

Projekt NEMESIS

Tagungsband

Conference Proceedings

Author(s):

Müller, Christopher; Schierz, Christoph

Publication date:

2000

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004362017>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

*Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
Fachbereich Ergonomie und Arbeit + Gesundheit
Leitung Prof. Dr. Helmut Krueger*

Projekt NEMESIS

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Elektrosensibilität in der Schweiz

(Problemstellung, Methode, Ergebnisse)

Tagungsband

Christoph Schierz, Christopher Müller (Hrsg.)

PU-00-04

© Zürich, 20. Oktober 2000, IHA

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis-----	3
Referenten-----	4
Vorwort-----	5
Umweltschutz zwischen Grenzwert und Vorsorgewert -----	8
Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder-----	18
Schutz vor nichtionisierender Strahlung in der Schweiz -----	28
Das Phänomen „Elektrosensibilität“ -----	34
„Elektrosmog“ – Wahrnehmung eines Risikos -----	42
Projekt NEMESIS: Konzept, Hypothesen und Versuchspersonen -----	51
Projekt NEMESIS: Teil 1: Methoden und Resultate des Feldversuchs-----	59
Projekt NEMESIS: Teil 2: Methoden und Resultate des Laborversuchs-----	79
Projekt NEMESIS: Synthese der Ergebnisse -----	96
Schlussbemerkungen-----	104
Anhang: Zielgrössen und erklärende Variablen -----	107

Referenten

Baumann Jürg, Dr.

Leiter Dienst Nichtionisierende Strahlung, Bundesamt für Umwelt, Wald und
Landschaft BUWAL
3003 Bern

Krueger Helmut, Prof. Dr.

Leiter des Instituts für Hygiene und Arbeitsphysiologie IHA, ETH Zürich
IHA, ETH-Zentrum NW, Clausiusstr. 25, 8092 Zürich

Leitgeb Norbert, Prof. Dr.

Leiter der Abteilung für Krankenhaustechnik des Instituts für Elektro- und
Biomedizinische Technik, TU-Graz
Inffeldgasse 18, A-8010 Graz, Österreich

Müller Christopher, Dipl. Natw. ETH

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Gruppe Physikalische Umwelt,
Projekt NEMESIS
IHA, ETH-Zentrum NW, Clausiusstr. 25, 8092 Zürich

Schierz Christoph, Dr.

Leiter der Gruppe Physikalische Umwelt am IHA, ETH Zürich
Leiter Projekt NEMESIS
IHA, ETH-Zentrum NW, Clausiusstr. 25, 8092 Zürich

Vorwort

Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen

Stellen Sie sich vor, Sie stehen vor der Aufgabe, die legendäre Nadel in einem grossen Heuhaufen zu finden. Sie sollen herausfinden, ob die Nadel überhaupt existiert, und wenn ja, wo sie anzutreffen ist und welche Eigenschaften sie hat. Sollten Sie die Nadel nicht finden, wüssten Sie nicht, ob es keine gibt oder ob Sie bei der Suche einfach falsch vorgegangen sind.

Vor eine ähnliche Aufgabe sahen wir uns gestellt, als wir uns 1995 entschlossen, das Projekt NEMESIS zu starten: Wir standen vor der Aufgabe, die sogenannte Elektrosensibilität im komplexen System Mensch zu finden. Wir sollten herausfinden, ob Elektrosensibilität überhaupt existiert, und wenn ja, bei wem sie anzutreffen ist und welche Eigenschaften sie hat. Sollten wir Elektrosensibilität nicht nachweisen können, wüssten wir nicht, ob es keine gibt oder ob wir bei der Suche einfach falsch vorgegangen sind.

Da zur Elektrosensibilität bislang sehr wenig wissenschaftliche Untersuchungen vorliegen, war das Risiko, am Schluss mit leeren Händen dazustehen, erheblich. Wir wussten jedenfalls, dass wir methodisch sehr sorgfältig vorgehen mussten. Fünf Jahre später kann ich sagen, dass sich das Risiko gelohnt hat. Nicht nur dass wir tatsächlich etwas zur Elektrosensibilität herausgefunden haben (vgl. Tabelle auf Seite 96). Wir hatten auch die bereichernde Gelegenheit, sehr nah an und mit der interessierten Öffentlichkeit arbeiten zu können.

Wie sind wir vorgegangen? Auf die Gefahr hin, das Beispiel etwas überzustrapazieren, kehren wir der Anschaulichkeit halber nochmals zur Nadel im Heuhaufen zurück. Für die drei Fragestellungen sind unterschiedliche Methoden möglich:

- a) Gibt es eine Nadel? Sie können den Heuhaufen in zwei gleich grosse Haufen teilen und jeden einzeln auf die Waage stellen. Im schwereren Haufen ist die Nadel wohl enthalten. Sie haben die Nadel dann zwar nicht gesehen, wissen nicht wo sie genau ist oder wie sie aussieht, aber die Frage wäre beantwortet. Natürlich sind dabei Schwierigkeiten vorprogrammiert. Ist die Nadel schwer genug für dieses Vorgehen? Wie bestimmen Sie, dass die Haufen gleich gross sind? Könnte

es sein, dass Sie durch Heuklumpen oder Löcher in den Haufen getäuscht werden? In unserer Feldstudie, haben wir ein ähnliches Vorgehen gewählt. Anstatt zwei Haufen haben wir in einem Feldversuch den Schlaf von einer Gruppe von Versuchspersonen in Nächten mit und solchen ohne elektrische und magnetische Felder verglichen. Der Schlaf wurde „gewogen“ mit Hilfe von Fragebögen und den Eigenschaften des Herzschlags, der Atmung und der Bewegungen im Bett. Wir achteten mit Hilfe statistischer Methoden darauf, dass der Zufall uns nicht gewisse Zusammenhänge vortäuschte. Und wir mussten auch damit rechnen, dass Elektrosensibilität bei betroffenen Personen nicht die ganze Zeit über gleich stark vorhanden ist. Jetzt können wir sagen: Elektrosensibilität ist in einer Gruppe von Personen objektivierbar. Wie bei der Nadel im Heuhaufen können wir aber mit dieser Methode nicht genau sagen, wo sie ist bzw. welche Person in der Gruppe davon betroffen ist.

- b) Wo ist die Nadel? Sie können Stellen im Heuhaufen, für die Sie einen besonderen Verdacht hegen, genauer untersuchen. Wir haben dies in einem Laborversuch mit der Elektrosensibilität getan und der Verdacht richtete sich auf die bewusste Wahrnehmung: Von der Elektrosensibilität betroffene Personen berichten oft, sie könnten die Felder spüren. Auch da zeigte sich in einem gewissen Rahmen eine Objektivierbarkeit der Elektrosensibilität.
- c) Wie sieht die Nadel aus? Dazu müssten Sie sie finden und ganz genau analysieren können. Zum Beispiel, indem Sie den Heuhaufen systematisch auseinandernehmen. Dies war nicht Bestandteil unserer Studie. Es ist aber das Vorgehen vieler wissenschaftlicher Arbeiten, die sich mit einzelnen Zellen, Organen, Nervensystemen etc. auseinander setzen. Für ein weitergehendes Verständnis der Elektrosensibilität sind solche Studien unerlässlich. Immerhin zeigte sich im Projekt, dass eine Empfindlichkeit für Felder nicht nur negative Auswirkungen haben muss und dass gewisse Möglichkeiten bestehen, die Lebensqualität von Betroffenen wieder zu verbessern.

In diesem Tagungsband werden nebst ausführlichen Einleitungen zu den bekannten Wirkungen elektromagnetischer Felder und zum Schutz davor, das Vorgehen und die Ergebnisse des Projekts NEMESIS geschildert. Noch ausführlicher kann dies der Dissertation von Christopher Müller entnommen werden (Diss. ETH Nr. 13903).

Zum Schluss möchte ich allen, welche ihre Zeit und Arbeit dem Projekt NEMESIS zur Verfügung gestellt haben, ganz herzlich danken. Mein Dank richtet sich namentlich an die Referenten dieser Tagung, an die Statistikberatung der ETH und an die Studierenden, welche sich auf die eine oder andere Art für das Projekt engagierten. Ein weiterer Dank richtet sich an unsere Geldgeber (BUWAL und PSEL), insbesondere auch dafür, dass wir ohne einschränkende inhaltliche Vorgaben an die Studie herangehen durften. Ein ganz grosser Dank geht auch an unsere Versuchspersonen für deren Bereitschaft, Unannehmlichkeiten zugunsten der Wissenschaft in Kauf zu nehmen. Last but not least ein ganz grosses Dankeschön an Christopher Müller, dessen unermüdliches Engagement wohl der wesentliche Motor dieser Studie war.

Christoph Schierz

Zürich, 20. Oktober 2000

Umweltschutz zwischen Grenzwert und Vorsorgewert

Helmut Krueger

Einleitung

Elektromagnetische Felder sind im Gespräch. Neben physiologischen, organischen Wirkungen wird eine unspezifische Beeinflussung der Befindlichkeit durch elektromagnetische Felder diskutiert. Sie ist auch Thema des Projektes Nemesis. Es ist die Frage, ob es eine Sensitivität gegenüber elektromagnetischen Felder gibt und in welcher Beziehung sie zur Sensibilität steht. Dabei wird eingeschränkt Sensitivität als eine irgendwie vermittelte Wahrnehmung definiert. Zwar kann der Mensch schwache Felder weder spüren, noch hören oder sehen, doch wird immer wieder eine unspezifische Wahrnehmung, eine indirekte Wahrnehmung von Wirkungen postuliert. Die Sensibilität wird als eine Empfindlichkeit auf Grundlage eines kognitiven Modells verstanden (Abb. 1). Ein kognitives Modell ist grundsätzlich nicht an eine spezifische oder unspezifische Wahrnehmung gebunden. Es umfasst Erfahrungen der Vergangenheit und persönliche Erfahrungen. Kognitive Modelle sind als Leitfaden, als Filter in der Flut ständig auf den Menschen einströmender sensorischer Reize lebensnotwendig.

Verkürzt ausgedrückt, dürfen Umweltfaktoren nach dem schweizerischen Umweltschutzgesetz Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaft und Lebensräume nicht gefährden, die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören (Art. 14 USG). Nach Art. 13 USG sind Einwirkungen sowohl einzeln als auch gesamthaft und nach ihrem Zusammenwirken zu beurteilen. Die Wirkung der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere sind zu berücksichtigen. Im Frühjahr dieses Jahres 2000 hat der Bundesrat der Schweiz deshalb Grenzwerte für die Begrenzung der Immissionen elektromagnetischer Felder in Kraft gesetzt. Damit sind die Diskussionen über die Auswirkungen elektromagnetischer Felder keineswegs verstummt. Teile der Bevölkerung wehren sich beispielsweise vehement gegen die Aufstellung von Basisstationen für ein flächendeckendes Mobilfunknetz. Die verschiedenen Mobilfunk-Gesell-

schaften andererseits sind gehalten und haben selbstverständlich das Ziel, in einem flächendeckendes Netz eine flächendeckende Dienstleistung anzubieten. Die nächste Runde auf diesem Gebiet ist mit der preistreibenden Versteigerung von Lizenzen für UMTS, das neue Antennen benötigt, in verschiedenen Ländern eingeleitet.

Damit stellt sich die Frage der Bedeutung von Grenzwerten und Vorsorgewerten im Umfeld elektromagnetischer Felder. Hier sollen nicht finanzielle und juristische Gesichtspunkte in die Betrachtung einbezogen werden. Diese sind zwar für die Praxis von grosser Bedeutung, sind aber gleichzeitig u.U. ein Hindernis auf dem Wege zu umweltmedizinisch vernünftigen Lösungen. Dabei soll der Aspekt einer Sensitivität speziell berücksichtigt werden.

Grundsätzlich muss festgehalten werden: nicht jede chronische Exposition ist schädlich. Nicht jede sensorische Belastung ist der Gesundheit abträglich. Jeder Organismus braucht Reize, um seine Fähigkeiten, sich mit der Umwelt auseinanderzusetzen zu entwickeln und auch zu erhalten, seien es sensorische Reize, seien es intellektuelle – informatorische Anreize, sei es eine Forderung des Kreislaufsystems im Kreislauftraining, seien es motorische Reize oder Anforderungen an das Immunsystem oder allgemein das Abwehrsystem. Im allgemeinen haben wir die bekannten umgekehrt u-förmigen Kurven. Ein Zuviel ist der Gesundheit abträglich, aber auch ein Zuwenig. Dazwischen liegt ein individuell recht verschiedenes Optimum von Belastung und Beanspruchung. Es ist die Frage nach dem vernünftigen Mass. Diese ist auf dem Gebiet sensorischer, informatorischer Belastung viel schwieriger zu beantworten als auf dem Gebiet physiologischer Belastungsfaktoren.

Im Gegensatz zum Arbeitsschutz bedeutet die Exposition in der Umwelt häufig eine dauerhafte Exposition über 24 Stunden. Damit ist die Übertragung der Erfahrungen mit akuten Expositionen nur bedingt möglich.

„Physische“ Grenzwerte

Am Beginn einer Grenzwertformulierung stehen häufig Zufallsbeobachtungen. Fallbeschreibungen mit häufig eher spekulativen Wirkungsmodellen und Kausalbeziehungen erregen die Aufmerksamkeit und sind der Ausgangspunkt für gezielte epidemiologische Studien oder Experimente. Ein typisches Beispiel ist der Fall der be-

ruflich verursachten Adenokarzinome der Nasenscheidewand bei Exposition gegenüber Hartholzstaub. Grenzwerte lassen sich aus solchen Einzelbeobachtungen im allgemeinen nicht ableiten, zumal dann nicht, wenn die Korrelation zwischen Immission und Wirkung nur schwach ist. Dieses ist heute für viele Immissionen niedriger Konzentration besonders dann der Fall, wenn ein kausales Wirkungsmodell fehlt.

Es besteht weitgehende Übereinstimmung, dass Grenzwerte in unserer Gesellschaft direkt oder indirekt naturwissenschaftlich zu begründen sind. Damit erlangen sie in unserem kognitiven Modell der Wissenschaft einen „objektivierten“ Charakter. Naturwissenschaftlich gründen Grenzwerte auf zwei Fundamenten, nämlich epidemiologischen Studien und Experimenten.

Epidemiologische Untersuchungen geben Hinweise auf die Bedeutung eines Problems und liefern im idealen Fall eine Dosis-Wirkungs-Kurve für Effekte, die mit einer Immission assoziiert sind. Liegen verschiedenen epidemiologischen Studien unterschiedliche Dosis-Effekt Modelle zu Grunde, kann davon ausgegangen werden, dass die gefundene Assoziation, die Korrelation zwischen Immission und Effekt wahrscheinlich auch auf einer kausalen Verknüpfung gründet. Bei Studien zu chronischer Exposition im sehr niedrigen Expositionsbereich, in denen es um grundsätzlich Wirkungsnachweise geht, sind aus der Klinik abgeleitete Standardwerte klinischer Normalität nicht allein von Bedeutung. Vielmehr sollte auch der Entwicklung der Werte im Laufe der chronischen Exposition Beachtung geschenkt werden.

Bei hypothetischer Ausgangslage, wie im Fall der elektromagnetischen Felder, bei denen wir ein grosse Zahl von Beobachtungen unklarer Bedeutung haben, können Experimente im Feld oder im Labor in einem ersten Anlauf mit dem Ziel durchgeführt werden, einen Effekt unter kontrollierten Bedingungen überhaupt erst einmal festzuhalten. Hierzu ist es nicht notwendig, die Exposition exakt zu bestimmen. Aber die Randbedingungen müssen so genau dokumentiert sein, dass es möglich ist, dass Ergebnis an anderer Stelle zu reproduzieren. Andernfalls ist das Ergebnis einer Untersuchung für die Grenzwertfindung belanglos. Ziel ist es auf jeden Fall, ein kausales Modell im Sinne einer verlässlichen Dosis-Wirkungs-Kurve zu erstellen.

Dosis-Wirkungs-Kurven haben im allgemeinen keinen sprunghaften Übergang zwischen schädlich und nicht schädlich. Somit haftet jedem Grenzwert eine gewisse

Unsicherheit an. Grenzwerte sind deshalb nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen immer im sozialen Konsens festzulegen. Sie sind als obere Grenze einer Exposition zu sehen. Für rein organische Wirkungen, bei denen Information keine Rolle spielt, stellen solche Grenzwerte ein vernünftiges Regulativ dar. Es lässt dann noch über die eingebaute Sicherheit (Sicherheitsfaktor) diskutieren. Schon bei kanzerogenen Stoffen treten allerdings Probleme auf, da bei sogenannten stochastischen Wirkungen vermutlich keine Null-Effekt Dosis existiert. Somit bleibt immer ein Restrisiko. Den Grenzwerten für elektromagnetische Felder liegen zwei verlässliche physiologische Modelle zu Grunde. Für niedrige Frequenzen liefert die Erregbarkeit biologischer Membranen das Modell und für hohe Frequenzen die absorbierte und in Wärme umgesetzte Strahlungsenergie, die thermische Belastung des Gewebes.

„Psychophysiologische“ Grenzwerte

Schwierigkeiten ergeben sich in solchen auf organischen Prozessen beruhenden Modellvorstellungen immer dann, wenn Information im weitesten Sinne im Spiel ist. Dieses gilt beispielsweise für das Immunsystem. Sobald die Sensibilisierung eingetreten ist, reichen geringste Mengen an Allergenen aus, eine Reaktion auszulösen, welche lebensbedrohend sein kann. Es gilt aber auch für alle Wirkungen, die in die „Psychosomatik“ hineinreichen. Ein bekanntes Beispiel ist der Lärm. Lärm hat selbstverständlich einen physiologischen Aspekt. Geräusche grosser Lautstärke können das Ohr schädigen. Bei der Beurteilung der Belastung des Ohres steht die absorbierte Energie im Vordergrund. Es ist also ein „einfach“ lösbares Problem, einen Grenzwert zu definieren. Lärm geringer Lautstärke weit unterhalb des energetischen Grenzwertes kann aber auch den Schlaf stören und u.a. den Blutdruck verändern. Schon hier handelt es sich nicht mehr allein um eine somatische Störung, sondern um eine psychosomatische, denn die Information spielt eine bedeutsame Rolle. Jedes akustische Signal bedeutet zwar energetische Belastung des Ohres, trägt aber gleichzeitig neben Energie Information. Das akustische Signal eines 40 Tonners signalisiert im Vergleich zu einem Töff mehr Bedrohlichkeit und wird deshalb bei gleicher Lautstärke in der Lästigkeit anders bewertet. Eine Bewertung, die Information mit einschliesst, hat eine starke individuelle Komponente. Wer stark auf einen Mückenstich reagiert, empfindet das Summen einer Mücke im Schlafgemach als störender als jemand, der nie gestochen wird. Das Wohlbefinden eines Menschen kann

grundsätzlich nicht losgelöst vom Aspekt der Information beurteilt werden, denn es hat immer etwas mit der Verarbeitung von Körpersignalen zu tun.

Überall dort, wo Information eine wichtige Rolle im Geschehen spielt, muss das traditionelle Grenzwertkonzept diskutiert werden. Für sensibilisierende Stoffe am Arbeitsplatz gibt es keine Grenzwerte. Es wird davon ausgegangen, dass die Betroffenen den Arbeitsplatz wechseln können und sich somit der Exposition entziehen können. Prophylaktisch hilft man sich mit der Anweisung, die Exposition möglichst gering zu halten und alle technischen Möglichkeiten zu nutzen, dieses Ziel zu erreichen. Damit sinkt die Gefahr einer Sensibilisierung. In der Umwelt muss es für Betroffene, die Möglichkeit geben sich solchen Expositionen zu entziehen. Entweder wird für Zonen gesorgt, die keine sensibilisierenden Stoffe haben, oder es müssen persönliche Schutzmassnahmen getroffen werden. Die Zahl der betroffenen spielt für die Verhältnismässigkeit der einen oder der anderen Massnahme eine wichtige Rolle. Die Haltung von Hunden oder Katzen wird nicht untersagt, weil es eine Zahl von Allergikern gibt. Diese haben die Möglichkeit, sich in ihrem Umfeld der Exposition zu entziehen.

Ein weiteres Problem stellt sich, wenn man berücksichtigt, dass die Empfindlichkeit gegenüber sensorischen Reizen und deren Verarbeitung keineswegs ein konstantes geschehen sein muss. Dieses gilt auch für die Allergien. Der Aspekt variabler Sensitivitäten gegenüber Umweltreizen erschwert das traditionelle Experiment. Dort wird von einer zeitlich unabhängigen Reproduzierbarkeit aller Experimente ausgegangen. Eine zeitlich variable Varianz der Sensitivität, die nicht einer circadianen Rhythmik folgt stellt ein erhebliches Hindernis schon beim grundsätzlichen Nachweis von Effekten dar. Lärm bei ausgeglichener Gemütslage z.B. in urlaubsähnlichen Situationen stört weniger als im psychisch belastenden Umfeld.

