.H., Noh H.W., Cha E.J., Kim N.H., Kim D.W. 2009: Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: a provocation study. *Bioelectromagnetics*; 30 (8): 641–650.
- Nieto-Hernandez R., Williams J., Cleare AJ, Landau S, Wessely S, Rubin G.J. 2011: Can exposure to a terrestrial trunked radio (TETRA)-like signal cause symptoms? A randomised double-blind provocation study. *Occup Environ Med*; 68 (5): 339–344.
- NISV 1999: Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV). Bern, 1999.
- Oftedal G., Wilen J., Sandstrom M., Mild K.H. 2000: Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup Med (Lond)*; 50 (4): 237–245.
- Oftedal G., Straume A., Johnsson A., Stovner L.J. 2007: Mobile phone headache: a double blind, sham-controlled provocation study. *Cephalalgia*; 27 (5): 447–455.
- Radon K., Maschke C. 1998: Gibt es Elektrosensibilität im D-Netzbereich? *Umweltmed Forsch Prax*; 3 (3): 125–129.
- Rea W.J., Pan Y., Fenyves E.J., Sujisawa I., Suyama H., Samadi N., Ross G.H. 1991: Electromagnetic field sensitivity. *Journal of Bioelectricity*; 10 (1&2): 241–256.
- Regel S.J., Negovetic S., Rössli M., Berdiñas V., Schuderer J., Huss A., Lott U., Kuster N., Achermann P. 2006: UMTS Base Station-Like Exposure, Well Being and Cognitive Performance. *Environ Health Perspect*; 114 (8): 1270–1275.
- RKI 2006: Robert Koch-Institut: Vorschlag zur Gliederung von umweltmedizinischen Kasuistiken. Mitteilung der Kommission «Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin». *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2006; 49: 485–486.
- Rössli M., Moser M., Baldinini Y., Meier M., Braun-Fahländer C. 2004: Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure – A questionnaire survey. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*; 207 (2): 141–150.
- Rössli M. 2008: Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review. *Environ Res*; 107 (2): 277–287.
- Rössli M., Huss A. 2008: Mobile phone base station exposure and symptoms. *Environ Health Perspect*; 116 (2): A62–63; author reply A64–65.
- Rössli M., Frei P., Mohler E., Hug K. 2010a: Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bull World Health Organ*; 88 (12): 887–896F.
- Rössli M., Mohler E., Frei P. 2010b: Sense and sensibility in the context of radiofrequency electromagnetic field exposure. *Comptes Rendus Physique*; 11 (9–10): 576–584.
- Rössli M., Frei P., Bolliger-Salzmann H., Barth J., Hlavica M., Huss A. 2011: Umweltmedizinisches Beratungsnetzwerk von Hausärzten: ein Schweizer Pilotprojekt. *Umweltmed Forsch Prax*; 16 (3): 123–132
- Rössli M, Hug K. 2011: Wireless communication fields and non-specific symptoms of ill health: a literature review. *Wien Med Wochenschr*; 161 (9–10): 240–250.
- Rubin G.J., Das Munshi J., Wessely S. 2005: Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosom Med*; 67 (2): 224–232.