Gerade im psychosomatischen Bereich gilt es grundsätzlich den Aspekt der Information, des Einflusses kognitiver Modelle in die Überlegungen einzubeziehen. Physisch begründete Grenzwerte greifen in diesem Bereich nicht. Zwischen Grenzwert und Vorsorgewert – der hier als Null-Effekt Wert verstanden sein soll – muss es im sozialen Konsens einen Gestaltungsspielraum geben, der auf unterschiedliche Interessen Rücksicht nimmt. Bau und Führung einer Autobahn sind primär nicht eine naturwissenschaftliche Frage, sondern eine Frage des sozialen Konsenses.

Bei der Verarbeitung sensorischer Reize, im Bereich des Wohlbefindens, das im Umweltschutzgesetz speziell angesprochen wird, spielen Verarbeitung, Bewertung und Attribuierung von Wahrnehmungen zusammen mit den subjektiv logischen Vorstellungen, den Erfahrungen oder abstrakter den kognitiven Modellen eine wichtige Rolle. In Abb. 1 sind die Zusammenhänge schematisch verdeutlicht.

Die traditionelle Messtechnik muss sich bei sensorisch bestimmten Grenzwerten auf ein Modell der Reiz – Wahrnehmung im Sinne der Psychophysik beschränken. Beispiele finden sich nicht nur für Lärmimmissionen, sondern auch für Lichtimmissionen oder Geruchsmissionen. Der Tatsache, dass mit dieser Beschränkung nur 1/3 der Varianz erklärt werden kann, wird mit der Entwicklung von Beurteilungswerten Rechnung getragen. Beim Lärm gibt es ein Bonus und Malus System, d.h. quellspezifische Zuschläge zu den Messwerten. Der zeitliche Verlauf der Exposition wird über psychophysikalisch begründete Modell in die Beurteilungsmasse eingebracht. Beim Lärm wird beispielsweise ein äquivalenter Dauerschallpegel definiert (L_{eq}).

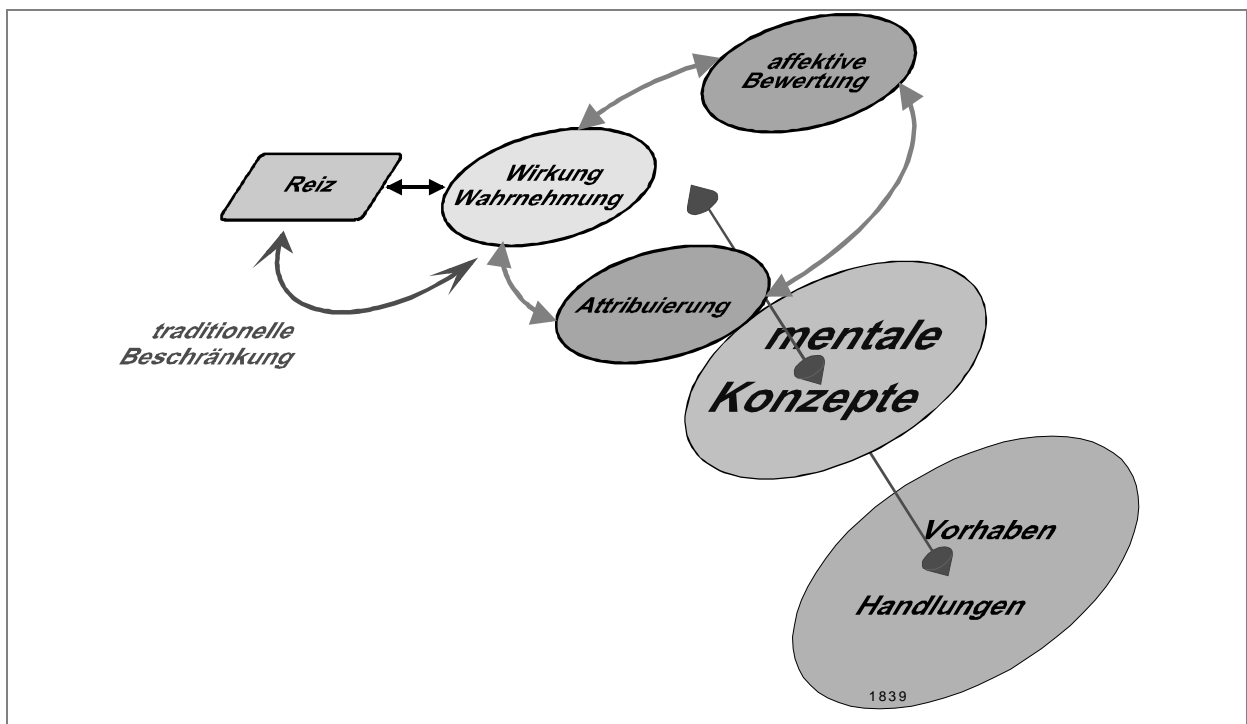


Abb. 1 Schematisches Modell von Aufnahme, Bewertung und Attribuierung von Information und deren Beziehung zu kognitiven Modellen sowie Handlungen.

Die Lästigkeit sensorischer Reize kann nur dann hinreichend erklärt werden, wenn affektive Bewertung und Attribuierung des wahrgenommenen Reizes mit berücksichtigt werden. Die Attribuierung wird vollständig und die affektive Bewertung teilweise

von mentalen Konzepten reguliert. Mentale Konzepte – Wahrnehmung – affektive Bewertung Attribuierung sind ein sich gegenseitig beeinflussendes System, das dann letztendlich Handlungen und Vorhaben der Personen bestimmt (Abb. 1).

Umweltbfindlichkeitsstörung – Kognition

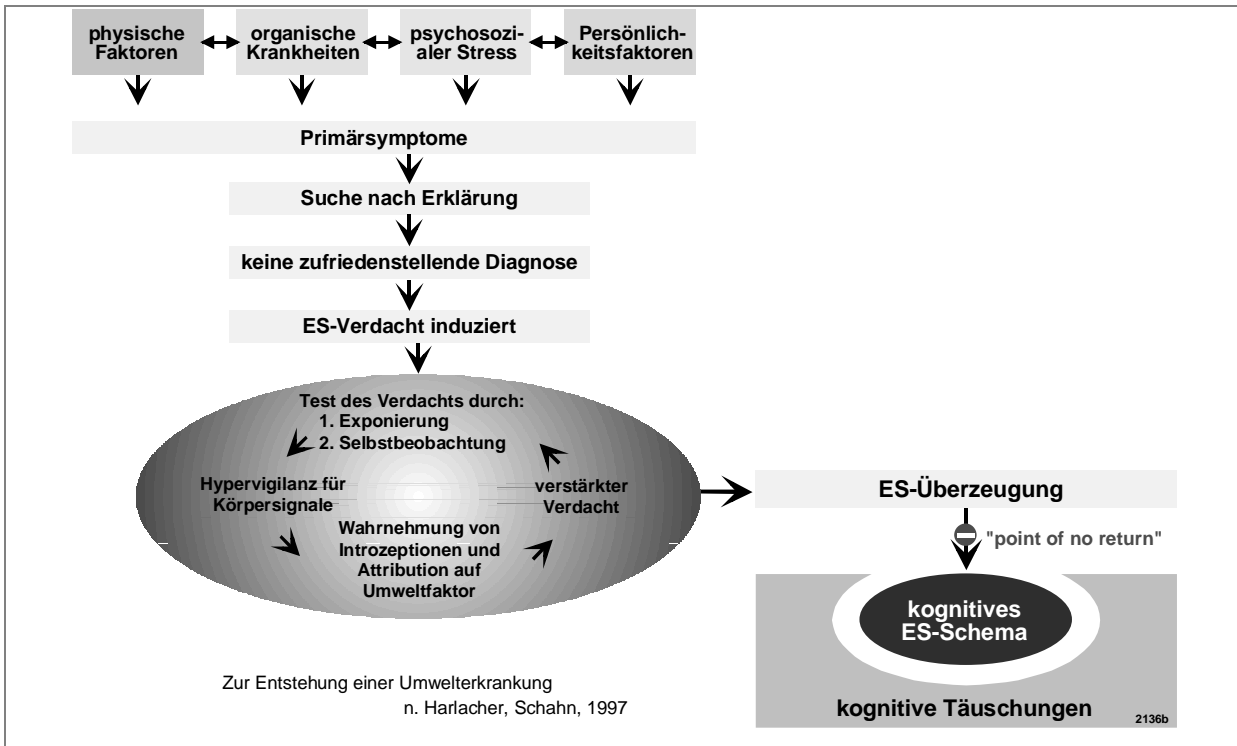


Abb. 2 Modell der Entstehung einer umweltbedingten Befindlichkeitsstörung.

Bei allen psychophysischen Umweltbelastungen spielen kognitive Modelle eine bedeutende Rolle. Eine Befindlichkeitsstörung kann also aus einem falschen kognitiven Modell ihren Anfang nehmen. Diesen Zusammenhang versucht das Modell von Harlacher und Schahn zu beschreiben. In Abb. 2 ist schematisch dargestellt, wie es auf Grund eines kognitiven Modellvorstellung zu einer umweltbezogenen Störung der Befindlichkeit kommen kann. Primäre Symptome eines allgemein gestörten Wohlbefindens (Primärsymptome) können verschiedenste Ursachen haben. Viele Umweltbeschwerden zeigen im Anfangsstadium eine solche Unspezifität. Nach der Modellvorstellung von Harlacher und Schahn ist das die Phase I. Die betroffenen Personen suchen nach einer Erklärung in der naturwissenschaftlichen Medizin, ohne eine zufriedenstellende Lösung zu erhalten. Durch Medien oder auch ärztliche Bemerkung wird der Verdacht induziert, ein Umweltfaktor könnte die Ursache sein. Genaue Selbstbeobachtung, gesteigerte Aufmerksamkeit (Hypervigilanz) für Körpersignale,

Wahrnehmung von Introzeption und Attribuierung auf den zur Diskussion stehenden Umweltfaktor verstärken den Verdacht (Phase II). Am Ende steht u. U. die kognitive Täuschung und die feste Überzeugung einer Umwelterkrankung. Somit kommt der Verarbeitung sensorischer Reize und der Sensitivität in dem Geschehen ein grosse Bedeutung zu. Jeder Mann und jede Frau kann einer solchen kognitiven Falschbeurteilung erliegen. Sie ist offensichtlich nicht an auffällige Persönlichkeitsmerkmale gebunden.

Vorsorgewerte

Naturwissenschaftliche Modelle reichen nicht für die Formulierung von Grenzwerten aus, sobald das Sensorium oder die Befindlichkeit des Menschen betroffen sind. Somit kommt dem Nachweis von sensorischen Wirkungen elektromagnetischer Felder eine wichtige Bedeutung zu. Allerdings zeigen die beiden vorangegangenen Abschnitte, dass das Feld schwieriger als bei physiologischen Grenzwerten ist. Damit müssen aus meiner Sicht Vorsorgewerte ernsthaft diskutiert werden.

Die Immissionsgrenzwerte für elektromagnetische Felder sind Grenzwerte, die naturwissenschaftlich abgesichert sind und allgemein akzeptierten Wirkungsmodellen genügen. Vielfach werden, wie bei den elektromagnetischen Feldern auch unterhalb dieser Grenzwerte Wirkungen beobachtet, die mit den Grenzwertmodellen nicht erfasst werden. In solchen Fällen ist es sinnvoll Vorsorgewerte einzuführen. Ein maximaler Vorsorgewert, ein minimaler Wert der Exposition wäre eine Schwelle unter der kein Effekt mehr beobachtet wird. Diese Forderung, die immer wieder von extremen Positionen gefordert wird, ist sicher nicht vernünftig. Dieser Wert wäre nur dann gerechtfertigt, wenn jeder beobachtete Effekt negativ belegt wird. Diese extreme Betrachtungsweise mag zwar in der Vorstellung einer Minderheit erstrebenswert sein, machte aber aus wissenschaftlicher Sicht wenig Sinn. Dagegen muss speziell in allen Fällen, in denen von Mitwirkung von Information ausgegangen werden kann, in denen beispielsweise das sensorische System betroffen ist, ein realisierbarer Vorsorgewert angestrebt werden, der unter dem gesetzlichen Grenzwert auf naturwissenschaftlicher Basis liegt. Dieses gilt vor allem im Hinblick auf psychosomatische Erkrankungen.

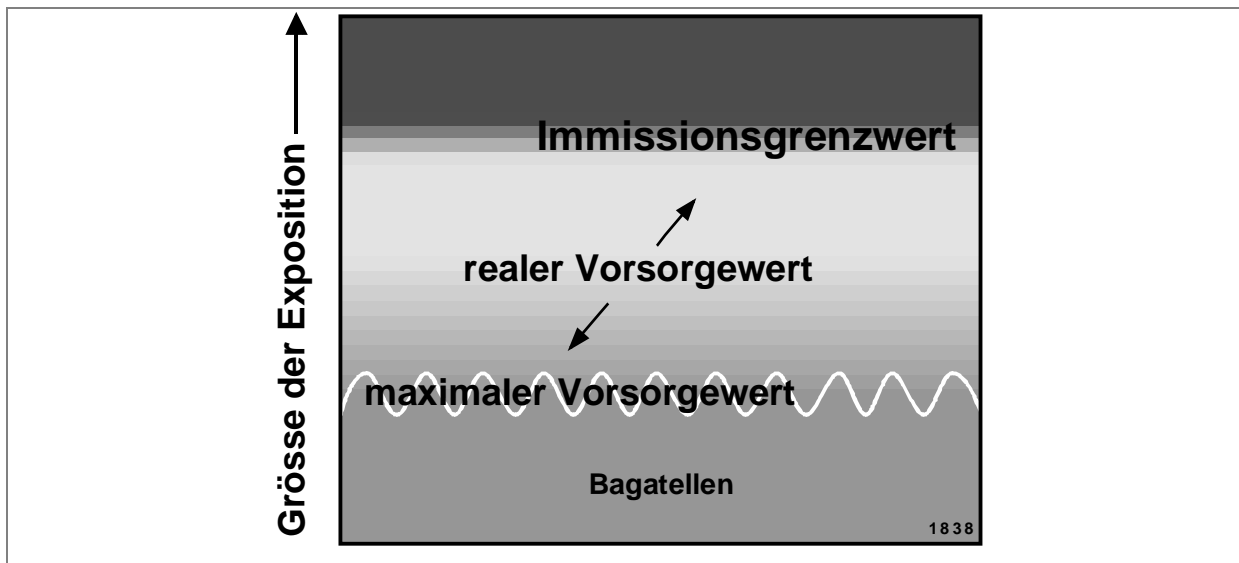


Abb. 3 Bei psychomentalen Belastungen muss grundsätzlich ein realer Vorsorgewert zwischen Immissionsgrenzwert und maximalem Vorsorgewert diskutiert werden.

Lärmschutzverordnungen sind ein gutes Beispiel für die Problematik. Beim Lärm im Umweltschutz handelt sich in der Regel nicht um primär das Ohr schädigenden Lärm, sondern um Belästigenden Lärm. Die Belästigung hängt in starkem Masse von den Erwartungen an die Gestaltung der Umwelt ab. Entsprechend der Abbildung 1 erfasst die traditionelle Messtechnik nur den ersten „physiologischen“ Schritt der Informationsverarbeitung oder besser Kognition. Somit erklären die den Lärmgrenzwerten zu Grunde liegenden Messwerte nur einen Teil der Varianz der Lästigkeitsurteile der betroffenen Personen. Aus diesem Dilemma kann man sich helfen indem man als Zielgrösse nicht die Lästigkeit nimmt, sondern physiologische Messwerte, wie den Fingerpuls oder die Störung der Sprechverständlichkeit, die sich im Gegensatz zur Sprachverständlichkeit mit aller nonverbalen Sekundärinformation einer Verständigung in akustischen Massen z.B. als Artikulationsindex ausdrücken lässt.

Zwischen maximalem Vorsorgewert und Grenzwert muss im Sinne eines realen Vorsorgewertes eine demokratische Abwägung von Interessen stattfinden, die für empfindliche Personen hinreichende Fluchtmöglichkeiten bietet. Besondere Anforderungen stellen sich für die Entscheidungsträger immer dann, wenn es sich nicht um einen punktuellen Eingriff in die Umwelt handelt, sondern eine flächendeckende Änderung der Umweltbedingungen. Besonders empfindliche Personen können sich der Exposition nur dann entziehen, wenn es Freiflächen mit keiner oder deutlich geringerer Exposition gibt. Insofern sind Vorschriften, die eine Flächendeckung fordern keine problemgerechte Lösung, die alle Interessen berücksichtigt.

Dieses muss selbstverständlich für die Betroffenen nicht zum Null-Tarif gewährleistet sein. Zu einer solchen Auseinandersetzung gehört die Diskussion, denn es handelt sich wenigstens teilweise um den Ausgleich verschiedener kognitiver Modelle. Beim Lärm ist zumindest in der Vergangenheit verschiedenen Aspekten Rechnung getragen worden. Nicht der Null-Wert der Exposition ist möglich, aber es lassen sich verschiedene Nutzungszonen ausweisen, für dann verschiedene Grenzwerte gelten. Der unterschiedlichen Bedeutung von Planungs- und Sanierungsmassnahmen wird mit verschiedenen Werten Rechnung getragen. Der Informationscharakter der Quellen ist in einem Bonus und Malussystem erfasst. Dieses beinhaltet gleichzeitig auch eine Wertung bezüglich einer politischen Wünschbarkeit. An Modellen orientierte Lärmkataster für Tag- und Nachtzeiten erlauben dem einzelnen zu reagieren.

Schlussbemerkung

Wie sehen in diesem Umfeld die Grenzwerte für elektromagnetische Felder aus? Es gibt zwei einigermaßen abgesicherte Grenzwertmodelle, die mit allen gegebenen Unsicherheiten eine obere Grenze der Exposition festlegen. Zwischen dem untersten Vorsorgewert und diesem Wert gibt es einen umstrittenen Gestaltungsspielraum. Technik-orientierte meinen die formulierten Grenzwerte reichen. Auf der andern Seite stehen die Elektrosensiblen, die zumindest als Extremposition praktisch eine Null-Exposition anstreben. Soweit eine Elektrosensitivität nachgewiesen wird, muss über reale Vorsorgewerte oder Vorsorgemassnahmen diskutiert werden, die diesem Phänomen Rechnung tragen. Hierzu gehört die Definition geeigneter Expositionsmodelle für Belastungskataster, wie sie aus dem Bereich Lärm bekannt sind. Auch können verschiedene Belastungszonen diskutiert werden.

Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder

Norbert Leitgeb

Einleitung

Ob wir es wollen oder nicht: Den technisch erzeugten elektromagnetischen Feldern kann sich in unserer zivilisierten Welt keiner entziehen, auch nicht die Experten.

Der Bereich der elektromagnetischen Felder erstreckt sich über einen riesigen Frequenzbereich (Abbildung 1). Vergleicht man die Frequenz der in unserer Umwelt vorkommenden Felder unserer Stromversorgung mit der Größe eines Sandkornes, entspricht den Mobilfunkwellen bereits die doppelte Größe des Mount Everests und die in der Medizin angewendete Röntgenstrahlung sogar dem 50fachen Durchmesser unseres Sonnensystems.

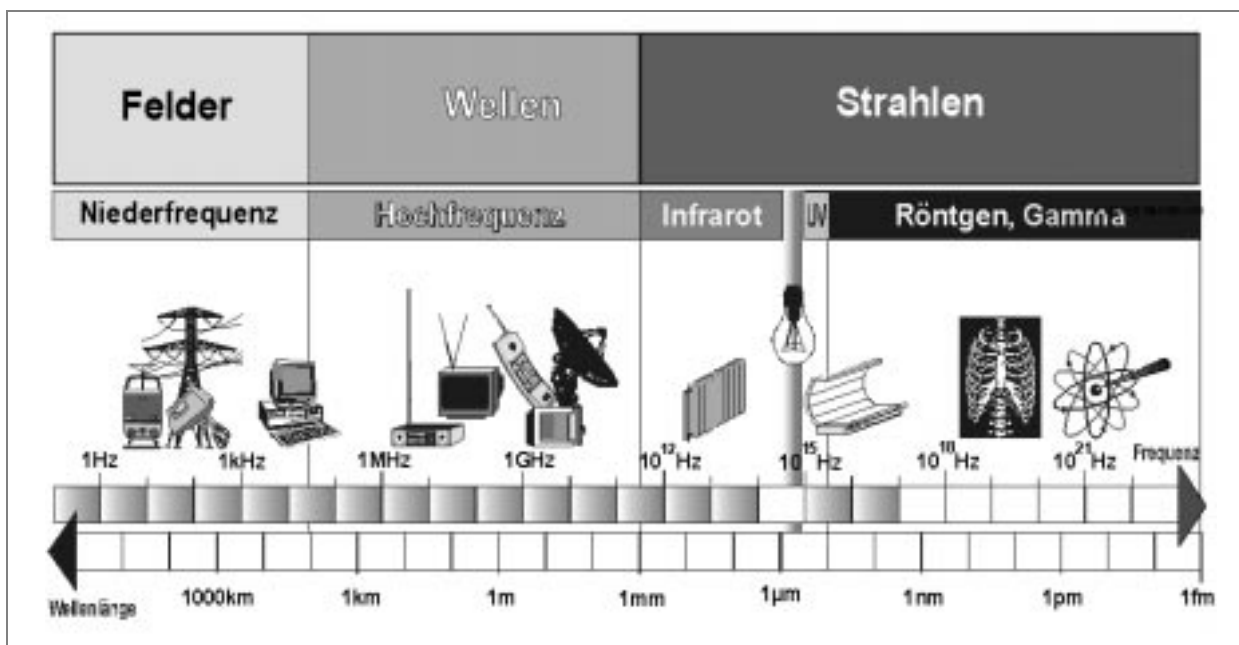


Abb. 1: Der Frequenzbereich elektromagnetischer Wellen erstreckt sich über einen riesigen Bereich, der nur durch eine logarithmische Abbildung darstellbar ist: Jedes Kästchen der Skala entspricht der Multiplikation mit dem Faktor 10.

Angesichts dieser riesigen Unterschiede ist es verständlich, daß sich die Frage, ob diese Felder unsere Gesundheit beeinträchtigen könnten, nicht einfach mit ja oder nein beantworten läßt. Die Antwort fällt nämlich für verschiedene Frequenzbereiche verschieden aus. Der Grund dafür ist, daß sowohl das physikalische Verhalten als

auch die biologischen Wirkungen wesentlich von der Frequenz abhängen. Dies gilt insbesondere auch für das Schädigungspotential. Das bedeutet z. B. daß Mobilfunkwellen und erst recht die Felder unserer Stromversorgung enorm viel ungefährlicher sind als die Röntgenstrahlung.

Geht man im Frequenzspektrum der elektromagnetischen Felder von den gefährlichen in Richtung der ungefährlichen Felder, ergibt sich bezüglich der biologischen Auswirkungen folgendes Bild:

Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung ist auch heute noch die wichtigste Stütze für die medizinische Diagnostik, auch wenn man weiß, daß ihre Anwendung mit einem Gesundheitsrisiko für den Patienten verbunden ist. Bereits die kleinste Menge (ein Strahlungsquant) ist nämlich mit einer Gewehrkuugel vergleichbar: Sie ist so energiereich, daß sie gefährlich werden kann, wenn sie auf ein Körpermolekül trifft. Wenn dadurch z. B. die Erbanlagen einer Zelle verändert werden, können Krebserkrankungen ausgelöst werden. Da jeder Treffer schädigen kann, ist Röntgenstrahlung (und Gamma-Strahlung) von Natur aus gefährlich. Je mehr Gewehrkuugeln (Röntgenquanten) auf uns abgefeuert werden, desto wahrscheinlicher wird es, daß ein Treffer stattfindet. Dabei ist es unwesentlich, ob alle Schüsse auf einmal oder über längere Zeit verteilt abgegeben werden. Zu viele Treffer in zu kurzer Zeit können allerdings die vorhandenen Reparaturmechanismen leichter überfordern. Für die biologische Wirkung der Röntgenstrahlung gilt jedoch grundsätzlich das „Sparschwein“-Modell: Für die Gefährdung ist die Gesamtsumme der einwirkenden Strahlungsquanten entscheidend: Eine geringe Strahlungsstärke kann über lange Zeit (nahezu) die gleiche Gefährdung verursachen, wie eine kurzzeitige große Strahlenbelastung.

Die Ultraviolett-Strahlung

Auch wenn die Ultraviolettstrahlung energieärmer ist als die Röntgenstrahlung, kann sie doch Moleküle und biochemische Reaktionen verändern und auf diese Weise nicht nur akute Wirkungen wie den Sonnenbrand, sondern auch ernste Spätfolgen wie Hautkrebs hervorrufen. Dabei gilt auch hier noch das Sparschwein-Modell: Das Gesundheitsrisiko steigt mit der Dauer und Häufigkeit der UV-Einwirkung. Dies ist

auch der Grund, weshalb z. B. der regelmäßige Besuch eines Bräunungsstudios nicht nur eine vorzeitige Alterung der Haut, sondern auch gravierende Gesundheitsfolgen (Hautkrebs) bewirken kann.

Sichtbares Licht

Der enorm schmale Streifen im Spektrum elektromagnetischer Wellen, den wir als sichtbares Licht wahrnehmen können, vermittelt uns nicht nur lebenswichtige Informationen über unsere Umwelt. Auch wenn unsere Netzhaut durch den direkten Blick in die Sonne (thermisch) zerstört werden kann, entfaltet das Licht seine biologischen Wirkungen vor allem indirekt. So beeinflusst Licht unsere Stimmung, unseren Biorhythmus und z. B. die Produktion von Hormonen wie das für unser Immunsystem wichtige Melatonin. Auch aus diesem Gesichtspunkt ist die seit der Einführung der künstlichen Beleuchtung erfolgte Veränderung unserer Tageseinteilung und die Verkürzung der Schlafphasen gesundheitlich bedeutsam geworden.

Infrarot-Wärmestrahlung

Ob uns die Wärmestrahlung ein wohliges Gefühl vermittelt oder gesundheitlich schädigt, hängt von der aufgenommenen Wärmeenergie ab. Wir sind zwar durch die Wärmerezeptoren in unserer Haut vor einer plötzlichen Übererwärmung gewarnt, dennoch sind bei zu intensiver Bestrahlung gefährliche Wirkungen wie Hitzekollaps oder ernste Spätfolgen wie Trübungen der Augenlinse (Feuerstar) möglich. Bei höheren Temperaturen kann die (höherfrequente) Infrarotstrahlung biochemische Wirkungen verursachen. Diese kann sich z. B. als unerwünschte Langzeitwirkung in Form der vorzeitigen Alterung der Haut zeigen, wie sie auch bei der regelmäßigen Benutzung von Infrarot-Saunas mit Hochtemperaturstrahlern zu beachten ist.

Hochfrequenzwellen

Mobilfunk- und Rundfunkwellen unterscheiden sich wesentlich von der Röntgenstrahlung: Statt mit Gewehrkugeln sind sie mit Wattekügelchen vergleichbar: Die kleinstmögliche Menge (ein Quant) ist viel zu energiearm, um eine Schädigung verursachen zu können, selbst wenn ein Molekül direkt getroffen werden würde. Lediglich eine zu große Menge könnte bedenklich sein: So wie man an zu vielen Watten-

bäuschchen ersticken könnte, könnten zu hohe Feldstärken gefährlich werden und Schädigungen verursachen. Dabei gibt es jedoch noch einen weiteren Unterschied zu den Röntgenstrahlen: Während dort die Gefährdung mit jedem weiteren Strahlenquant (linear) zunimmt, muß hier erst eine Mindeststärke überschritten werden, also ein „Zuviel“ entstehen, bevor eine Schädigung auftritt. Dabei gibt es einen weiteren Unterschied zur Röntgenstrahlung: Unterhalb dieser Mindeststärken treten keine bleibenden Veränderungen auf, die sich mit der Zeit aufsummieren könnten.

Dies bedeutet, daß für die Wirkung von (nichtionisierenden) elektromagnetischen Feldern und Wellen ein anderes, nämlich das „Automaten-Modell“ gilt. So wie bei einem Automaten das Gewünschte erst entnommen werden kann, wenn der vorgesehene Mindestbetrag an Münzen hinein geworfen worden ist, kann eine gesundheitsgefährdende Wirkung erst auftreten, wenn die Felder eine Mindeststärke überschreite; und so, wie der Automat Münzen mit zu kleinem Wert ignoriert und nicht summiert, gibt es auch bei der biologischen Auswirkung keinen Summationseffekt kleiner Feldstärken. Diese bleiben auch bei länger dauernder Einwirkung vernachlässigbar.

Die biologische Wirkung von Hochfrequenzwellen beruht primär auf der Erwärmung von Körpergewebe, ähnlich wie sie vom Mikrowellenherd bekannt ist. Da sich der Erwärmungsvorgang selbst von konventioneller Erwärmung nicht unterscheidet, muß für den Schutz der Gesundheit, nicht die Erwärmung an sich, sondern ihre Stärke begrenzt werden.

Wegen unseres Stoffwechsels erzeugt auch unser Körper ständig Wärme, in Ruhe etwa 1W/kg und bei körperlicher Anstrengung bis zum 10fachen.

Die Grenzwertempfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) orientieren sich an dieser Eigenerwärmung und begrenzen die maximal zulässige Erwärmung auf weniger als 10% dieser Wärmeleistung so, daß die zusätzliche maximale Erwärmung nicht nur den Körper nicht belastet, sondern nicht einmal die Temperaturregelungsvorgänge auslöst.

Um zu berücksichtigen, daß die gleich große Wärmemenge für Kinder grundsätzlich eine größere Belastung bedeutet als für Erwachsene, wird in den Grenzwerten die

zulässige Erwärmung auf die Körpermasse bezogen (spezifische Absorptionsrate SAR).

Körpernahe Anwendungen, die nur zu einer kleinräumigen Erwärmung führen, wie z. B. Handys, werden durch die zusätzliche Begrenzung der lokalen Erwärmung berücksichtigt.

Entsprechend diesem Konzept werden die Grenzwerte bei den unterschiedlichen Frequenzen an das jeweilige Absorptionsvermögen angepaßt. Dies ist der Grund, weshalb die Grenzwerte im Frequenzbereich der Radiosender von 30 MHz bis 300 MHz am niedrigsten sind.

Es wird heute allgemein anerkannt, daß bei Einhaltung der ICNIRP-Grenzwerte gesundheitsrelevante Wärmewirkungen ausgeschlossen werden. Da die Erwärmung nur von der aufgenommenen Wärmeenergie und nicht vom zeitlichen Verlauf der Hochfrequenzwellen abhängt, müssen Amplitudenmodulationen und Pulsationen außer durch die zusätzliche Beschränkung des Puls-Maximalwertes nicht gesondert berücksichtigt werden.

Dennoch ist damit die Diskussion über die Gesundheitsgefährdung durch Hochfrequenzfelder in der Öffentlichkeit nicht beendet. Sie entzündet sich nämlich an der Frage, ob auch andere Wirkungen möglich sind und berücksichtigt werden sollten, die nicht auf eine Erwärmung zurückzuführen sind. Die Bedeutung dieser Diskussion liegt darin, daß bei nicht-thermischen Wirkungen auch der zeitliche Verlauf, insbesondere die Pulsation der Felder, zu berücksichtigen sein könnten.

Aus physikalischer Sicht ist es unbestritten, daß es theoretisch Wechselwirkungsmodelle gibt, die nicht-thermische Wirkungen erklären würden. Es geht daher nicht darum, ob derartige Wirkungen überhaupt möglich sind, sondern ob und unter welchen Bedingungen sich diese in Gegenwart der unvermeidlichen Wärmebewegungen der Körpermoleküle (Wärmerauschen) gesundheitlich bedeutsam werden könnten.

Trotz oder gerade wegen vieler einander widersprechender Berichte über in Laborversuchen festgestellte Effekte wie z. B. die Beeinflussung von Kalziumatomen oder der Melatoninproduktion an Gewebeproben bzw. Nagetieren konnte bisher am Men-

schen weder die Existenz noch die gesundheitliche Relevanz von berichteten nicht-thermischen Effekten überzeugend nachgewiesen werden.

Da auch epidemiologische Untersuchungen an Berufstätigen oder an der Bevölkerung im Nahbereich von Verursachern von elektromagnetischen Hochfrequenzfeldern uneinheitliche und widersprüchliche Ergebnisse ergeben haben, konnte der Verdacht auf mögliche Langzeitwirkungen und insbesondere auf ein erhöhtes Krebsrisiko bisher nicht bestätigt werden.

Niederfrequenzbereich

Im Niederfrequenzbereich ist die Energie der elektromagnetischen Felder bereits so weit abgesunken, daß auch Erwärmungen nicht mehr bedeutsam werden können. Da die Schwingungen wesentlich langsamer verlaufen, ergeben sich jedoch neue Aspekte: Einerseits sind die beiden Komponenten der „elektromagnetischen“ Felder nicht mehr wie die Glieder einer Kette untrennbar verbunden. Damit sind die elektrischen und die magnetischen Felder und deren unterschiedlichen Wirkungsmechanismen getrennt zu betrachten. Beide können jedoch im Körper (durch verschiedene Mechanismen) elektrische Stromdichten verursachen.

Elektrische Vorgänge sind jedoch für unseren Körper nichts Fremdes. Dies zeigt sich daran, daß an unserer Körperoberfläche körpereigene elektrische Signale gemessen werden können (z. B. EKG, EEG, EOG, ENG, EMG, ERG). Könnten tatsächlich kleinste elektrische Störsignale unsere Körperfunktionen beeinflussen, wäre die Existenz unseres Lebens ernstlich gefährdet. Dies würde nämlich bedeuten, daß sich bereits körpereigene Vorgänge gegenseitig stören und z. B. die starken elektrischen Signale des Herzschlages (EKG) die Hirntätigkeit beeinflussen könnten. Damit dies nicht geschieht, besitzen wir einen Schutzmechanismus, der uns auch bei der Einwirkung äußerer elektrischer und magnetischer Felder zugute kommt. Er besteht darin, daß die Erregung unserer Körperzellen nicht bereits bei schwachen Signalen beginnt, sondern erst stattfindet, wenn eine Mindeststärke, die Reizschwelle, überschritten wird.

Die Grenzwerte der ICNIRP sind für die Allgemeinbevölkerung so festgelegt, daß äußere elektrische oder magnetische Felder maximal 2% der Reizschwelle erreichen dürfen. Dadurch kann eine Zellerregung mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Seit im Jahr 1979 über ein erhöhtes Leukämierisiko an Kindern in der Nähe von Stromleitungen berichtet wurde, wurde in vielen weiteren Studie die Frage nach möglichen Langzeitwirkungen von niederfrequenten elektrischen oder magnetischen Feldern sowohl in Tierversuchen als auch in zahlreichen weiteren epidemiologischen Studien untersucht. Die erhaltenen Ergebnisse sind uneinheitlich und widersprüchlich. Sie stellen keinen überzeugenden Beleg dar, daß zwischen der Krebshäufigkeit und der Einwirkung elektrischer oder magnetischer Felder ein ursächlicher Zusammenhang besteht.

Indirekte Wirkungen

Sowohl hochfrequente elektromagnetische Wellen als auch niederfrequente elektrische oder magnetische Felder können innerhalb der zulässigen Grenzwerte elektronische Geräte stören. Dies ist der Grund, weshalb in Krankenhäusern in der Nähe lebenserhaltender elektromedizinischer Geräte der Betrieb von Handys verboten wurde und weshalb Patienten mit elektronischen Geräten (z. B. Hörgeräte oder implantierte Herzschrittmacher) Verursacher erhöhter Felder (z.B. Hochspannungsleitungen, Diebstahlsicherungsanlagen, Induktionsöfen) kennen und meiden sollten.

Elektrosensibilität

Umweltängste und damit verbundene psychosomatische Beschwerden nehmen gegenwärtig zu. Dies betrifft auch die Anzahl von Personen, die am Arbeitsplatz und/oder zu Hause Krankheitssymptome mit der Einwirkung offen sichtlicher elektrischer oder magnetischer Feldquellen erklären. Der Umstand, daß sich andere Personen im allgemeinen von gleich starken Feldern nicht beeinflusst fühlen, wird von den Betroffenen dadurch erklärt, daß sie „elektrosensibel“ seien, also gegenüber elektrischen und/oder magnetischen Feldern eine übersteigerte Empfindlichkeit aufweisen würden.

In den bisherigen kontrollierten Blindversuchen konnte kein Beweis für den behaupteten ursächlichen Zusammenhang mit Krankheitssymptomen erbracht werden. Bei „elektrosensiblen“ Personen konnte bisher keine gesteigerte Empfindlichkeit festgestellt werden.

Es gibt jedoch Hinweise dafür, daß es innerhalb der Allgemeinbevölkerung eine Untergruppe mit einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber elektrischen und magnetischen Einwirkungen geben könnte. Sie zeigt jedoch unter Alltagsbedingungen keine diesbezüglichen Krankheitssymptome.

Bezüglich der Elektrosensibilität muß daher zwischen drei Fällen unterschieden werden:

- a) Das Elektrosensibilitäts-Syndrom als medizinische Bezeichnung für ein Beschwerdenbild. Dies setzt nicht zwangsläufig einen ursächlichen Zusammenhang mit elektrischen oder magnetischen Feldern voraus.
- b) Die subjektive Elektrosensibilität als Eigendefinition von Personen, die dadurch ihre (unbewiesene) subjektive Überzeugung als Erklärung für Gesundheitsbeschwerden zum Ausdruck bringen.
- c) Die objektive Elektrosensibilität als Fähigkeit von Personen, elektrische oder magnetische Einwirkung in Laborversuchen besonders früh wahrzunehmen, ohne deshalb im Alltag Gesundheitsprobleme zu haben¹.

Grenzwerte

In allen Frequenzbereichen können elektromagnetische Felder gesundheitsgefährlich werden, wenn ihre Stärke genügend groß ist. Ihre Gefährlichkeit wird jedoch mit abnehmender Frequenz immer geringer. Wegen der grundsätzlich unterschiedlichen Wirkungsweisen können die auftretenden elektromagnetischen Felder verschiedener Frequenzbereichen getrennt bewertet werden: So verstärken z. B. die Radiowellen eines Rundfunksenders die mögliche Reizwirkung starker magnetischer Felder eines Leistungstransformators nicht. Wirken verschiedene Feldquellen gleichzeitig, reicht

¹ In Projekt NEMESIS wird dieser Fall „spezifische Elektrosensitivität“ genannt.

es daher, z. B. die Einhaltung der Grenzwerte im Hochfrequenz- und Niederfrequenzbereich getrennt zu überprüfen.

Die Festlegung der Grenzwerte erfolgt unter Beachtung dreier Prinzipien:

1. Effizienz: Grundsätzlich haben Grenzwerte nämlich einen „Preis“. Wir zahlen ihn in Form von Geld (z. B. bei Autos für Airbag und Seitenaufprallschutz), von Zeit (z. B. bei Einhaltung der Geschwindigkeitsbeschränkungen) oder Unbequemlichkeit (z. B. durch Sicherheitsgurte). Grundsätzlich soll daher der erreichbare gesundheitliche Nutzen in einem von der Gesellschaft akzeptierten Verhältnis zum „Preis“ stehen. Dies setzt auch voraus, daß der Nutzen feststellbar sein muß. Diffuse Ängste sind daher keine Grundlage für die Grenzwertfestlegung.
2. Nichtdiskriminierung: Dies bedeutet, daß für gleiche Emissionen nicht ungleiche Maßstäbe angelegt werden dürfen. Die Bevölkerung hat das Recht auf gleich großen Schutz gegenüber vergleichbaren Feldquellen.
3. Verhältnismäßigkeit: Dies bedeutet, daß Grenzwerte so abgestimmt sein sollten, daß die Freiheit von Personen oder Institutionen nicht unverhältnismäßig eingeschränkt wird.

Im Bereich der ionisierenden (Röntgen-) Strahlung läßt sich ein Risiko grundsätzlich nicht ausschließen. In diesem Bereich kann es daher durch die Grenzwerte nur auf ein allgemein akzeptiertes niedriges Gefährdungsniveau beschränkt werden.

Im Bereich der optischen Strahlung (Ultraviolett, sichtbares Licht und Infrarot) kann bereits der natürliche Strahlungspegel gefährlich hoch werden. Ein zusätzlicher Schutz durch Grenzwerte ist daher auf besondere Arbeitsplatzsituationen beschränkt.

Im Hoch- und Niederfrequenzbereich sind die Wellen und Felder an sich nicht mehr gefährlich. Hier ist es möglich, die Grenzwerte so festzulegen, daß die Gesundheit vor den bekannten Gefahren mit Sicherheit geschützt ist.