- Rubin G.J., Hahn G., Everitt B.S., Cleare A.J., Wessely S. 2006a: Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomised provocation study. *BMJ*; 332 (7546): 886–891.
- Rubin G.J., Das Munshi J., Wessely S. 2006b: A systematic review of treatments for electromagnetic hypersensitivity. *Psychother Psychosom*; 75 (1): 12–18.
- Rubin G.J., Cleare A.J., Wessely S. 2008: Psychological factors associated with self-reported sensitivity to mobile phones. *J Psychosom Res*; 64 (1): 1–9; discussion 11–12.
- Rubin G.J., Nieto-Hernandez R., Wessely S. 2010: Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly «electromagnetic hypersensitivity»): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*; 31 (1): 1–11.
- Rubin G.J., Cleare A.J., Wessely S. 2012a: Letter to the Editor: Electromagnetic Hypersensitivity. *Int J Neurosci* (epub ahead of print); doi: 10.3109/00207454.2011.648763.
- Rubin G.J., Cleare A.J., Wessely S. 2012b: Right to Reply: Correspondence about Electromagnetic Hypersensitivity. *Int J Neurosci* (epub ahead of print); doi: 10.3109/00207454.2012.654414.
- Sandström M., Lyskov E., Berglund A., Medvedev S., Mild K.H. 1997: Neurophysiological effects of flickering light in patients with perceived electrical hypersensitivity. *J Occup Environ Med*; 39 (1): 15–22.
- Sandström M., Wilen J., Oftedal G., Hansson Mild K. 2001: Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med (Lond)* 51 (1): 25–35.
- Sandström M., Lyskov E., Hornsten R., Hansson Mild K., Wiklund U., Rask P., Klucharev V., Stenberg B., Bjerle P. 2003: Holter ECG monitoring in patients with perceived electrical hypersensitivity. *Int J Psychophysiol*; 49 (3): 227–235
- Schreier N., Huss A., Rössli M. 2006: The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Sozial- und Präventivmedizin*; 51 (4): 201–209.
- Schröttner J., Leitgeb N., Hillert L. 2007: Investigation of electric current perception thresholds of different EHS groups. *Bioelectromagnetics*; 28 (3): 208–213.
- Schröttner J., Leitgeb N. 2008: Sensitivity to electricity-temporal changes in Austria. *BMC Public Health* (8): 310.
- Silny J. 1999: Electrical hypersensitivity in humans-fact or fiction? *Zentralbl Hyg Umweltmed*; 202 (2–4): 219–233.
- Sterne J.A., Davey Smith G. 2001: Sifting the evidence-what's wrong with significance tests? *BMJ*; 322 (7280): 226–231.
- Szemerszky R., Koteles F., Lihi R., Bardos G. 2010: Polluted places or polluted minds? An experimental sham-exposure study on background psychological factors of symptom formation in «Idiopathic Environmental Intolerance attributed to electromagnetic fields». *Int J Hyg Environ Health*; 213 (5): 387–394.
- Toomingas A. 1996: Provocation of the electromagnetic distress syndrome. *Scand J Work Environ Health*; 22 (6): 457–458.
- Trimmel M., Schweiger E. 1998: Effects of an ELF (50 Hz, 1 mT) electromagnetic field (EMF) on concentration in visual attention, perception and memory including effects of EMF sensitivity. *Toxicol Lett* (96–97): 377–382.
- van Rongen E., Croft R., Juutilainen J., Lagroye I., Miyakoshi J., Saunders R., de Seze R., Tenforde T., Verschaeve L., Veyret B., Xu Z.P. 2009: Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields on the Human Nervous System. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews*; 12 (8): 572–597.
- Wallace D., Eltiti S., Ridgewell A., Garner K., Russo R., Sepulveda F., Walker S., Quinlan T., Dudley S., Maung S., Deeble R., Fox E. 2010: Do TETRA (Airwave) base station signals have a short-term impact on health and well-being? A randomized double-blind provocation study. *Environ Health Perspect*; 118 (6): 735–741.
- Wallace D., Eltiti S., Ridgewell A., Garner K., Russo R., Sepulveda .F., Walker S., Quinlan T., Dudley S., Maung S., Deeble R., Fox E. 2012: Cognitive and physiological responses in humans exposed to a TETRA base station signal in relation to perceived electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics*; 33 (1): 23–39.
- Wenzel F., Reissenweber J., David E. 2005: Cutaneous microcirculation is not altered by a weak 50 Hz magnetic field. *Biomed Tech (Berl)*; 50 (1–2): 14–18.
- Westerman R., Hocking B. 2004: Diseases of modern living: neurological changes associated with mobile phones and radiofrequency radiation in humans. *Neurosci Lett*; 361 (1–3): 13–16.
- WHO 2005: Fact sheet 296: Electromagnetic fields and public health – Electromagnetic Hypersensitivity. Geneva, 2005.
- Wiholm C., Lowden A., Kuster N., Hillert L., Arnetz B.B., Akerstedt T., Moffat S.D. 2009: Mobile phone exposure and spatial memory. *Bioelectromagnetics*; 30 (1): 59–65.
- Wilen J., Johansson A., Kalezic N., Lyskov E., Sandström M. 2006: Psychophysiological tests and provocation of subjects with mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics*; 27 (3): 204–214.
- Zwamborn A., Vossen S., van Leersum B., Ouwens M., Mäkel W. 2003: Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well-Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. TNO-report FEL-03-C148. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO). The Hague, 2003.