Dies bedeutet nicht, daß es nicht sinnvoll sein kann, Expositionen überall dort zu verringern, wo es ohne zusätzliche Kosten möglich ist, z. B. bei der Planung der Aufstellung von Elektrogeräten, der Verlegung der Installation oder beim Kauf vergleich-

barer Geräte. Vor teuren abschirmenden Maßnahmen oder Produkten, denen kein objektivierbarer gesundheitlicher Nutzen gegenübersteht, ist jedoch abzuraten.

Literatur

- [1] Leitgeb, N.: Machen elektromagnetische Felder krank? Springer Verlag, Wien 2000

- [2] ICNIRP: Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. Health Physics 58(1990), 113-122

- [3] ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. Health Physics, 54(1988), 115-123

- [4] WHO: Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz), WHO, Genf 1993

WHO- Homepage: <http://www.who.ch>

Schutz vor nichtionisierender Strahlung in der Schweiz

Jürg Baumann

Grundsätze des Umweltschutzgesetzes

Das schweizerische Umweltschutzgesetz von 1983 verlangt unter anderem, dass Menschen durch Umwelteinwirkungen nicht gefährdet und in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich gestört werden dürfen. Mit anderen Worten: Umwelteinwirkungen dürfen weder schädlich noch lästig sein. Als eine Umwelteinwirkung gilt auch nichtionisierende Strahlung, im Volksmund "Elektrosmog". Was schädlich oder lästig ist, legt der Bundesrat auf Grund des Standes der Wissenschaft oder der Erfahrung fest. Dabei sind auch besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen zu berücksichtigen.

Zusätzlich zur oben beschriebenen Gefahrenabwehr gilt gemäss Umweltschutzgesetz der Grundsatz der Vorsorge. Demnach sollen Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, im Sinne der Vorsorge frühzeitig begrenzt werden. Eine konkrete Gefährdung muss nicht nachgewiesen sein. Als Randbedingung legt das Gesetz fest, dass vorsorgliche Massnahmen technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar sein müssen.

NEMESIS – wie es dazu kam

Gesundheitliche und weitere biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder werden seit Jahrzehnten wissenschaftlich untersucht. Das BUWAL als Umweltfachstelle des Bundes hat bereits in den Achtziger und zu Beginn der Neunziger Jahre den Wissensstand zusammentragen und bewerten lassen. Das Ergebnis lautete: Akute biologische Wirkungen intensiver elektromagnetischer Felder sind reproduzierbar belegt, und es existieren akzeptierte Modelle, welche diese Wirkungen erklären. Auf diesen allseits akzeptierten Wirkungen basieren die seither von internationalen Gremien empfohlenen Grenzwerte.

Bei diesem streng wissenschaftlichen Vorgehen blieben jedoch Alltagserfahrungen ausgeklammert. Solche Erfahrungen gab es durchaus. Personen klagten über Be-

findlichkeitsstörungen, Schlafprobleme, Kopfschmerzen und andere unspezifische Symptome sowie über Besserung, wenn durch Elektrosanierungen in ihrer Wohnung oder durch Wohnsitzwechsel die Belastung durch Elektromog reduziert worden war. Für die Betroffenen und ihre Betreuer war es naheliegend, diese Beschwerden den elektrischen und magnetischen Feldern zuzuschreiben. Sie taten dies denn auch mit teilweise grosser Vehemenz. Als Umschreibung für diese Symptomatik bürgerte sich der Begriff "Elektrosensibilität" ein. Diesen Erfahrungen haftete jedoch der Makel an, dass sie selten ausreichend dokumentiert waren und "nur" auf subjektiven Wahrnehmungen der Betroffenen beruhten. Damit konnte auch nicht ausgeschlossen werden, dass sowohl die Symptome selbst wie deren Verschwinden nach einer baubiologischen Sanierung nicht ursächlich mit dem Elektromog, sondern eher mit der Einstellung der Betroffenen zu tun hatten. Die Schulmedizin stand diesen Befunden eher ratlos gegenüber und von wissenschaftlicher Seite war Zurückhaltung festzustellen, diese Erfahrungen mit wissenschaftlichen Methoden näher zu untersuchen.

Auch wenn diese Hinweise wissenschaftlich noch nicht "salonfähig" waren, lösten sie im BUWAL Unbehagen aus. Denn wenn es tatsächlich eine besonders empfindliche Gruppe von Personen gab, die Wissenschaft und Politik bisher übersehen hatten, dann wären die bisherigen Schutzempfehlungen für diese Gruppe ungenügend. Beunruhigend war vor allem, dass die genannten Symptome bei Belastungen auftraten, die um den Faktor hundert bis tausend niedriger waren als die angeblich Schutz garantierenden internationalen Grenzwerte.

Mitte der Neunziger Jahre waren es vor allem die elektrischen und magnetischen Felder der Stromversorgung (elektrische Hausinstallationen, Elektrogeräte, Hochspannungsleitungen und Transformatoren), die elektrosensible Personen für ihre Beschwerden verantwortlich machten. In den letzten zwei Jahren haben die Mobilfunk-sender diesen Platz eingenommen.

Anfang 1996 entschied sich das BUWAL, eine wissenschaftliche Untersuchung zur Frage der "Elektrosensibilität" durchführen zu lassen. Es sollten für einmal nicht, wie bei früheren Humanstudien üblich, junge, gesunde Männer, sondern gezielt Personen untersucht werden, die sich selber als elektrosensibel einstufen. Das Schwergewicht sollte auf die Felder der Stromversorgung gelegt werden. Folgende Fragen wurden formuliert:

- Existiert Elektrosensibilität objektiv²? Oder anders gefragt: Stehen die erfahrenen Symptome messbar im Zusammenhang mit schwachen elektrischen oder magnetischen Feldern?

Wenn ja:

- Welche (externen und persönlichen) Einflussfaktoren sind von Bedeutung?
- Wie verbreitet ist dieses Syndrom?

Es ging somit erst einmal darum, dem Phänomen Elektrosensibilität mit wissenschaftlichen Methoden empirisch auf die Spur zu kommen.

Es ist nicht selbstverständlich, dass Wissenschaftler bereit waren, sich dieser Aufgabe anzunehmen. Weil in elektrobiologischen Kreisen auch Ängste geschürt und zum Teil Panik verbreitet wurde, hatte das Thema etwas Unwissenschaftliches, ja gar Anrüchiges an sich. Im Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich fand sich ein Partner, der sich dieser Herausforderung stellte. Der Untersuchungsgruppe wurde in der Detailgestaltung viel Freiraum eingeräumt. Sie schlug vor, primär die Beeinflussung des Schlafes zu untersuchen und konstruierte zu diesem Zweck eigens ein Messgerät, den sog. "Dormographen", mit dem die Schlafenden in der vertrauten Umgebung zu Hause berührungsfrei überwacht werden konnten. Sie rekrutierte in Zusammenarbeit mit Elektrobiologen etwa 50 elektrosensible Probanden und führte mit ihnen Interviews, eine ca. 4 wöchige Schlafregistrierung und Laborexperimente durch und wertete diese nach allen Regeln der Statistik aus.

Heute, nach viereinhalb Jahren Arbeit, ist diese Untersuchung abgeschlossen und die Ergebnisse können vorgestellt werden. Ohne diese im Einzelnen vorwegzunehmen, darf sicher festgestellt werden, dass die Untersuchung methodisch viel Neues gebracht hat. Zum ersten wurden elektrosensible Personen mit ihren Beschwerden ernst genommen. Zum zweiten war es wohl weltweit die erste Untersuchung im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern, in der Probanden nicht nur während kurzer Zeit getestet, sondern ganze vier Wochen lang in einem Schlafexperiment

² Eine objektiv nachweisbare Elektrosensibilität wird in Projekt NEMESIS „Elektrosensitivität“ genannt.

untersucht wurden. Schliesslich ist mit dem Dormographen ein universell einsetzbares Instrument entwickelt worden, das hoffentlich noch in weiteren Schlafuntersuchungen zum Einsatz kommen wird.

Für die Probanden stellte die Teilnahme an der Studie ein gewisses Risiko dar, das Risiko nämlich, ihre Überzeugung, elektrosensibel zu sein, im kontrollierten Experiment nicht bestätigt zu finden. Dass sie sich trotzdem zur Verfügung gestellt haben, sei ihnen an dieser Stelle bestens verdankt.

Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)

Während die Untersuchung NEMESIS lief, bereitete das BUWAL die NIS-Verordnung vor, welche durch den Bundesrat auf 1. Februar 2000 in Kraft gesetzt wurde. Der Bundesrat sah sich vor der schwierigen Aufgabe, trotz lückenhafter Kenntnis über die gesundheitlichen Wirkungen, insb. über Langzeitwirkungen, eine Schutzverordnung zu erlassen, die die Bevölkerung vor schädlichen oder lästigen Wirkungen schützt. Wie im Umweltschutz vorgeschrieben, sollte dies auf Grund der wissenschaftlichen Kenntnisse oder der Erfahrung geschehen. Der Bundesrat hat die bislang vorliegenden Erfahrungsberichte elektrosensibler Personen nicht als genügend validiert betrachtet, um darauf Schutzgrenzwerte abzustützen. Er hat sich daher auf die wissenschaftlich etablierten Kenntnisse beschränkt, war sich jedoch bewusst, dass damit die anspruchsvollen Schutzkriterien des Umweltschutzgesetzes wahrscheinlich nicht vollständig umgesetzt waren. Im erläuternden Bericht zur NISV ist dies wie folgt ausgeführt:

“Die ICNIRP-Grenzwerte³ vermögen somit mit Sicherheit bestimmte nachgewiesene Schädigungen zu vermeiden. Hingegen vermögen sie den umfassenderen Kriterien des Umweltschutzgesetzes nicht zu genügen. Denn das USG⁴ verlangt, dass Immissionsgrenzwerte nicht nur nach dem Stand der Wissenschaft, sondern auch

³ ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung).

⁴ USG: Umweltschutzgesetz

nach dem Stand der Erfahrung festgelegt werden müssen. Zudem müssen dabei nicht nur die Wirkungen auf die allgemeine Bevölkerung, sondern auch die Wirkungen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere, berücksichtigt werden.

Angesichts dieser Sachlage müsste die Schweiz eigentlich eigene Immissionsgrenzwerte schaffen, die den Kriterien des USG entsprechen. Davon hat man allerdings abgesehen, insbesondere deshalb, weil dies auf der vorliegenden Datenbasis noch nicht möglich war. Statt dessen wurde folgendes Konzept gewählt:

- Als Immissionsgrenzwerte werden vorläufig die Grenzwerte der ICNIRP übernommen. Diese Grenzwerte sind Minimalanforderungen und müssen ohne Ausnahme überall eingehalten werden, wo sich Menschen aufhalten können. Erfahrungsgemäss ist dies in der heutigen Umwelt an praktisch allen für die Bevölkerung zugänglichen Orten der Fall.*
- Ergeben sich neue, vertiefte Erkenntnisse über die Wirkung schwacher nichtionisierender Strahlung, so sind die Immissionsgrenzwerte entsprechend zu revidieren, sei es im Rahmen der ICNIRP oder durch Erlass eigener, schweizerischer Immissionsgrenzwerte.*
- In der Zwischenzeit soll die beschränkte Schutzwirkung der aktuellen Immissionsgrenzwerte durch wirksame Vorsorgemassnahmen ergänzt werden. Aus diesem Grunde kommt dem Vorsorgeprinzip, das heisst der vorsorglichen Emissionsbegrenzung nach den Artikeln 1 und 11 des USG, im vorliegenden Falle eine ganz besondere Bedeutung zu.”*

Die Untersuchung NEMESIS sollte die Kenntnisse über die Wirkungen schwacher elektrischer und magnetischer Felder der Stromversorgung verbessern, insbesondere klären, ob objektivierbar eine Bevölkerungsgruppe existiert, die auf diese Felder besonders empfindlich reagiert. Eine eindeutige Bestätigung wäre Anlass, die Immissionsgrenzwerte radikal zu überdenken.

Für eine umfassende Würdigung der Studienergebnisse ist es noch zu früh. Doch scheint es nach der ersten Durchsicht, dass die Resultate nicht einfach zu interpretieren sein werden und wohl nicht die erhoffte klare Antwort liefern. Das Phänomen

“Elektrosensibilität” ist zwar in Einzelfällen objektivierbar, in seiner Ausprägung jedoch komplex und teilweise widersprüchlich. Es muss deshalb zur Zeit offen bleiben, ob und wann die Resultate der Studie zu einer Anpassung der Immissionsgrenzwerte der NIS-Verordnung führen werden.

Wie bereits dargelegt, enthält die NIS-Verordnung nicht nur Immissionsgrenzwerte zur Abwehr von bekannten Gefährdungen, sondern sie misst auch der vorsorglichen Begrenzung von Langzeitbelastungen grosses Gewicht bei. Vorsorge gründet auf der Einsicht, dass die Kenntnisse über Gesundheitsrisiken unvollständig sind und dass vorbeugen besser ist als heilen. Der Bundesrat hat zu diesem Zweck in der NISV sog. Anlagegrenzwerte festgelegt. Diese dienen dazu, die Langzeitbelastung der Bevölkerung weit unter den Immissionsgrenzwerten zu halten, im Fall der Felder der Stromversorgung im Langzeitmittel auf unter einem Prozent. In Tabelle 1 sind die Grenzwerte der NIS-Verordnung für Felder und Anlagen der Stromversorgung zusammengestellt.

Tab. 1: Immissions- und Anlagegrenzwerte in der NIS-Verordnung für Felder und Anlagen der Stromversorgung (50 Hz)

	Elektrische Feldstärke (V/m)	Magnetische Flussdichte (μ T)	Bezug	Ist einzuhalten	
				Wo	Wann
Immissions- grenzwert	5000	100	Gilt für die <u>Summe</u> aller vorhandenen 50 Hz-Felder	Überall, wo sich Men- schen aufhalten können (auch nur kurzfristig)	Jederzeit
Anlage- grenzwert	---	1	Gilt für das Magnetfeld <u>einer</u> Anlage	An Orten mit empfindlicher Nutzung (Langzeitaufenthalt)	Bei maximaler Auslastung der Anlage

Das Phänomen „Elektrosensibilität“

Christopher H. Müller

Der Ausdruck „Elektrosensibilität“ bezeichnet ein Phänomen, bei dem Menschen subjektiv Gesundheitsstörungen erleben, sobald sie sich in der Nähe von Feldquellen aufhalten. Obwohl das Wort die elektrischen und magnetischen Felder als Ursache und die äusserst formenreichen Symptombilder betroffener Menschen als Wirkung suggeriert (Kausalzusammenhang), konnte bis heute kein Beweis dafür erbracht werden. Im Gegensatz zum Begriff Elektrosensibilität umschreibt der Begriff Elektrosensitivität die Fähigkeit, elektrische und magnetische Felder direkt oder indirekt wahrnehmen zu können. In Tab. 1 sind die beiden Begriffe entsprechend der weiteren Verwendung im Text definiert:

Tab. 1: Begriffsdefinitionen „Elektrosensibilität“ und „Elektrosensitivität“

Bezeichnung	Definition
Elektrosensibilität	Unbewiesene subjektive Überzeugung, dass die festgestellten Symptome und Beschwerden auf elektrische und magnetische Felder zurückzuführen sind und dass man selber sehr empfindlich dafür sei
Elektrosensitivität	spezifische Nachweisbare direkte Wahrnehmung elektrischer und/oder magnetischer Felder
	unspezifische Nachweisbare indirekte Wahrnehmung elektrischer und/oder magnetischer Felder, z.B. in Form von Beschwerden

Eine Projektgruppe aus elf europäischen Wissenschaftern untersuchte das Phänomen auf verschiedenen Ebenen. Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus dem Bericht sind, dass bisher kein Kausalzusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und Elektrosensibilität nachgewiesen werden konnte, keine diagnostischen Kriterien verfügbar sind, grosse interindividuelle und geografische Unterschiede in der Ausprägung der Elektrosensibilität bestehen, bisherige Untersuchungen zu möglichen Wirkmechanismen keine direkte Verbindung zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und Gesundheitsstörungen nachweisen konnten

und dass sehr wahrscheinlich viele verschiedene Faktoren (physikalisch, psychisch und psychosozial) mitbeteiligt sind⁵.

Fallberichte und Beobachtungen

Viele Menschen klagen über Symptome wie Schlafstörungen, Müdigkeit am Tag, Kopfschmerzen und Hautausschlägen, für die sie lange Zeit keine klare Ursache finden konnten. Die Betroffenen können sogar eine jahre- bis jahrzehntelange Odyssee hinter sich haben, bis sie auf einen möglichen Zusammenhang zwischen „Elektromog“ und Gesundheitsstörungen aufmerksam gemacht werden (durch eigene Erfahrungen, durch Drittpersonen). Ist die Aufmerksamkeit auf diesen hypothetischen Zusammenhang gelenkt, schreiben sie die Beschwerden und Symptome ursächlich den elektrischen und magnetischen Feldern zu. Anhand von Selbstversuchen und intensiver Selbstbeobachtung wird der Verdacht verstärkt, durch elektrische und magnetische Felder in negativer Weise belastet zu sein. Da der Arzt in vielen Fällen keine Ursache für die Beschwerden findet, kann er die Elektrosensibilitäts-Hypothese nicht widerlegen, was schliesslich als Bestätigung interpretiert wird. Die von unterschiedlich involvierten Personen (zum Beispiel Pendler, Rutengänger, Natur- und Alternativärzte, Elektro- und Baubiologen) geäusserten Vermutungen und Befürchtungen eines negativen Einflusses von elektrischen und magnetischen Feldern, (vermeintlich „unbewusste“) Reaktionen bei Kindern und Haustieren und deutliche Verbesserungen nach Sanierungen und Wohnortwechseln werden von den Betroffenen oft als handfeste Beweise für einen Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und den diffusen Symptomen gewertet. Da bei solchen Massnahmen weit mehr als nur die Feldsituation verändert wird und da die Sanierungen in der Regel nicht ohne das Wissen der betroffenen Personen (meist Auftraggeber) durchgeführt werden, kommen deshalb viele verschiedene Ursachen für die Verbesserungen in Frage. Erfahrungswerte sind in der Regel von vielen nicht kontrollierten physikalischen, psychischen und sozialen Störfaktoren beeinflusst. Eine wissenschaftliche Untersuchung biologischer Effekte von elektrischen und magnetischen Feldern, die sich einzig auf Erfahrungswerte und Fallberichte stützt, würde folglich

⁵ Bergqvist, U., E. Vogel, et al. (1997). Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. Solna, S, National Institute for Working Life.

einmal ein richtiges, einmal ein falsches Ergebnis liefern, wobei man das richtige vom falschen nicht unterscheiden kann.

Studien zu Elektrosensibilität und Elektrosensitivität

Die Frage, ob bestimmte Personen gegenüber elektrischen oder magnetischen Feldern und elektromagnetischer Strahlung besonders empfindlich sind, wurde verschiedentlich überprüft: Rea und Mitarbeiter⁶ testeten Personen, die sich selber als elektrosensibel bezeichneten, auf Reaktionen, die durch ein inhomogenes Magnetfeld von 2.9 μT (Boden) bis 0.07 μT (Höhe der Arme) und drei Minuten Dauer hervorgerufen wurden. Dabei präsentierten sie 21 verschiedene Frequenzen der Bereiche 0.1 bis 100 Hz, 1 kHz bis 100 kHz respektive 1 MHz bis 5 MHz (Rechteck-Signale). In einem ersten Schritt wurden aus 100 Probanden in einem Blind-Versuch 25 ermittelt, die eine messbare Reaktion auf die Provokation zeigten nicht aber auf die Placebos⁷ ansprachen. Im zweiten Schritt wurden diesen 25 Versuchspersonen gleich viele „gesunde“ Probanden in einer Doppelblind-Studie gegenübergestellt. Die insgesamt 16 Probanden mit nachgewiesenen Effekten, wurden zwei weiteren Doppelblind-Versuchen unterworfen, bei denen aber jeweils nur mit der Frequenz provoziert wurde, bei der die Patienten am stärksten reagierten. Acht Probanden reagierten auf 50 Hz, während bei den restlichen vor allem Effekte nach Exposition mit den niedrigsten Frequenzen (0.1 bis 10 Hz) beobachtet wurden. In der letzten Versuchsphase wurde die Provokation in eine Reihe von je 5 Placebo-Situationen eingebettet: Die Versuchspersonen reagierten ausschliesslich auf die Provokation und nie auf das Placebo. Die Reaktionen waren sehr vielschichtig und reichten von neurologischen, kardiovaskulären (Anstieg der Pulsfrequenz um 40%) und gastrointestinalen Symptomen bis hin zu Engegefühl, Muskelkrämpfen, Druck in den Ohren und Atemnot (Absinken der Lungenfunktion um 20%). Zwei Patienten zeigten verzögerte Reaktionen, die fünf Stunden bis drei Tage anhielten.

⁶ Rea, W. J., Y. Pan, et al. (1991). "Electromagnetic field sensitivity." *Journal of Bioelectricity* **10**(1+2): 241-256.

⁷ Placebo: hier Nullexposition

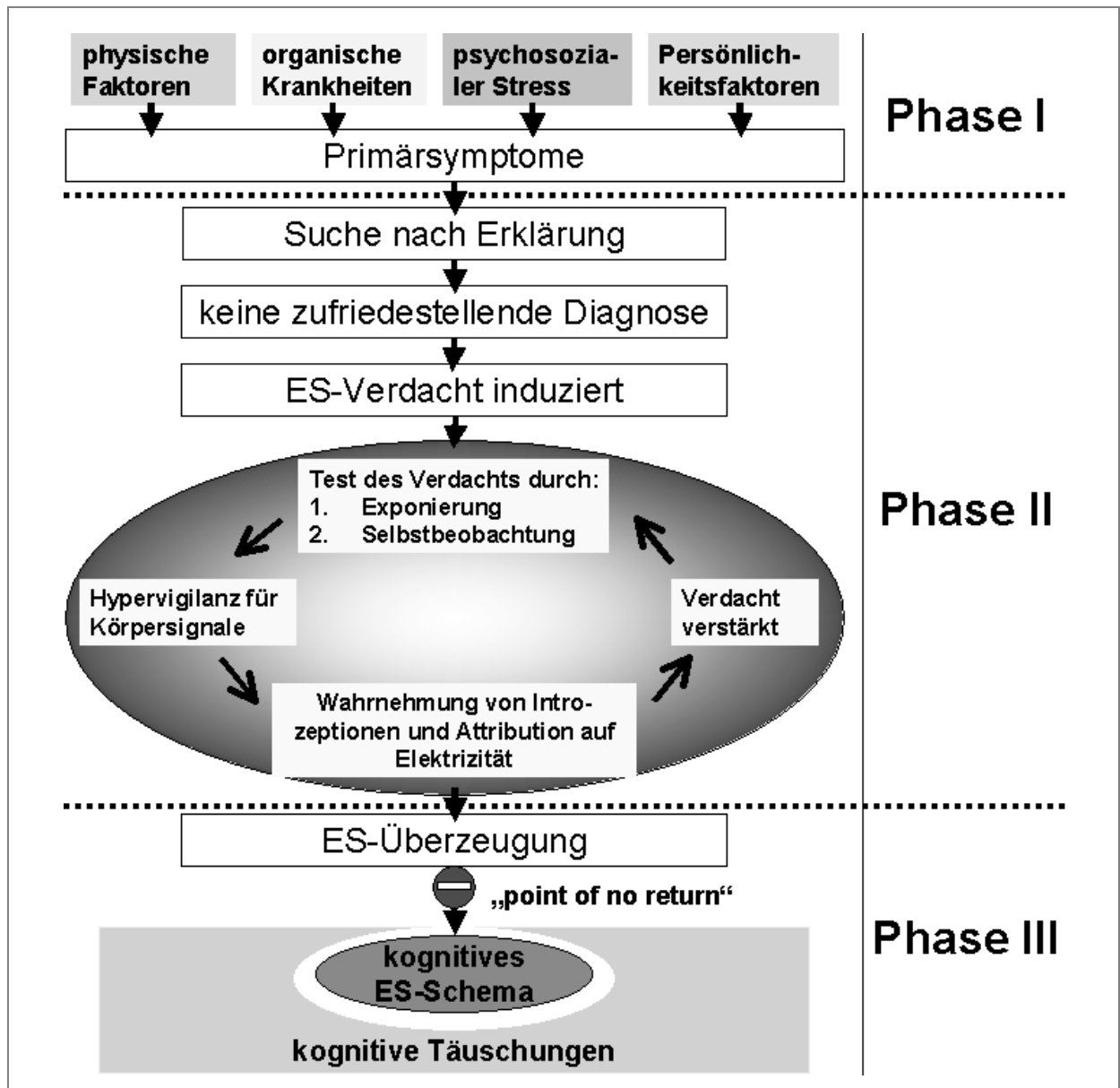


Abb. 1: Vorschlag eines Erklärungsmodells für die Elektrosensibilität (ES), vereinfacht nach Harlacher und Schahn (1998). Die Untersuchungen im Projekt NEMESIS konzentrieren sich auf den Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und „physischen Faktoren“.

Harlacher und Schahn⁸ modellierten die komplexen Zusammenhänge des Phänomens anhand der gesammelten Erkenntnisse aus Schwedischen Studien (Abb. 1) und untersuchten die Entwicklung der Krankheit von den auslösenden Symptomen (Phase I: Primärsymptome unbekannter Ursache), über die Bildung der Annahme,

⁸ Harlacher, U. and J. Schahn (1998). "Elektrosensitivität" - ein psychologisches Problem? Umwelt und Gesundheit. Die Verbindung ökologischer und gesundheitlicher Ansätze. E. Kals, Psychologische Verlagsunion: 151-172.

elektrosensibel zu sein (Phase II: Hinweise aus persönlichem Umfeld, aus den Medien oder von Ärzten und Heilern, Test der Hypothese und Attribution der Primärsymptome auf Elektrizität) bis hin zur Elektrosensibilitäts-Überzeugung (Phase III: Entwicklung und Aufrechterhaltung eines kognitiven Elektrosensibilitäts-Schemas).

Viele Menschen leiden von Zeit zu Zeit an diffusen Gesundheitsstörungen, für die keine klaren Ursachen gefunden werden. Der Erklärungsnotstand, der sich aus diesem Umstand ergibt, bringt die Betroffenen dazu, alle möglichen Ursachen als die effektive zu vermuten. Der Verdacht wird beispielsweise durch reisserische Medienberichte oder durch Hinweise aus dem persönlichen Umfeld auf die elektrischen und magnetischen Feldern gelenkt. Dieser Verdacht wird an sich selbst getestet, wobei sich in einigen Fällen der Verdacht zu einer Überzeugung wandelt, die sich kaum mehr auflösen lässt. Der dazu notwendige „Beweis der Unbedenklichkeit von elektrischen und magnetischen Feldern“ kann prinzipiell nie erbracht werden.

Erste Pilotversuche, in denen subjektiv elektrosensible Patienten psychologisch betreut und behandelt wurden, zeigten eine wesentliche Verbesserung der Lebenssituation der Betroffenen. Andersson et al.⁹ unterzogen 17 subjektiv elektrosensible Patienten jeweils vor und nach doppelblind-Provokationen einer psychologischen Behandlung. Die subjektive Einschätzung der Symptome wurde notiert und Blutproben auf Stressparameter untersucht. Die getestete Gruppe subjektiv Elektrosensibler reagierte zwar nicht auf die Feld-Provokation, dafür bewirkte die psychologische Behandlung, dass sich die Patienten durch die Elektrosensibilität weniger belastet einstuften. Der Anhaltspunkt wurde in der Folge hauptsächlich in Skandinavien genauer untersucht. Wurden subjektiv elektrosensible Menschen von einem Arbeitsmediziner untersucht, führte das bei 25 bis 50% der Patienten dazu, dass sie sich besser fühlten oder sogar wieder arbeiten konnten^{10,11}. Eine Reduktion der totalen Arbeitszeit

⁹ Andersson, B., M. Berg, et al. (1996). "A cognitive-behavioral treatment of patients suffering from "electric hypersensitivity": subjective effects and reactions in a double-blind provocation study." *J Occup Environ Med* **38**(8): 752-758.

¹⁰ Gustavsson, P. and L. Ekenvall (1992). "[Shorter working periods at video display terminals may diminish symptoms of hypersensitivity to electricity]." *Lakartidningen* **89**(48): 4141-2.

¹¹ Hillert, L. (1993). A follow-up study on health complaints of patients with hypersensitivity to electricity. *Indoor Air '93*, Helsinki (SF).

am Bildschirm erleichterte es den Patienten in der Regel, wieder in den Arbeitsprozess einzutreten. In Schweden werden im Zusammenhang mit der Elektrosensibilität vornehmlich Hautsymptome beklagt. Die „experimentelle“ Behandlung durch einen Hautarzt, der sich speziell viel Zeit für das Patientengespräch nahm und insbesondere auch psychosoziale Faktoren berücksichtigte, führte dazu, dass 30 von 80 Patienten wieder gesund wurden¹². Drei Tests mit kognitiver Verhaltenstherapie¹³ waren ebenfalls sehr erfolgreich^{9,12,14}. Die Schlussfolgerung aus diesen Untersuchungen ist, dass anscheinend bei einem Teil der Patienten die primäre Ursache für die Elektrosensibilität nicht in den elektrischen und magnetischen Feldern gesucht werden muss. Es ist denkbar, dass besonders empfindliche Personen eine Empfindlichkeit gegenüber normalerweise nicht wahrnehmbaren, unterschwelligem elektrischen und magnetischen Feldern aufbauen („erlernen“) können. Die Fähigkeit *bewusster oder unbewusster* Wahrnehmung elektrischer und magnetischer Felder (Elektrosensitivität) liefert ein einleuchtendes Erklärungsmodell, wie elektrische und magnetische Felder bei Feldstärken unterhalb der Grenzwerte bei empfindlichen Menschen Symptome auslösen und das Wohlbefinden beeinträchtigen könnten: Eine sonst unterschwellige chronische Belastung durch einen solchen Stressor könnte sich zu einer Stressreaktion aufschaukeln, die sich schliesslich in Schlafstörungen, Konzentrationschwäche, Nervosität oder Angespanntheit äussert, sofern die Kompensationsfähigkeit des Betroffenen überfordert wird. Die Hypothese wurde anhand von Provokationsstudien vor allem im Niederfrequenzbereich (5 Hz bis 30 kHz) untersucht.

¹² Harlacher, U. and J. Schahn (1998). "Elektrosensitivität" - ein psychologisches Problem? Umwelt und Gesundheit. Die Verbindung ökologischer und gesundheitlicher Ansätze. E. Kals, Psychologische Verlagsunion: 151-172.

¹³ Kognitive Verhaltenstherapien sind aus der Lerntheorie abgeleitete Therapieformen, die davon ausgehen, dass psychische Störungen (beispielsweise Phobien und Angststörungen) durch Lernprozesse zustande kamen und auch durch solche wieder aufgelöst werden können. Dabei werden kognitive Variablen des Patienten berücksichtigt.

¹⁴ Hillert, L., B. Kolmodin Hedman, et al. (1998). "Cognitive behavioural therapy for patients with electric sensitivity - a multidisciplinary approach in a controlled study." *Psychother Psychosom* **67**(6): 302-10.

Zunächst konnten Provokationsversuche von Hamnerius¹⁵ und Wennberg¹⁶ die von Elektrosensiblen beklagten unspezifischen Symptome und Störungen des Befindens nicht auf eine Wirkung von elektrischen und magnetischen Feldern zurückführen. In einem Experiment von Leitgeb¹⁷ wurden 140 Personen getestet, die nach dem Zufallsprinzip aus dem Kundenregister der Grazer Elektrizitätswerke ausgewählt wurden. In einem ersten Schritt mussten sich die Testpersonen bezüglich ihrer Empfindlichkeit gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern einschätzen. Im nachfolgenden Doppelblind-Experiment wurde die Wahrnehmbarkeitsschwelle für einen schwachen 50 Hz-Strom im Unterarm bestimmt. Der Vergleich zwischen Selbsteinschätzung und Wahrnehmbarkeitsschwelle korrelierte nicht. Frauen neigten stärker dazu, ihre Elektrosensibilität zu differenzieren als Männer: Nur 19% der Frauen bezeichneten sich als „durchschnittlich elektrosensibel“, während es bei den Männern 29% waren. 60% mehr Frauen als Männer bezeichneten sich als „eher empfindlich“. Bemerkenswert ist jedoch, dass der Prozentsatz jener Personen, die sich als „sehr stark elektrosensibel“ einstufen, mit 10,5% der Frauen und 9,6% der Männer vom Geschlecht kaum abhing. Die Messung der Wahrnehmbarkeitsschwellen zeigte, dass die Messergebnisse über weite Bereiche zu einer dem reinen Zufall entsprechenden Log-Normalverteilung passen, mit Ausnahme im Bereich der empfindlich Reagierenden, wo deutlich mehr Personen als erwartet gezählt wurden. Eine mögliche Erklärung für diesen Umstand ist das Vorhandensein einer Untergruppe innerhalb der Bevölkerung mit signifikant erniedrigten Wahrnehmbarkeitsschwellen. Durch Synthese der ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilung aus zwei unterschiedlichen Log-Normalverteilungen konnte die relative Grösse der Untergruppe mit 2% abgeschätzt werden. Die Abschätzung des Prozentsatzes stellt eine anzunehmende Obergrenze für den auf elektrische und magnetische Felder empfindlich reagieren-

¹⁵ Hamnerius, Y., G. Agrup, et al. (1994). Double Blind Provocation Study of Reactions Associated with Exposure to Electromagnetic Fields from VDUs. COST 244 Workshop on Electromagnetic Hypersensitivity, Graz, Austria.

¹⁶ Wennberg, A., O. Franzen, et al. (1994). Electromagnetic Field Provocations of Subjects with "Electric Hypersensitivity". COST 244 Workshop on Electromagnetic Hypersensitivity, Graz, Austria.

¹⁷ Leitgeb, N. (1997). Was ist "Elektrosensibilität"? Elektrosensibilität: Standortbestimmung eines Phänomens, Zürich, IHA, ETH-Zürich: PU-97-03.

den Anteil der Bevölkerung dar, da sich unter den Probanden, die eine Reaktion zeigten, keine Personen mit akuten Problemen im Alltag befanden. Obwohl diese Ergebnisse keinen Beweis darstellen, stützen sie die Hypothese, dass messbare (objektivierbare) Elektrosensibilität bzw., dass Elektrosensitivität existiert.

Die Provokationsversuche zeigten, dass die Selbsteinschätzung der Elektrosensibilität und die Häufigkeit und Ausprägung der Symptome kein zuverlässiges Mass für die Bestimmung der Elektrosensitivität ist. Wie die Beispiele von Rea (gesundheitlich relevante akute Symptome) und Leitgeb (messtechnisch nachweisbare Veränderungen) zeigen, besteht aber die Möglichkeit, dass Einzelpersonen reproduzierbar und unverzüglich auf elektrische und magnetische Felder im Feldstärkebereich unterhalb der Grenzwerte reagieren können. Die Versuche von Rea mit Rechteck-Signalen bei verschiedenen Frequenzen entsprechen kaum Bedingungen, wie sie in der natürlichen oder technischen Umwelt des Menschen vorkommen. Die Untersuchung subjektiv elektrosensibler Personen anhand eines Provokationsversuchs mit 50 Hz elektrischen und magnetischen Feldern (Sinus-Modulation) würde praxisgerechte Rückschlüsse auf die Auswirkungen der Exposition mit technischen elektrischen und magnetischen Feldern erlauben. Dieser Punkt wurde in der Planung des Projekts NEMESIS berücksichtigt.

„Elektrosmog“ – Wahrnehmung eines Risikos

Christopher H. Müller

Während noch vor ein paar Jahren die Elektrizität als saubere und - bei Einhaltung bestimmter Sicherheitsvorschriften - sichere Energieform galt und der Nutzen im Vergleich zum bekannten Gesundheitsrisiko¹⁸ (v.a. Elektroschock) ungleich grösser eingestuft wurde, verhält sich das heute ganz anders. Das negativ behaftete Wort „Elektrosmog“ drückt die Unsicherheit vieler Menschen aus, die das Verhältnis zwischen persönlichem Nutzen der Elektrizität und befürchtigtem Schaden, verursacht durch elektrische und magnetische Felder, aufgrund der verwirrenden Informationslage nicht mehr einschätzen können oder ganz anders beurteilen.

Risiko und Risikowahrnehmung

Das Risiko (R) wird definiert als Funktion der möglichen Auswirkungen (A) und der Wahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses (W):

$$R = A \times W$$

Die Vorhersage möglicher Gefahren setzt voraus, dass kausale Attributionen (gegläubte Wirkungszusammenhänge) zwischen dem (vermeintlichen) Verursacher der Gefahr¹⁹ und den Konsequenzen bestehen. Diese Attributionen können systematisch, anekdotisch, religiös oder magisch sein. Bezüglich gesundheitlicher Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern im Feldstärkebereich unterhalb der internationalen Richtlinien²⁰ sind keine oder bestenfalls tendenzielle systematische Zusammenhänge bekannt. Die Vorhersage der Gefährdung durch

¹⁸ Als Risiko im allgemeinen Sinn bezeichnet man die Möglichkeit, dass aus einem Zustand, einem Umstand oder einem Vorgang ein Schaden entstehen kann.

¹⁹ *Gefahr* ist ein Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für Mensch, Umwelt und/oder Sachgüter entstehen könnte (Potential). Die *Gefährdung* ist eine ganz konkret auf eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Objekt bezogene Gefahr.

²⁰ ICNIRP (1998). "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)." *Health Physics* **74**(4): 494-522.

elektrische und magnetische Felder beruht auf anekdotischen Berichten betroffener Menschen.

Die Risikowahrnehmung ist die subjektive Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung risikobezogener Informationen. Sie unterliegt individuellen intuitiven Gesetzmässigkeiten, vorliegenden mentalen Modellen, Vorurteilen und dem Vorwissen, gemäss dem die Informationsflut rational verarbeitet wird. Dies erlaubt dem Empfänger, seine eigenen Schlussfolgerungen zu ziehen²¹. Auch das Informationsmedium (z.B. Mitmenschen) spielt eine wichtige Rolle in der Risikowahrnehmung: Die von Ratsuchenden als vertrauenswürdig oder besonders fachkompetent eingeschätzten Informationsquellen (zum Beispiel Arzt, Elektrobiologe, Verfasser von Fachliteratur) werden anders bewertet als solche, deren Kompetenz und Wissensbasis nicht von vornherein als der eigenen überlegen erscheint (zum Beispiel Freunde, Bekannte). Die Hinweisgeber werden in Tabelle 1 in verschiedene Kategorien eingeteilt. In der Definitionsgleichung des Risikos (vgl. oben) wurde die Variable gross geschrieben, die von der jeweiligen Kategorie als besonders relevant für die Risikobetrachtung im Kontext der elektrischen und magnetischen Felder ist.

Tab. 2: Kategorien verschiedener Standpunkte bezüglich Risikodefinition: Variablen, die als „gross“ oder „wesentlich“ betrachtet werden, sind fett hervorgehoben (R=Risiko; A=mögliche Auswirkungen; W=Wahrscheinlichkeit).

Schwerpunkt	Hinweisgeber	Beschreibung	Einstufung des Risikos
$R = A \times W$	allgemeine Einschätzung vor 20 Jahren	möglicher Schaden << Nutzen	klein
$R = \mathbf{A} \times W$	Wissenschaftler, Arzt, Alternativmediziner, Naturheilpraktiker	„Unsicherheitsfaktor“	klein
$\mathbf{R} = A \times \mathbf{W}$	Laie	Elektrosmog ist überall, man kann kaum ausweichen	gross
$\mathbf{R} = \mathbf{A} \times \mathbf{W}$	Elektrobiologe, Baubiologe, Pendler, Rutengänger	Sogar geringe Expositionen können schwerwiegende Folgen haben.	gross

²¹ Renn, O. (1997). Mental health, stress and risk-perception: Insights from psychological research. (Ciba Foundation Symposium 203): Health impacts of large releases of radionuclides, Wiley, Chichester.

Eigene Erlebnisse, Informationen unterschiedlicher Herkunft und Qualität, Medienberichte und anekdotische Berichte von Betroffenen werden herangezogen, um eine Verbindung zwischen den eigenen diffusen Befindlichkeitsstörungen²² und dem „Elektrosmog“ herzustellen. „Elektrosmog“ kann aufgrund der Befürchtung, dass ein gesundheitsschädigender Effekt erst schleichend und nach langjähriger Exposition eintreten könnte und den Betroffenen aufgrund des wahrgenommenen ubiquitären Charakters²³ der elektrischen und magnetischen Felder kaum Ausweichmöglichkeiten offen bleiben, als inakzeptables Risiko interpretiert werden. Tabelle 2 zeigt eine Auflistung wichtiger qualitativer Eigenschaften, welche die Einschätzung des Risikos beeinflussen.

Tab. 3: Wichtige qualitative Eigenschaften von Risiko im Zusammenhang mit der Elektrosmogproblematik, nach (Renn 1997).