# > Verzeichnisse

## Abbildungen

Überblick über die Beurteilung der Gesamtevidenz gemäss GRADE	25
---	----

## Tabellen

<b>Tab. 1</b> Abwertung der Evidenzqualität	23
--	----

<b>Tab. 2</b> Aufwertung der Evidenzqualität	24
---	----

<b>Tab. 3</b> Skala der Evidenzqualität	24
--	----

<b>Tab. 4</b> Experimentelle Studien im Labor an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zu Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf physiologische Parameter	30
---	----

<b>Tab. 5</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zu Auswirkungen der hochfrequenten Nahfeldexposition (z. B. von Mobiltelefonen) auf physiologische Parameter	34
--	----

<b>Tab. 6</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zu Auswirkungen der hochfrequenten Fernfeldexposition (z. B. von Basisstationen) auf physiologische Parameter	38
---	----

<b>Tab. 7</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zum Auftreten von unspezifischen Symptomen im Zusammenhang mit niederfrequenten Feldern	44
---	----

<b>Tab. 8</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zum Auftreten von unspezifischen Symptomen im Zusammenhang mit hochfrequenter Nahfeldexposition (z. B. von Mobiltelefonen)	48
--	----

<b>Tab. 9</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zum Auftreten von unspezifischen Symptomen im Zusammenhang mit hochfrequenter Fernfeldexposition (z. B. von Basisstationen)	51
---	----

<b>Tab. 10</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zur Wahrnehmung niederfrequenter Felder.	55
---	----

<b>Tab. 11</b> Experimentelle Studien an Personen mit und ohne Elektrohypersensibilität (EHS) zur Wahrnehmung hochfrequenter Felder (Nah- oder Fernfeld).	58
--	----

<b>Tab. 12</b> Studien zum Nozebo-Effekt	65
---	----

<b>Tab. 13</b> Beobachtende Studien zu physiologischen oder psychischen Parametern bei EHS- und Kontrollpersonen ohne EMF-Exposition.	83
--	----

<b>Tab. 14</b> Experimentelle Studien zu physiologischen oder psychischen Parametern bei EHS- und Kontrollpersonen ohne EMF-Exposition	86
---	----

# > Glossar

## AM

Amplitudenmodulation: Modulationsverfahren zur Aufprägung der Information auf die hochfrequente Trägerwelle.

## Assoziation

Ein in epidemiologischen Studien statistisch festgestellter Zusammenhang zwischen einer Exposition und dem Auftreten biologischer Wirkungen. Eine Assoziation gilt als statistisch signifikant, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass sie durch Zufall erklärbar ist, unter 5 % liegt. Auch eine statistisch signifikante Assoziation bedeutet jedoch nicht notwendigerweise, dass der Zusammenhang zwischen der Exposition und der biologischen Wirkung kausal ist. Ob einer statistischen Assoziation ein kausaler Zusammenhang zugrundeliegt, wird anhand zusätzlicher Kriterien beurteilt.

## Autonomes Nervensystem

auch: vegetatives Nervensystem. Das autonome Nervensystem bildet zusammen mit dem somatischen und dem zentralen Nervensystem das gesamte Nervensystem des Menschen. Es reguliert *automatisch* ablaufende körperliche Vorgänge, die nicht direkt, teilweise aber indirekt willentlich beeinflusst werden können. Über das autonome Nervensystem werden lebenswichtige Funktionen wie Herzschlag, Atmung, Blutdruck, Verdauung und Stoffwechsel kontrolliert. Es wird nach funktionellen und anatomischen Gesichtspunkten in das sympathische und das parasympathische Nervensystem unterteilt. Der Sympathikus bewirkt eine Leistungssteigerung, der Parasympathikus dient der Regeneration und fördert den Stoffwechsel des Organismus.

## Bias

Verzerrung der Resultate durch systematische Fehler in der Anlage oder in der Erhebungsmethode von epidemiologischen Studien. Siehe auch Selektionsbias, Informationsbias, Publikationsbias.

## Blutfluss

Blutvolumen, das pro Zeiteinheit einen Punkt des Kreislaufes passiert (l/min).

## Blutvolumenpuls

Mass für die Verengung bzw. Erweiterung der peripheren Blutgefäße und damit für die Aktivität des Sympathikus bzw. Parasympathikus. Gemessen wird die Differenz zwischen maximalem und minimalem Blutvolumen innerhalb eines Herzzyklus, die auch Pulsvolumenamplitude genannt wird.

## Bonferroni-Korrektur

Statistische Methode zur Vermeidung falsch-positiver Resultate bei Durchführung zahlreicher Tests. Das gewünschte Gesamt-Signifikanzniveau (meist  $\alpha = 0.05$ ) wird durch die Anzahl der Einzeltests dividiert. Daraus resultiert das korrigierte Signifikanzniveau für jeden Einzelvergleich.

## CDMA

Code Division Multiple Access: Multiplexverfahren für die gleichzeitige Kommunikation mehrerer Telefone mit einer Basisstation; wird unter der Bezeichnung WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) in der UMTS-Technologie eingesetzt.

## CI

**Confidence Interval:** siehe Vertrauensintervall

## Crossover-Design Studie

Variante der experimentellen Studie, in der alle Teilnehmer sowohl bei Exposition als auch bei Scheinexposition getestet werden. Damit dienen sie als ihre eigenen Kontrollpersonen und die Ergebnisse lassen sich besser vergleichen.

## Confounder

siehe Störgrösse

## CW

Continuous Wave: unmoduliertes Trägersignal mit konstanter Frequenz, Phase und Amplitude.

## DECT

Digitally Enhanced Cordless Telecommunications. Systemstandard digitaler Schnurlostelefone. Frequenz: 1850 MHz.

## EEG

Elektroenzephalogramm

## Effektschätzer

siehe Risikoschätzer

## ELF

Extremely low frequency. Frequenzbereich zwischen > 0 Hz und 100 kHz

## EMF

Elektromagnetische Felder

## Epidemiologie

Wissenschaftszweig, der sich mit der Verteilung von Krankheiten in der Bevölkerung und deren physikalischen, chemischen, psychischen und sozialen Einflussfaktoren befasst.

## ERP

Event-related potential: ereignisbezogenes Potenzial der Gehirnaktivität (auch: evoziertes Potenzial)

## FDD

Frequency Division Duplex: Kommunikation zwischen Basisstation und Mobiltelefon für uplink und downlink auf separaten Frequenzen

## FDMA

Frequency Division Multiple Access: Bei Mobilfunksystemen der ersten und zweiten Generation angewendete Technik, die es mehreren Nutzern erlaubt, gleichzeitig mit einer Basisstation zu kommunizieren.

**FDTD**

Finite Differenzen Methode: Berechnungsverfahren für numerische Berechnungen der Feldverteilung und der SAR.

**FM**

Frequenzmodulation: Modulationsverfahren zur Aufprägung der Information auf die hochfrequente Trägerwelle

**Frequenz**

Anzahl der Schwingungen eines elektromagnetischen Wechselfeldes pro Sekunde

**GSM**

Global System for Mobile Communication. Digitales Mobilfunknetz der 2. Generation, Frequenzbereiche: 900 und 1800 MHz

**Hautleitfähigkeit**

Indikator für den sympathischen Teil des autonomen Nervensystems. Bei erhöhtem Sympathikotonus nimmt die Schweißdrüsenaktivität zu und führt zum Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit der Haut. Andere Bezeichnung: elektrodermale Aktivität.

**Hazard Ratio (HR)**

Mass für das relative Risiko in Überlebensanalysen

**HF: hochfrequent**

Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 300 GHz

**ICNIRP**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung)

**Informationsbias**

Die Qualität der erhobenen Information unterscheidet sich zwischen der Untersuchungs- und der Kontrollgruppe. Dadurch kann ein systematischer Fehler auftreten, beispielsweise wenn sich die Patienten aufgrund der Auseinandersetzung mit ihrer Krankheit deutlich besser an vergangene Expositionen erinnern als Gesunde (Recall Bias).