Qualitative Eigenschaften	Richtung der Beeinflussung
persönliche Kontrolle	erhöht Risikobereitschaft
institutionelle Kontrolle	abhängig von Vertrauen in institutionelle Massnahmen
Freiwilligkeit	erhöht Risikobereitschaft
Vertrautheit	erhöht Risikobereitschaft
Schrecken ²⁴	vermindert Risikobereitschaft
ungleiche Verteilung von Risiken und Nutzen	abhängig vom individuellen Nutzen, starker sozialer Anreiz für Ablehnung eines Risikos
Künstlichkeit einer Risikoquelle	verstärkt Aufmerksamkeit für Risiko, vermindert oft Risikobereitschaft

Jeder Mensch, der unter diffusen Symptomen und Störungen des Wohlbefindens leidet, sucht automatisch nach den Ursachen. Wenn aber die schulmedizinische Diag-

²² Diffuse Befindlichkeitsstörungen sind Krankheitssymptome, die keinen bestimmten Ursachen zugeschrieben werden können.

²³ Da elektrische und magnetische Felder über die Sinne nicht spezifisch wahrnehmbar sind, können sie überall vermutet werden. Ein Ausweichen ist daher schwierig, weil ohne Feldmessgeräte nie mit Gewissheit gesagt werden kann, dass keine Felder vorhanden sind.

²⁴ Schrecken: „Heftige Erschütterung des Gemüts durch das Erkennen einer plötzlichen Gefahr oder Bedrohung, plötzliche Angst.“ (Zitat nach Duden, Bedeutungswörterbuch)

nose keine organische Krankheit ermittelt, die den Symptomen zugrunde liegt, werden andere Auslöser gesucht. Als eine solche stellvertretende Ursache für unspezifische Symptome bietet sich der „Elektrosmog“ an, da klare Beweise fehlen, die für oder gegen die Gefährlichkeit der elektrischen und magnetischen Felder sprechen. Das vom „Elektrosmog“ ausgehende Risiko wird im schlimmsten Fall als bedrohlich wahrgenommen. Daneben liefern Selbst- und Blindversuche Erfahrungen, welche die subjektive Überzeugung untermauern, elektrosensibel zu sein. Die resultierende Verunsicherung und vielleicht auch Angst kann die Symptome der Elektrosensibilität durch positive Rückkopplung verstärken. In Abbilung 1 ist ein solcher Rückkopplungskreislauf dargestellt.

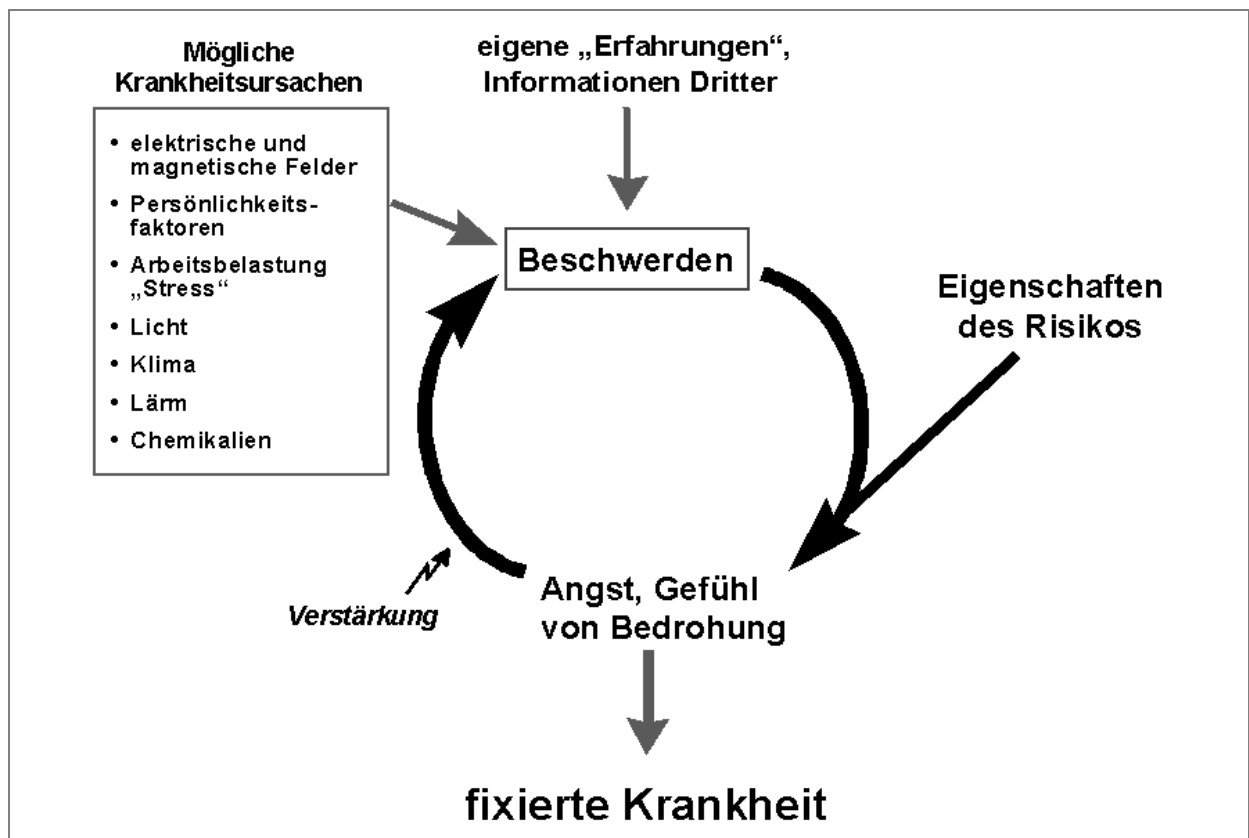


Abb. 1: Beeinflussung unspezifischer Beschwerden durch Vorurteile und einschlägige Informationen. Die individuell wahrgenommenen qualitativen Eigenschaften des Risikos bestimmen mit, ob die Angst vor elektrischen und magnetischen Feldern über eine positive Rückkopplung auf psychosomatischer Ebene einen Einfluss auf die Beschwerden ausübt oder nicht (nach Andersson et al.²⁵).

²⁵ Andersson, B., M. Berg, et al. (1996). "A cognitive-behavioral treatment of patients suffering from "electric hypersensitivity": subjective effects and reactions in a double-blind provocation study." J Occup Environ Med **38**(8): 752-758.

Etwa ein Drittel der Bevölkerung beklagt Beschwerden, die keiner bestimmten Ursache zugeschrieben werden können. Als Ursache kommen verschiedene innere wie äussere Einflüsse in Frage. Eigene Erfahrungen und Informationen Dritter bezüglich Umweltstressoren wie zum Beispiel elektrische und magnetische Felder wirken sich einerseits direkt auf die Beschwerden aus und können andererseits je nach Wahrnehmung des davon ausgehenden Risikos zu Angst oder einem Gefühl der Bedrohung führen. Die Angst wiederum kann zu einer Zunahme oder Verstärkung der Beschwerden führen. Dieser positive Rückkopplungskreislauf kann theoretisch die diffuse Befindensstörung bis hin zur fixierten, den elektrischen und magnetischen Feldern ursächlich zugeschriebenen Krankheit aufschaukeln (vgl. „Phase III“ in Abb. 1, Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“, Seite 37).

Bewältigung des Stressors „Elektrosmog“

Die Stresswirkungen sind abhängig von Moderatorvariablen, wie zum Beispiel der kognitiven Bewertung einer Situation („Bedrohung“ oder „Herausforderung“) und der für die Bewältigung zur Verfügung stehenden Ressourcen. Die Art der Reaktionen auf einen unspezifischen Stressor kann daher eine grosse Bandbreite aufweisen.

Es gibt verschiedene Techniken der Stressbewältigung, von denen einige für bestimmte Personen in bestimmten Situationen effektiver sind als andere. Die Bewältigungsstrategien können zwei Typen zugeordnet werden, abhängig davon, ob das Ziel darin besteht, das Problem zu lösen (problemzentriert) oder das durch das Problem verursachte Unbehagen zu verringern (emotionszentriert)²⁶.

Der erste Typ beinhaltet alle Strategien des direkten Umgangs mit dem Stressor, sei es durch offenes Handeln, sei es durch realistische kognitive Aktivitäten im Dienste des Problemlösens („Kampf/Flucht“-Verhalten oder „active coping“). In Abbildung 2 ist schematisch dargestellt, wie subjektiv elektrosensible Menschen durch geeignete Bewältigungsmechanismen (günstig kognitive Bewertung des Risikos, Möglichkeit der Reaktion auf die „Bedrohung“) die Kontrolle der Situation aufrecht erhalten können und so mit dem „Stressor Elektrosmog“ leben können.

²⁶ Lazarus, R. S. and S. Folkman (1984). Stress, appraisal and coping. New York, Springer

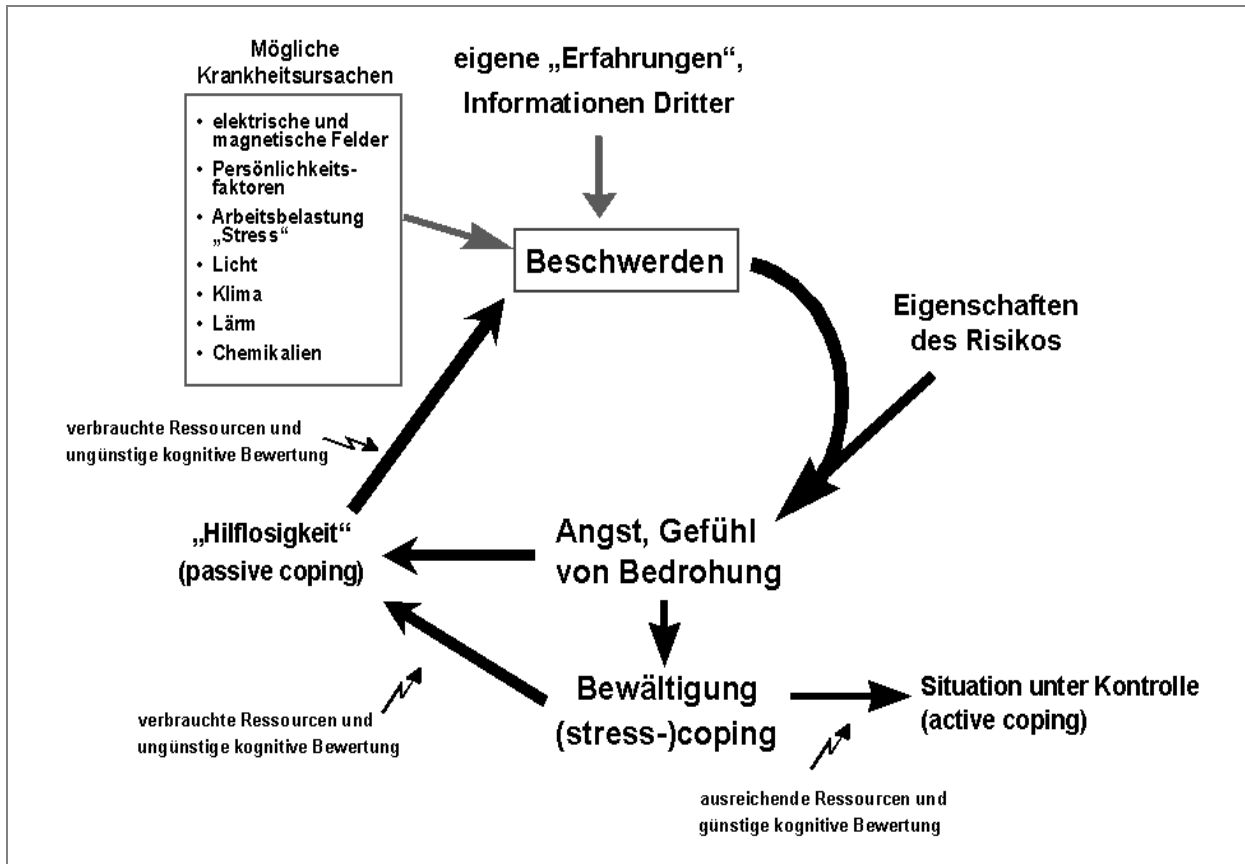


Abb. 2: Umgang mit dem Stressor „Elektromog“: Aufbrechen des „Teufelskreises“ durch erfolgreiches aktives Stressverhalten (situative Kontrolle) oder Zunahme der Beschwerden aufgrund fehlender Möglichkeiten, die Situation unter Kontrolle zu bringen.

Beim zweiten Typ, dem passiven Stressverhalten („passive coping“), wird nicht nach Möglichkeiten der Veränderung der stressreichen Situation gesucht. Stattdessen wird versucht, die damit zusammenhängenden Gefühle und Gedanken zu verändern. Betroffene, die bereits zur Überzeugung gelangt sind, dass elektrische und magnetische Felder ursächlich für ihre Beschwerden verantwortlich sind (Personen in Phase III gemäss Abb. 1, Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“, Seite 37), bewerten das von den elektrischen und magnetischen Feldern ausgehende Risiko in der Regel als bedrohlich und verfügen daher nur eingeschränkt über Möglichkeiten, aktive Kontrolle über den Stressor zu erlangen. Diese Personen beschränken sich oft darauf, sich möglichst aus dem Einflussbereich des „Elektromogs“ herauszuhalten. Gelingt das nicht bzw. schlagen die passiven Kontrollversuche fehl, entsteht eine Stresssituation. Abbildung 2 zeigt, wie theoretisch aus der Angst vor elektrischen und magnetischen Feldern und aufgrund fehlender Möglichkeiten zur Bewältigung des Stressors ein Ohnmachtsgefühl (Hilflosigkeit) entstehen kann, was schliesslich dazu führt, dass die Beschwerden zunehmen.

Moderatoren der Risikowahrnehmung bezüglich elektrischer und magnetischer Felder

Die Analyse der Kurzberichte und Interviews von 51 subjektiv elektrosensiblen Menschen (28 Frauen und 23 Männer aus der Deutschschweiz, Versuchspersonen des Projekts NEMESIS) deckte folgende Zusammenhänge zwischen Risikowahrnehmung, Stressverhalten und subjektiver Elektrosensibilität auf:

- Je länger die Krankheit dauert, je schwerer und zahlreicher die Symptome sind, für die keine organische Ursache oder plausible Erklärung zu finden ist, und je weniger Hoffnung auf rasche Besserung besteht, desto schwerwiegender und hartnäckiger ist die subjektive Elektrosensibilität ausgeprägt.
- Erlebnisse mit Phänomenen, die mit elektrischen und magnetischen Feldern zusammenhängen (beispielsweise statische Entladungen, Vibrieren der Haare, Beeinflussung von elektronischen Geräten in der Nähe von starken Feldquellen), verstärken die Überzeugung vom direkten Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und Beschwerden.
- Quelle und Art der Information, welche die Aufmerksamkeit der Betroffenen auf einen möglichen Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und Gesundheitsproblemen lenkt, beeinflusst die subjektive „Deutung“ des Risikos und somit die Risikowahrnehmung insgesamt (positiv oder negativ). Betroffene sollten die Informationen zum Thema „elektrische und magnetische Felder und Gesundheitsfolgen“ kritisch beurteilen. Hinweisgeber und Inhalte, die bei Betroffenen die Besorgnis oder sogar die Angst schüren, verstärken die Elektrosensibilität. Die Verharmlosung potenzieller biologischer Effekte von elektrischen und magnetischen Feldern führt dazu, dass sich Betroffene nicht ernst genommen fühlen, was in der Folge einen echten Risikodialog verunmöglicht.
- Die elektrischen und magnetischen Felder von Geräten und Installationen im Privatbereich werden freiwillig in Kauf genommen und sind „kontrollierbar“. Der „Elektrosmog“ ausserhalb des Privatbereichs wird eher als inakzeptables Risiko wahrgenommen, da sich die Emissionen der entsprechenden Anlagen der persönlichen Kontrolle entziehen. Grenzwerten und Bauvorschriften (institutionelle Kontrolle) wird wenig Vertrauen entgegengebracht.

- Können Betroffene die Situation verändern bzw. aktive Massnahmen treffen (situative Kontrolle), stehen die Chancen für eine dauerhafte Verbesserung der Lebensqualität gut, auch wenn die Elektrosensibilität weiterhin besteht. Hingegen führt passives Verhalten („Erdulden der Situation“) meist zu einer Verschlimmerung des Problems.

Fazit „Risikofaktor Elektromog“

In der Kontroverse um die Auswirkungen des „Elektromogs“ wird der Begriff „Risiko“ unterschiedlich interpretiert und kommuniziert. Dem eher quantitativen probabilistischen Risikobegriff der Experten steht ein intuitiver, schwer fassbarer Risikobegriff der Laien gegenüber. Unter diesen Voraussetzungen ist es sehr schwierig, einen echten Risikodialog zu führen und birgt die Gefahr von Missverständnissen.

In der Regel leiden elektrosensible Personen während vieler Jahre an Symptomen, die nicht eindeutig auf eine bestimmte Ursache zurückgeführt werden können. Auf der Suche nach einer plausiblen Erklärung für die Beeinträchtigung des Wohlbefindens stossen die Betroffenen auf Informationen, die zur Schlussfolgerung führen, dass elektrische und magnetische Felder in direkter oder indirekter Weise verantwortlich sein könnten. Viele Elektrosensible sind - meist unbewusst - in einem „Teufelskreis“ von Selbsttestung, Massnahmen und Evaluation der Massnahmen gefangen, aus dem sie kaum aus eigener Kraft heraus finden (vgl. Erklärungsmodell und Schlussfolgerungen von Harlacher, Abb. 1, Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“, Seite 37). Die in der Abbildung 3 dargestellte Spirale verdeutlicht die verschiedenen Entwicklungsstufen des Elektrosensibilitätssyndroms, wobei erfolgreiche Massnahmen gegen den „Stressor Elektromog“ zu einer schrittweisen Verbesserung der Lebensqualität führen, während fehlgeschlagene Massnahmen zur stetigen Verschlechterung beitragen.

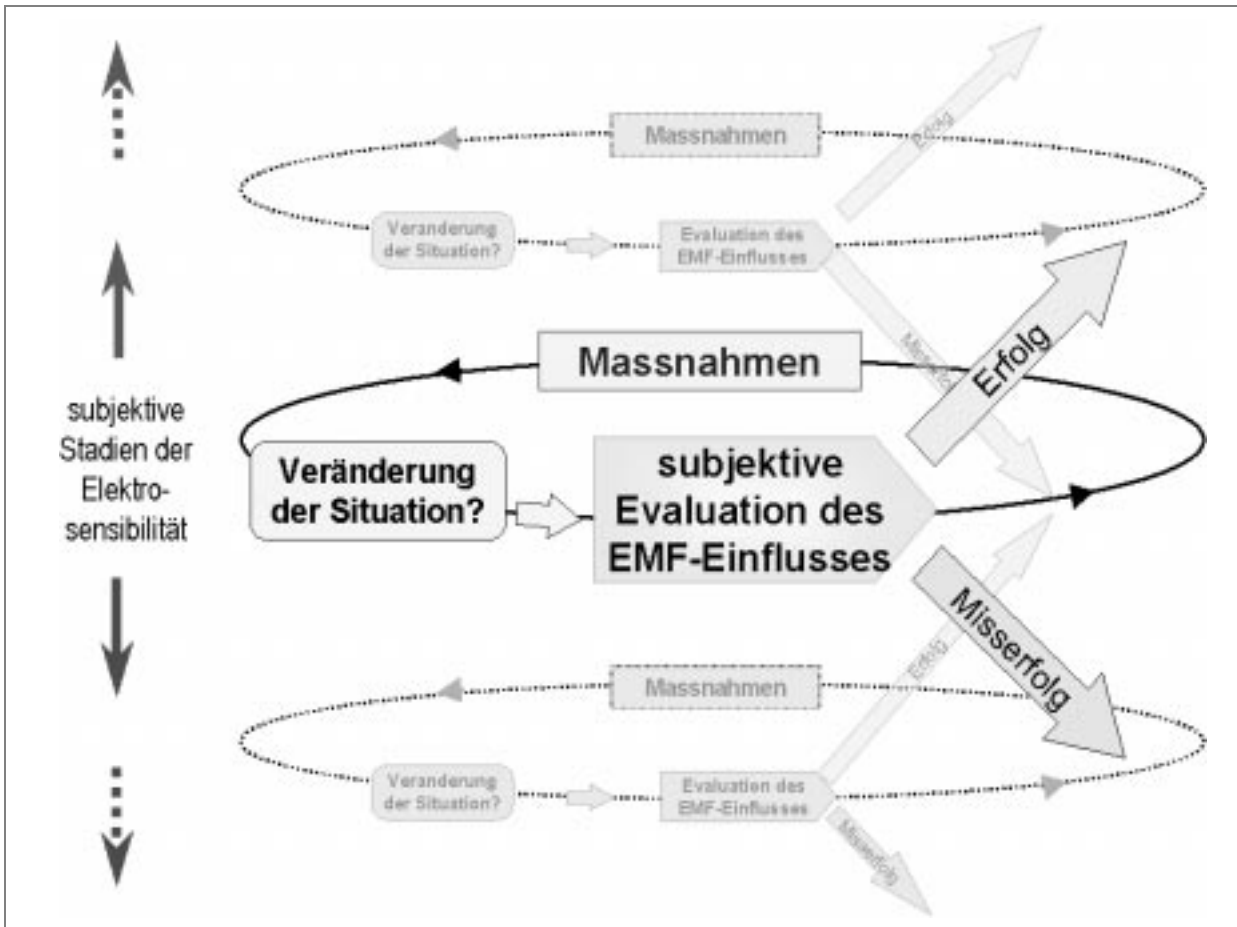


Abb. 3: Subjektive Stadien der Elektrosensibilität: Elektrosensible Menschen bewegen sich in einer Spirale ständiger Verhaltensanpassungen und Veränderungen des Umfelds, Selbsttestung und subjektiver Evaluation des Einflusses elektrischer und magnetischer Felder. Im Erfolgsfall verbessert sich die Situation (Verringerung der Symptome), im Misserfallsfall verschlechtert sie sich (Verstärkung der Symptome)²⁷.