**Intrakortikale Bahnung respektive Hemmung**

Parameter für die Erregbarkeit der Grosshirnrinde, die mittels Transkranieller Magnetstimulation (TMS) untersucht werden.

**Inzidenz**

Häufigkeit des Auftretens einer Krankheit in einem bestimmten Zeitraum

**Konfidenzintervall**

siehe Vertrauensintervall

**Mikrowellen**

hochfrequente Strahlung mit einer Frequenz von 300 MHz bis 300 GHz

**Modulation**

Aufprägung der zu übertragenden Information (Ton oder Bild) auf das hochfrequente Trägersignal, entweder durch Modulation der Amplitude, der Frequenz, der Phase oder Kombinationen davon.

**MRI**

Magnetic Resonance Imaging, dt.: Magnetresonanztomographie. Bildgebendes diagnostisches Verfahren zur Darstellung von Struktur und Funktion der Organe und Gewebe im Körper.

**NF: niederfrequent**

Frequenzbereich bis maximal 100 kHz

**NISV**

Schweizerische Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

**NMT**

Nordic Mobile Telephone: analoges Mobiltelefonsystem, das vor allem in Skandinavien bis ungefähr 2007 populär war.

**Odds**

Quotient aus der Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt und der Wahrscheinlichkeit, dass es nicht eintritt (dt.: Chance).

**Odds Ratio (OR)**

Masszahl für den Schätzwert des relativen Risikos. Wird berechnet als Quotient aus der Odds in der Gruppe der Exponierten und der Odds in der Gruppe der Nichtexponierten.

**Peer-Review**

Verfahren zur Beurteilung der Qualität von wissenschaftlichen Arbeiten durch unabhängige Gutachter vor der Publikation mit dem Ziel der Qualitätssicherung der wissenschaftlichen Berichterstattung.

**Power**

Als statistische Power (auch: Teststärke) bezeichnet man die Wahrscheinlichkeit, mit der ein statistischer Test eine spezifische «richtige» Alternativhypothese auch als solche nachweist, also die «falsche» Nullhypothese ablehnt. Die statistische Power eines Tests steigt mit der Fallzahl der Studie und mit der Grösse des nachzuweisenden Unterschiedes. Wenn ein niedriges Signifikanzniveau festgelegt wird, nimmt die statistische Power ab.

**Prävalenz**

Häufigkeit einer Krankheit zu einem bestimmten Zeitpunkt

**Publikationsbias**

Es ist anzunehmen, dass Studien, in denen ein Expositionseffekt beobachtet wurde, mit einer grösseren Wahrscheinlichkeit publiziert werden als solche, die keinen Effekt nachweisen.

**REM**

Rapid eye movement: paradoxe Schlafphase mit starker Traumaktivität

**Risikoschätzer**

Mass für den statistischen Zusammenhang in epidemiologischen Studien, z. B.: Relatives Risiko, Odds Ratio.

**RR**

Rate Ratio oder Relative Risk: Verhältnis der Ereignisrate in einem bestimmten Kollektiv im Vergleich zu einem Referenzkollektiv (als relatives Risiko interpretierbar)

**SAR**

Spezifische Absorptionsrate: Mass für die Absorption von hochfrequenter Strahlung in biologischem Gewebe (W/kg)

**SAR10**

Lokale SAR gemittelt über 10 g Gewebe (W/kg)

**SAR1**

Lokale SAR gemittelt über 1 g Gewebe (W/kg)

**Selektionsbias**

Ein Selektionsbias ist insbesondere in Fall-Kontrollstudien relevant, wenn die Auswahl von Patienten und Kontrollpersonen mit einem systematischen Unterschied in Bezug auf die Exposition erfolgt ist. Beispiel: Für eine Studie zum Zusammenhang zwischen Mobiltelefongebrauch und Hirntumorrisiko werden die Patienten aus Spitalakten rekrutiert, die Kontrollpersonen aus dem Telefonbuch. Auf diese Weise können Personen ohne Festnetzanschluss (z. B. reine Mobiltelefonbenutzer) nicht als Kontrollpersonen ausgewählt werden, jedoch durchaus als Patienten. In diesem Fall wäre zu erwarten, dass sich in der Gruppe der Patienten tendenziell mehr Mobiltelefonbenutzer befinden als in der Kontrollgruppe. Dies kann eine Assoziation vortäuschen, die real nicht besteht.

**Signifikanz**

Statistisches Mass für die Irrtumswahrscheinlichkeit, ausgedrückt als p-Wert.

**SIR**

Standardized incidence rate ratio: Verhältnis der Inzidenzrate eines bestimmten Kollektivs mit der Inzidenzrate eines Referenzkollektivs unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

**SMR**

Standardized mortality rate ratio: Verhältnis der Mortalitätsrate eines bestimmten Kollektivs mit der Mortalitätsrate eines Referenzkollektivs unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

**SP**

Slow brain potential

**Störgrösse**

Engl.: confounder. Ein Faktor, der sowohl mit der Exposition als auch mit dem untersuchten Gesundheitseffekt korreliert ist. Zum Beispiel beobachtet man eine statistische Assoziation zwischen Alkoholkonsum und dem Auftreten von Lungenkrebs. Dieser Zusammenhang ist jedoch darauf zurückzuführen, dass häufiges Rauchen – der kausale Faktor für Lungenkrebs – meistens gleichzeitig mit einem höheren Alkoholkonsum einhergeht. Wird in der Analyse für die Störgrösse Rauchen kontrolliert, verschwindet die Assoziation zwischen Alkoholkonsum und Lungenkrebs.

**Surrogatmarker**

Messwert, dessen Beeinflussung in experimentellen Studien die Wirkung einer Intervention oder Exposition auf ein übergeordnetes medizinisches Phänomen, z. B. das Auftreten einer Krankheit oder eines Symptoms, anzeigen soll. Der Surrogatmarker ist meistens einfacher und schneller zu bestimmen als das Symptom oder die Krankheit selbst und wird daher oft aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bevorzugt. Möglicherweise ist das Symptom auch überhaupt nicht direkt messbar. Ein Beispiel dafür sind Angstreaktionen, die beispielsweise über die Messung der Herzfrequenz erfasst werden können.

**TEOAO**

Transiente evozierte otoakustische Emissionen: Otoakustische Emissionen sind schwache akustische Aussendungen, die aus dem Innenohr stammen und entweder spontan auftreten oder durch einen oder mehrere Reize evoziert werden. Zur Auslösung von TEOAO wird ein akustisches Signal in den abgeschlossenen Gehörgang gegeben und der resultierende Schalldruck im Gehörgang mit einem Mikrophon aufgezeichnet. Otoakustische Emissionen werden bei der Diagnostik der Innenohrschwerhörigkeit eingesetzt.

**TDMA**

Time Division Multiple Access: Im GSM-System verwendete Technik, die es mehreren Nutzern erlaubt, gleichzeitig auf der gleichen Frequenz mit einer Basisstation zu kommunizieren.

**TMS**

Transkranielle Magnetstimulation: neurologische Untersuchungsmethode, bei der mit Hilfe starker Magnetfelder Bereiche des Gehirns stimuliert oder gehemmt werden.

**UMTS**

Universal Mobile Telecommunications System: 3. Mobilfunkgeneration

**Uplink**

Kommunikation vom Mobiltelefon zur Basisstation

**Vertrauensintervall (Konfidenzintervall, confidence interval)**

Das Vertrauensintervall ist ein Mass für die Genauigkeit der statistischen Schätzung. Es gibt den Bereich an, in dem der gesuchte Wert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt. Wenn nicht anders deklariert, wird das 95 %-Vertrauensintervall angegeben.

**Videokulographie**

Methode zur Messung von Augenbewegungen mithilfe einer Videomessbrille, u.a. zur Schwindeldiagnostik

**WCDMA**

Wideband Code Division Multiple Access. Siehe CDMA.

**WHO**

World Health Organisation: Weltgesundheitsorganisation

**WLAN**

Wireless Local Area Network: drahtloses lokales Funknetz