Die Elektrosensibilität ist ein komplexes und individuelles Phänomen. Die Komplexität entsteht vor allem dadurch, dass mögliche physikalische Ursachen, die kognitive Verarbeitung des Risikos „Elektrosmog“ und die Bewältigung des Stressors voneinander unabhängige Einflussgrößen darstellen. Jede dieser Problemebenen könnte daher neben diverser anderer Störfaktoren (zum Beispiel Persönlichkeitsfaktoren, Arbeitsbelastung, Lärm, Klima, Chemikalien) auch alleinstehend als Ursache bzw. Ursprung der Elektrosensibilität in Frage kommen.

²⁷ Müller, C., H. Krueger, et al. (1999). "Project NEMESIS: Effects of Electric and Magnetic Fields on People Suffering from Hypersensitivity to Electricity." Archives of Complex Environmental Studies, ACES 11(1-2): 1-13.

Projekt NEMESIS: Konzept, Hypothesen und Versuchspersonen²⁸

Christopher H. Müller, Christoph Schierz

Immer häufiger wird in der öffentlichen Diskussion die Befürchtung geäußert, dass elektrische und magnetische Felder die Gesundheit und das Wohlbefinden bereits ab Feldstärken weit unterhalb der Grenzwerte beeinträchtigen könnten. Das schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) schreibt: „Laut Umweltschutzgesetz sind bei der Beurteilung von Immissionen auch Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit zu berücksichtigen. Gesicherte Aussagen über die Existenz oder Nicht-Existenz derartiger Risikogruppen sind eine Voraussetzung für die Erfüllung des gesetzlichen Auftrags.“ Die mögliche Existenz der Elektrosensibilität veranlasste daher das BUWAL, das Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie (IHA) zu einer Studie „Wirkung von schwachen elektromagnetischen Feldern auf den Menschen“ anzuregen und 50% der Mittel zur Verfügung zu stellen. Untersuchungen zur Objektivierbarkeit subjektiver Befürchtungen im Zusammenhang mit Feldern drängen sich zwecks Versachlichung der Diskussion auf. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass die Studie auf eine breite Akzeptanz sowohl bei den Behörden als auch bei der Elektrizitätswirtschaft stösst. Die Finanzierung der restlichen 50% wurde daher beim Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL) beantragt. Diesem Antrag wurde im Herbst 1997 stattgegeben (Projekt-Nummer: 153). Das Forschungsvorhaben wurde „Projekt NEMESIS“ getauft. Das Akronym steht für „Niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Elektrosensibilität in der Schweiz“. Aufgrund der Empfehlung der Ethikkommission beschloss die Schulleitung der ETH am 11. Juni 1998, dass das Projekt den ethischen Richtlinien genüge und deshalb in der beantragten Form durchgeführt werden könne.

²⁸ Der vollständige Bericht zum Projekt NEMESIS kann direkt beim Autor bestellt werden: Christopher H. Müller (2000): Projekt NEMESIS: Niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Elektrosensibilität in der Schweiz. Dissertation ETH Nr. 13903, ca. 260 S.

Das Projekt NEMESIS hatte zum Ziel, den Einfluss schwacher elektrischer und magnetischer 50 Hz-Felder auf das Wohlbefinden subjektiv elektrosensibler Versuchspersonen zu untersuchen. In doppelblind ausgelegten Experimenten wurden einerseits Auswirkungen von Feldern auf die Schlafqualität, auf das Befinden am Morgen und während des Tages und auf physiologische Parameter während des Schlafs untersucht. Andererseits wurde die Fähigkeit getestet, Felder bewusst wahrnehmen zu können. Der Einfluss psychischer Faktoren (beispielsweise Placeboeffekt oder Beeinflussung durch den Versuchsleiter) muss bei Untersuchungen subjektiver Zielgrößen berücksichtigt werden. Im Doppelblindversuch - weder Versuchsperson noch Versuchsleiter sind während des Experiments über Expositionsmuster und Eigenschaften der Feld-Provokation informiert – werden solche Beeinflussungen ausgeschlossen. Die Zusammenstellung in Abb. 1 gibt eine Übersicht über die Teilbereiche des Projekts.

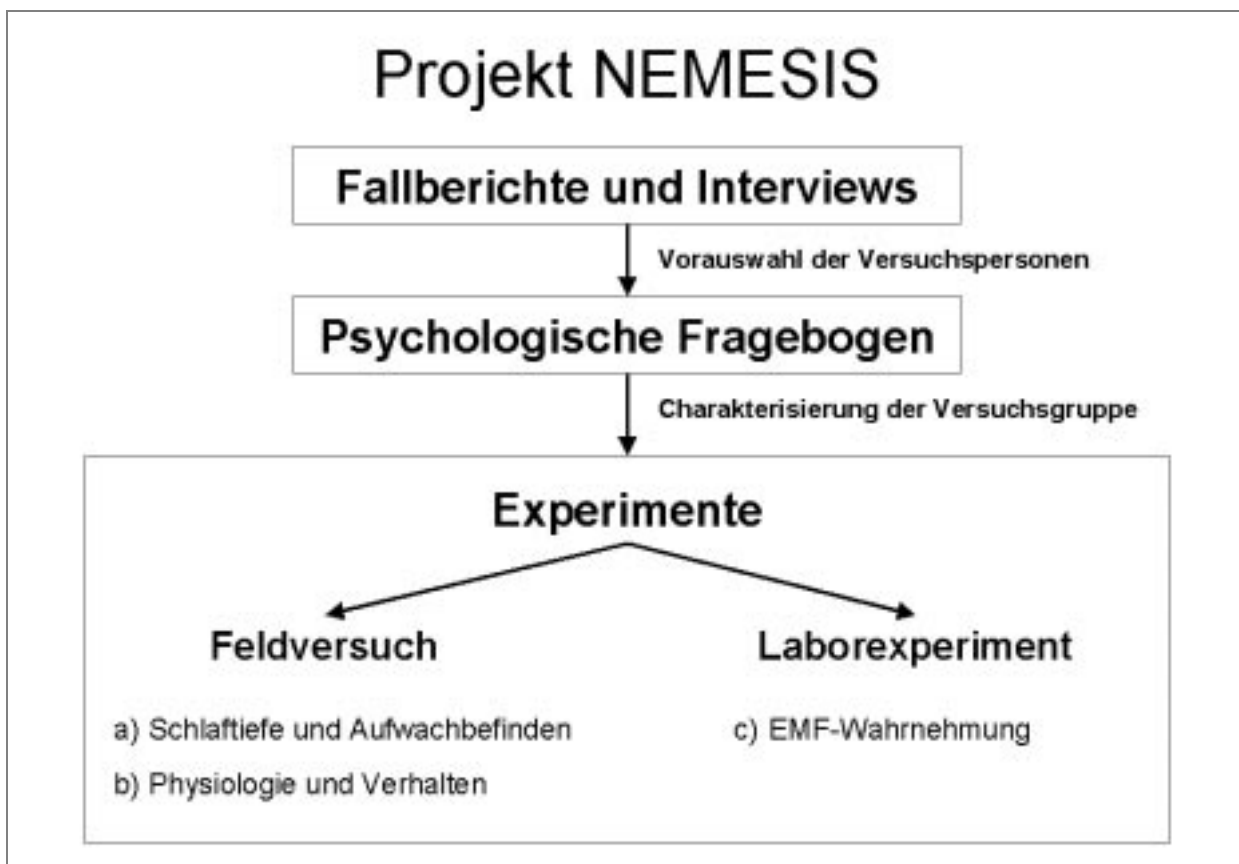


Abb. 1: Struktureller Aufbau und zeitlicher Ablauf des Projekts NEMESIS.

Hypothesen

Symptome wie Schlafstörungen, permanente Müdigkeit trotz subjektiv guten Schlafs, Niedergeschlagenheit, Konzentrationsschwäche, Nervosität und Gereiztheit werden in Fallberichten subjektiv elektrosensibler Menschen sehr häufig genannt. Vielfach werden die Befindlichkeitsstörungen der Wirkung schwacher aber stetig auf den Menschen einwirkender elektrischer und magnetischer Felder zugeschrieben. In einigen Fällen brachten „elektrobiologische“ Sanierungen am Schlafplatz eine deutliche Verbesserung der Schlafqualität. Gestützt auf die Fallberichte und bestehender Forschungsergebnisse muss dem Schlaf, den Schlafstadien und der subjektiv bewerteten Schlafqualität besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Veränderungen in den Schlafparametern müssten sich demzufolge auch auf das Befinden am Morgen und am Tag nach der Exposition auswirken.

Beeinflussung des Wohlbefindens

Aufgrund folgender Annahmen wurde der mögliche Zusammenhang zwischen den subjektiven Schlafparametern und dem Wohlbefinden und der Einwirkung elektrischer und magnetischer Felder während der Nacht untersucht:

Hypothese 1: Elektrosensible werden durch elektrische und/oder magnetische Felder in ihrem Wohlbefinden erheblich gestört. Der Einfluss dieser Felder während der Nacht wirkt sich auf die Schlaftiefe und das Aufwachbefinden (**a**) sowie die Beurteilung der Schlafqualität (**b**) aus.

Hypothese 2: Elektrosensible Personen erkennen überzufällig genau, ob ein Feld während der Nacht eingeschaltet war oder nicht.

Hypothese 3: Die bei EM-Sensiblen häufig vorkommenden Symptome wie Schlaflosigkeit, Ein- und Durchschlafstörungen, Müdigkeit und Konzentrationsschwäche werden durch die während des Schlafs einwirkenden elektrischen und magnetischen Felder verursacht.

Beeinflussung physiologischer Vorgänge und des Verhaltens

In einigen Fallberichten werden konkrete Erlebnisse geschildert, die auf eine direkte Beeinflussung physiologischer Parameter hindeuten. Viel drängendere Anhaltspunkte für einen möglichen Umwelteinfluss auf physiologische Vorgänge ergaben

sich aber aus Untersuchungen der Schlafstadien und Herzparameter während des Schlafens unter Lärmeinfluss²⁹. Um diesen Hinweisen nachzugehen wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

Hypothese 4: Elektrosensible werden durch Einwirkung elektrischer und/oder magnetischer Felder physiologisch beeinflusst. Exposition während der Nacht verursacht messbare Veränderungen in den Parametern Körperbewegung, Atemperiode und Herzschlagperiode.

Hypothese 5: Elektrosensible Personen nehmen die Präsenz schwacher magnetischer Felder unbewusst wahr und zeigen entsprechende Verhaltensänderungen unter Feldeinfluss: Die Versuchspersonen weichen dem Magnetfeld während des Schlafs unbewusst aus (Verschiebung relativ zur Lage der Magnetfeldspule im Bett).

Wahrnehmung elektrischer und magnetischer Felder

Hinweise aus Fallberichten elektrosensibler Menschen deuten darauf hin, dass bewusstes Wahrnehmen elektrischer und magnetischer Felder (spezifische Elektrosensitivität, vgl. Tab. 1, Seite 34) die Elektrosensibilität auslösen oder beeinflussen könnte. In einem Laborexperiment wurde getestet, ob es Personen gibt, die 50 Hz elektrische und magnetische Felder bei Feldstärken unterhalb der Immissionsgrenzwerte bewusst wahrnehmen können und wie die Elektrosensitivität mit der Elektrosensibilität zusammenhängt. Folgende Hypothesen bildeten die Grundlage des Versuchs:

Hypothese 6: Es gibt Personen, die ein elektrisches und magnetisches 50 Hz-Feld (100 V/m und 5 μ T kombiniert) überzufällig wahrnehmen können.

Hypothese 7: Der Vergleich zwischen elektrischem und magnetischem Feld zeigt signifikante Unterschiede in der Trefferquote (Feldwahrnehmung).

Hypothese 8: Subjektiv elektrosensible Versuchspersonen haben eine höhere Trefferquote als die nicht elektrosensible Kontrollgruppe.

²⁹ Jansen, G., A. Linnemeier, et al. (1995). "Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm." Zeitschrift für Lärmbekämpfung **42**: 91-106.

Mit den Feld- und Laborversuchsdaten wurden zudem verschiedene post hoc Fragestellungen analysiert (explorative Untersuchungen)³⁰.

Gibt es einen Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und biologischen Effekten?

Die acht Hypothesen decken ein breites Spektrum an Fragen bezüglich der Beeinflussung des Menschen durch 50 Hz-Felder im Feldstärkebereich unterhalb der Grenzwerte ab. Die Erforschung der besagten Zusammenhänge liefert viele Einzelergebnisse, die Aussagen über bestimmte Teilbereiche wie zum Beispiel die Elektrosensitivität, die Beeinflussung physiologischer Abläufe, das Verhalten unter Feldeinfluss oder das Befinden nach Nächten mit oder ohne Provokation zulassen. Das Phänomen Elektrosensibilität beschränkt sich mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht auf simple Korrelationen zwischen Eingabeparametern, Störgrössen und Zielvariablen, sondern ist durch komplexe Zusammenhänge charakterisiert.

Die Synthese sämtlicher Resultate des Projekts NEMESIS soll die Frage klären, ob es eine objektivierbare Elektrosensibilität gibt. Ein weiteres Ziel ist es abzuschätzen, wie gross der Anteil elektrosensitiver Menschen³¹ innerhalb des Versuchspersonenkollektivs ist.

³⁰ Die Ideen zu „explorativen Untersuchungen“ werden nachträglich durch das Datenmaterial angeregt. Sie werden überprüft, um Zusammenhänge aufzudecken, die in den Hypothesen allenfalls nicht berücksichtigt waren, die aber Hinweise für zukünftige Untersuchungen liefern könnten. Explorative Untersuchungen haben eine geringere Beweiskraft als die Untersuchungen der vor dem Versuch aufgestellten Haupthypothesen (H1 bis H8).

³¹ Elektrosensitive Personen in der Versuchsgruppe NEMESIS: *Subjektiv elektrosensible* Personen, die *messbar* durch elektrische und magnetische Felder in ihrem Wohlbefinden gestört werden, die elektrische und magnetische Felder bewusst wahrnehmen können oder bei denen physiologische Vorgänge verändert werden (spezifische und unspezifische Elektrosensitivität).

Auswahl der Versuchspersonen

Die Auswahl der Versuchspersonen für das Projekt NEMESIS erfolgte nach dem Kriterium, ein möglichst sensibles Kollektiv zusammenzustellen, um die Wahrscheinlichkeit einer Reaktion auf elektrische und magnetische Felder zu maximieren. Da angenommen wird, dass die Anlage der „Elektrosensitivität“ (Fähigkeit der spezifischen oder unspezifischen Wahrnehmung elektrischer und magnetischer Felder) ein seltenes Phänomen ist, wurden explizit nur die Personen als Probanden ausgewählt, welche Elektrosensibilität beklagen.

Ein- und Ausschlusskriterien

Die Versuchspersonen des Projekts NEMESIS mussten folgende Einschlusskriterien erfüllen: Sie stufen sich selbst als „elektrosensibel“ ein, hatten konkrete Erfahrungen mit Phänomenen und Symptomen im Zusammenhang mit 50 Hz elektrischen und magnetischen Feldern³² gesammelt (Identifikation als subjektiv elektrosensible Person) und hatten Sanierungen in der Wohnung ausführen lassen, die zu einer anhaltenden Verbesserung der Lebensqualität oder einer Milderung der mit elektrischen und magnetischen Feldern assoziierten Beschwerden führten.

Ausschlusskriterien waren eine schlechte gesundheitliche Verfassung der Versuchsperson, die ein Provokationsexperiment über eine längere Zeitdauer nicht zuließ, eine für die Messung der physiologischen Parameter mittels indirekter Aktimetrie ungeeignete Schlafplatzsituation (zum Beispiel Wasserbett, zu wenig Platz für Ersatzbett) sowie regelmässige Absenzen mit Unterbrechungen der Testreihe (Wochenaufenthalter).

Versuchspersonen des Projekts NEMESIS

Insgesamt nahmen am Projekt NEMESIS 69 subjektiv elektrosensible und 14 sich selber als „nicht elektrosensibel“ einstufoende Personen (Kontrollgruppe des Laborex-

³² Versuchspersonen, die sich als elektrosensibel gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern im Frequenzbereich des technischen Wechselstroms (50 Hz) einstuften, wurden bevorzugt, da die Versuche im Projekt NEMESIS mit 50 Hz Provokationsfeldern durchgeführt wurden.

periments) aus der Deutschschweiz teil. In Tabelle 1 sind die Eckdaten des Versuchspersonenkollektivs zusammengefasst.

Tab. 1: Daten des Versuchspersonenkollektivs Projekts NEMESIS (alle Versuchspersonen)

Bezeichnung	Anzahl	Geschlechter- verteilung	Alter [Jahre]			
			MW	SD	MED	Spannweite
Versuchspersonen NEMESIS	83	44 w / 39 m	47.8	13.0	49	15 – 76

n=Anzahl, w=Frauen, m=Männer, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, MED=Median

Im Rahmen des Projekts NEMESIS wurden verschiedene Teilaspekte verteilt über einen Zeitraum von zwei Jahren untersucht. Dieser Umstand führte dazu, dass sich einige Versuchspersonen aus dem Projekt zurückzogen und durch zusätzlich rekrutierte Versuchspersonen ersetzt werden mussten. Die Versuchsgruppen der Fragebogenuntersuchung zu psychologischen Einflussgrössen, des Wahrnehmungsexperiments und des Feldversuchs NEMESIS sind daher nicht identisch, überlappen sich aber. In Tabelle 2 sind die Daten der einzelnen Versuchsgruppen der Teilexperimente zusammengefasst.

Tab. 2: Daten der Versuchsgruppen der drei Teilexperimente des Projekts NEMESIS

Experiment	n	Geschlechter- verteilung	Alter [Jahre]			
			MW	SD	MED	Spannweite
Psychische Einflussgrössen	51	28 w / 23 m	48	12.1	50	18 – 76
Teil 1: Feldversuch	53	33 w / 20 m	47	12.3	49	17 – 76
Teil 2: Direkte Wahrnehmung	63	32 w / 31 m	48.7	12.25	50	15 – 76

n=Anzahl, w=Frauen, m=Männer, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, MED=Median

Charakterisierung der Versuchspersonen

Die Beschwerden subjektiv elektrosensibler Menschen werden oft nicht ernst genommen und unbedacht psychischen Ursachen zugeschrieben. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde der Frage nachgegangen, ob und – wenn ja – in welchem Mass bei den Versuchspersonen des Projekts NEMESIS psychische Faktoren bei der Entstehung des Krankheitsbildes „Elektrosensibilität“ eine Rolle spielen (Mason 1998). Mittels standardisierter psychologischer Fragebogen wurden die Versuchspersonen bezüglich Persönlichkeitsmerkmale (Zeigen subjektiv elektrosensible Menschen ein bestimmtes Persönlichkeitsbild? Freiburger Persönlichkeitsinventar FPI-R), Beschwerdeshäufigkeit, Beschwerdenart (Gibt es Unterschiede zwischen Versuchsgruppe, Durchschnittsbevölkerung und Patienten einer psychosomatischen Klinik? Screening für somatoforme Störungen SOMS) und der Wahrnehmung magischer Zusammenhänge (Magical Ideation: Sind Elektrosensible abergläubischer oder leichtgläubiger? MI-Scale) untersucht.

Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung

Das Versuchspersonenkollektiv des Projekts NEMESIS als Ganzes unterscheidet sich bezüglich der Persönlichkeitsmerkmale nicht von der Durchschnittsbevölkerung. Der Unterschied zu Patienten einer psychosomatischen Klinik fiel hingegen sehr deutlich aus. Einzelne Unterschiede in gewissen Alters- und Geschlechtsgruppen lassen jedoch Zusammenhänge zwischen subjektiver Elektrosensibilität und Persönlichkeitsmerkmalen (zum Beispiel Extraversion bei Männern) vermuten, was zudem die Resultate einer Schwedischen Studie (Bergqvist und Wadman 1997) bestätigt. Der einzige deutliche Unterschied zwischen Versuchspersonen und der Durchschnittsbevölkerung zeigt sich in einer grösseren Anzahl körperlicher Beschwerden. Bei neun Personen wurde das Vollbild einer somatoformen Störung beobachtet. Die Häufung von Beschwerden und somatoformen Störungen ist mindestens teilweise auf einen Selektionsbias zurückzuführen (siehe auch Definition der Elektrosensibilität im Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“). Die subjektiv elektrosensiblen Personen der NEMESIS-Versuchsgruppe glauben nicht stärker als die Durchschnittsbevölkerung an Formen der Kausalität, die nach konventionell kulturellen Standards ungültig sind.

Projekt NEMESIS:

Teil 1: Methoden und Resultate des Feldversuchs

Christopher H. Müller, Christoph Schierz

Subjektive Beurteilungen

Subjektive Beurteilungen wurden mit einem sogenannten Befindlichkeitstagebuch erfasst. Das Befindlichkeitstagebuch basiert auf einem validierten Schlafragebogen, der für Untersuchungen im Schlaflabor konzipiert wurde³³. Folgende subjektiven Zielgrößen (je ein Wert pro Tag) wurden erhoben, um den Einfluss schwacher elektrischer und magnetischer Felder in der Nacht zu testen:

- Pleasure und Arousal am Morgen (= Zufriedenheit und Angeregtheit)
- Schlaftiefe
- Aussagen zur Schlafqualität³⁴ und Wahrnehmung der Feldsituation
- Wohlbefinden am Tag:
 - Befinden
 - Müdigkeit während des Tages (Erholung)
 - Müdigkeit am Abend
 - Pleasure und Arousal am Abend

Die Schlafqualität beeinflussende Störgrößen

Der Abendfragebogen diente hauptsächlich zur Erfassung subjektiver und objektiver Störfaktoren für die Schlafqualität der folgenden Nacht. Tagesablauf, besondere Vorkommnisse, Schlafverhalten am Tag, Konsum von Genussmitteln (Koffein, Alkohol, Nikotin), Medikamenten und Esswaren sowie Bettgezeit wurden ermittelt. Der Einfluss des emotionalen Status der Versuchspersonen wurde ebenfalls berücksichtigt und zusammen mit den übrigen Störgrößen in der Analyse berücksichtigt. Sämtliche Ziel- und Störgrößen sind im Anhang aufgeführt (Tabelle A1, letzte Seiten).

³³ Landolt, H.-P. (1997). Schlaf-Fragebogen, Institut für Pharmakologie der Universität Zürich.

³⁴ Score aus „Expert Judgement“-Verfahren.

Physiologische Grössen und objektive Störfaktoren

Erfassung physiologischer Grössen

Im Feldversuch des Projekts NEMESIS konnten keine herkömmlichen Verfahren zur Messung von Herz- und Atemfrequenz (Elektrokardiogramm und Plethysmograph) sowie von Bewegungen (Handgelenk-Aktimeter) verwendet werden, da diese Methoden das Anbringen von Elektroden und Sonden direkt am Körper der Versuchspersonen erfordern, die externe Stromversorgung in Wohnungen mit Netzfreischalung nicht gewährleistet wäre und ein sehr grosser Zeitaufwand für die Installation und Vorbereitung der Testnächte resultierte.

Gestützt auf das Prinzip der indirekten Aktimetrie wurde ein Messgerät entwickelt („Dormograph“)³⁵, das die berührungsfreie Aufzeichnung von Bewegungen einer im Bett liegenden Person ermöglicht.

Messprinzip

Die Bewegungen des Liegenden werden durch den Bettinhalt und das Bettgestell aufgenommen. Dasselbe geschieht mit den durch Herztätigkeit und Atmung verursachten impulsartigen Volumenverschiebungen. Die resultierenden Schwerpunktsverlagerungen werden anhand von Kraftsensoren gemessen, die unter den vier Eckpunkten des Betts installiert sind. In Abbildung 2 ist die Funktionsweise des Kraftsensors grafisch dargestellt.

Aus den vom Dormographen aufgezeichneten Rohdaten wurden pro Minute Mittelwert, Median (MED) und Median des Betrags der Abweichungen vom Median der logarithmierten Daten (LMAD) der unverstärkten und verstärkten Signale berechnet. LMAD charakterisiert, wie stark das Signal innerhalb der Minute variiert. Bewegung, Atem- und Herzfrequenz wurden anhand von Kriterien bestimmt, die mit denen herkömmlicher Messmethoden (Plethysmograph, EKG) vergleichbar sind.

³⁵ Müller, C. H., C. Schierz, et al. (1998). Effects of ELF electric and magnetic fields on physiological sleep parameters and sleep quality in humans. International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-Specific Health Symptoms, Graz, Austria, COST244bis.

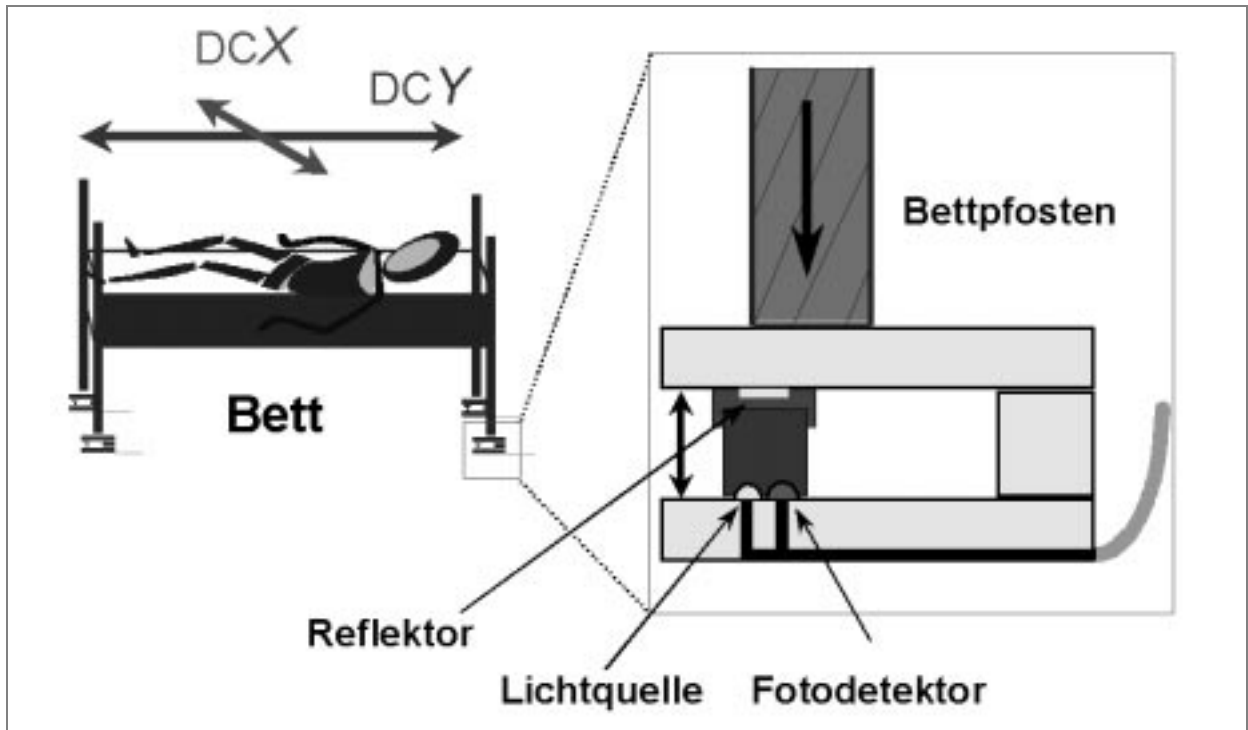


Abb. 2: Prinzip der indirekten Aktimetrie und Funktionsweise des Kraftsensors: Drückt eine Kraft auf den federartigen Sensorkörper, so verringert sich der Abstand zwischen oberer und unterer Platte. Die Veränderung der Bestrahlungsstärke des vom Reflektor zurückgestreuten Lichts wird vom Fotodetektor registriert. Das Gleichstromsignal wird im Signalverarbeitungsgerät verstärkt, gefiltert und verrechnet.

Fallberichte subjektiv elektrosensibler Menschen lassen Beeinflussungen folgender Parameter vermuten:

- Anzahl Bewegungen (Nachtmittelwert)
- Atemperiode (Nachtmittelwert)
- Herzschlagparameter (je ein Wert pro Nacht):
 - MED.IBI_mean: Mittlere Herzschlagperiode (Nachtmittelwert der Minuten-Mediane)
 - MED.IBI_linear: Lineare Zu- oder Abnahme der Herzschlagperiode über die Nacht
 - MED.IBI_ampl: Amplitude einer 90-Minuten-Periodik (Mass für Ausprägung der erfassten Schlafphasenrhythmik)
 - MED.IBI_phase: Tiefschlafphasenverschiebung (Anzahl Minuten des ersten Maximums von der 90-Minuten-Periodik nach Mitternacht)
 - LMAD.IBI_mean: Index für REM-Phasen Anteile (Nachtmittelwert der Minuten-Medianabweichung der logarithmierten Herzschlagperiode)
 - LMAD.IBI_linear: Lineare Zu- oder Abnahme der Variabilität (Mass für REM-Anteile gegen Ende der Nacht)
 - LMAD.IBI_ampl: Stärke der Variabilität
 - LMAD.IBI_phase: REM-Phasen-Verschiebung der Variabilität (Anzahl Minuten des ersten Maximums der Variabilität nach Mitternacht)
- Schwerpunktsverlagerung (Nachtmittelwert der Schwerpunktslage)

Berücksichtigt wurden generell nur die vier Nachtstunden, in welchen eine Exposition vorkommen konnte. Die Bewegungen wurden aufgezeichnet, um Auswirkungen elektrischer und magnetischer 50-Hz-Felder auf die Schlaftiefe zu untersuchen. Ebenso wurden Veränderungen in der Atemperiode vermutet. Die Herzschlagparameter wurden gemessen, um allenfalls Rückschlüsse auf eine Beeinflussung der Schlafstadien (REM-Schlaf vs. Tiefschlaf) durch elektrische und magnetische Felder ziehen zu können. Die Identifikation der einzelnen Schlafstadien wird anhand bestimmter Frequenzmuster vorgenommen, die nur mit EEG-Aufzeichnungen registriert werden können. Die Schlafstadien widerspiegeln sich aber auch in den Herzschlagparametern (Periode und Variabilität), dem Atemfrequenzmuster und den unbewussten Bewegungen^{36,37,38,39,40}. Diese Parameter können für die annäherungsweise Bestimmung der Schlafstadien herangezogen werden. Verhaltensanpassungen unter Feldeinfluss (Ausweichverhalten) wurden anhand der Verlagerungen der Schwerpunktslage im Bett untersucht. Die oben aufgeführten Zielgrößen wurden in Versuchsreihen von 20 bis 25 Tagen Dauer in den Wohnungen der Probanden aufgezeichnet.

Erfassung objektiver Störfaktoren

Physikalische Störgrößen wie Lichteinfall, Schallpegel, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Schlafzimmer der Versuchspersonen wurden mit einem einfachen Umweltsensor gemessen (siehe Abbildung 3).

³⁶ Snyder, F., J. A. Hobson, et al. (1964). "Changes in respiration, heart rate and systolic blood pressure in human sleep." *Journal of Applied Physiology* **19**(3): 417-422.

³⁷ Penzel T., B. U., Peter J.H., von Wichert P. (1993). Auswertung von Biosignalen des Schlafs unter besonderer Berücksichtigung von Nicht-EEG-Parametern. *Schlaf, Gesundheit, Leistungsfähigkeit*. Hecht/Engfer/Peter/Poppei. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag: 273-284.

³⁸ Toscani, L., P. F. Gangemi, et al. (1996). "Human heart rate variability and sleep stages." *Italian Journal of Neurological Sciences* **17**: 437-439.

³⁹ Cajochen, C., J. Pischke, et al. (1994). "Heart rate dynamics during human sleep." *Physiology & Behavior* **55**(4): 769-774.

⁴⁰ Bonnet, M. H. (1997). Heart rate variability: Sleep stage, time of night and arousal effects. Ohio, Wright State University.

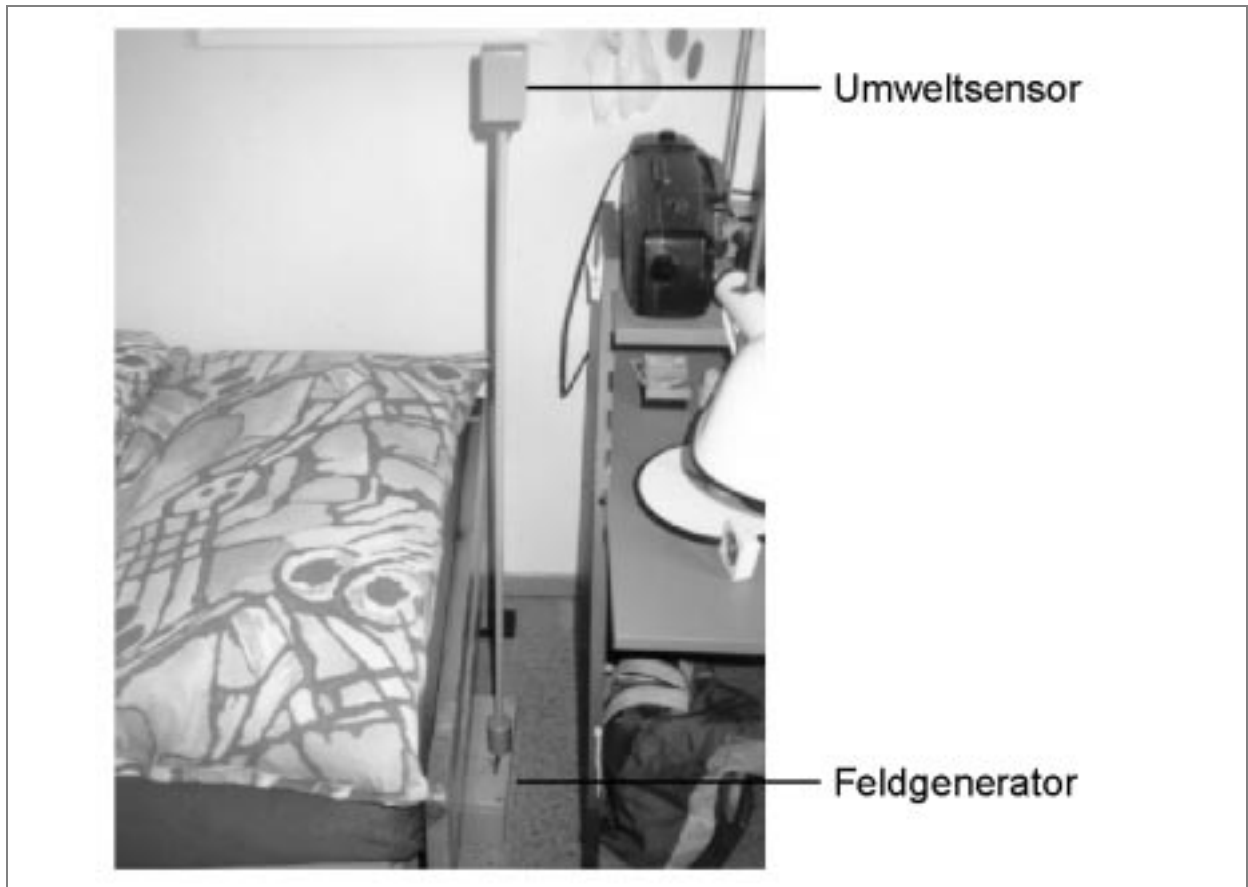


Abb. 3: Umweltsensor hinter dem Kopfteil eines Versuchsbetts. Unter dem Bettgestell sind ein Bewegungssensor und ein Teil des Feldgeneratorgehäuses zu erkennen. Felderzeugende Geräte wie Radiowecker oder Nachttischlampen wurden für den Versuch entfernt.

Zusätzlich zu den Innenraumfaktoren wurde das Wetter in die statistischen Auswertungen miteinbezogen. Der Zeitverlauf des Versuchs (Tagnummer) war eine weitere Störgrösse. Er wurde berücksichtigt, um einen allfälligen linearen Trend, der durch die Gewöhnung der Probanden an die Versuchsanordnung entstehen könnte, zu eliminieren. Sämtliche Ziel- und Störgrössen sind im Anhang aufgeführt (Tabelle A1, letzte Seiten).

Felderzeugung

Das Gerät zur Erzeugung eines Provokationsfelds (Feldgenerator) wurde unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen entwickelt: Einerseits sollte der Feldgenerator ein elektrisches Feld von rund 100 V/m und ein Magnetfeld von etwa 2 μ T liefern, andererseits sollte die Apparatur unabhängig vom Stromnetz der Wohnung (Batteriebetrieb) und ungefährlich bei versehentlichem Kontakt mit der Elektronik (kleine Entladungsströme) sein. Aus dem Gehäuse des Feldgenerators durften we-

der Wärme noch Feld- oder Schallemissionen gelangen, um Doppelblindbedingungen während der Provokationen zu gewährleisten. Dasselbe galt auch für die Feldmatte zur Erzeugung des elektrischen Feldes (silberbedampftes Acrylgewebe, 20 x 40 cm) und die Magnetfeldspule (Kupferlitze, 100 Windungen, 28 cm Durchmesser).

Feldstärkemessungen mit und ohne Provokationsfeld

Für die Messung der Grundbelastung mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (5 Hz bis 2 kHz) und der effektiven Feldstärke des Provokationsfeldes (50 Hz) wurde ein kalibriertes Messsystem des Typs EFA-3 von Wandel & Goltermann (Eningen, D) verwendet. Die Feldstärken und Flussdichten wurden an 16 Messpunkten auf Höhe der Liegefläche gemessen, zwölf Messpunkte im oberen Teil (Kopf – Bauch) und vier im Bereich der Füße.

Die Grundbelastung durch elektrische Felder betrug im Mittel 2.7 V/m (0.2 bis 16 V/m). In sieben Schlafzimmern wurden Feldstärken von 10 V/m und mehr gemessen. Die erzeugten elektrischen Felder lagen je nach Installationsort zwischen 15 und 280 V/m. Die mittlere Feldstärke betrug 87 V/m (lokales mittleres Feldstärkemaximum) und liegt daher um rund einen Faktor 50 unterhalb des Immissionsgrenzwerts. Die Unterschiede sind auf die in Bett und Matratze (z.B. Federkern) verarbeiteten Materialien sowie die Stärke der Grundbelastung zurückzuführen. Die E-Feldstärken wurden durch den Matratzenbezug und die Bettdecke nicht beeinflusst. Abbildung 4 zeigt die elektrischen Feldstärken jeweils mit und ohne Provokationsfeld.

Die Grundbelastung mit 50 Hz-Magnetfeldern in den Schlafzimmern der Versuchspersonen lagen zwischen 0.015 und 0.67 μT . Zwei Versuchspersonen (VP-Nr. 15 und 16) befanden sich in unmittelbarer Nachbarschaft einer 115 kV Hochspannungsleitung. Die mittlere Magnetfeldstärke (ohne VP-Nr. 15 und 16) betrug 0.065 μT , was einem Wert leicht über dem Schweizerischen Durchschnitt von 0.02 bis 0.04 μT (Grundrauschen in Wohnräumen) entspricht (PSI 1995). Das Provokationsfeld lag zwischen 1.5 und 7.7 μT , also unter dem Immissionsgrenzwert aber über dem Anlagegrenzwert. Im Mittel wurden die Probanden einem Magnetfeld von rund 4 μT (lokales Maximum) ausgesetzt. Abbildung 5 zeigt die maximalen magnetischen Flussdichten auf der Liegefläche der Versuchspersonen jeweils mit und ohne Provokationsfeld.

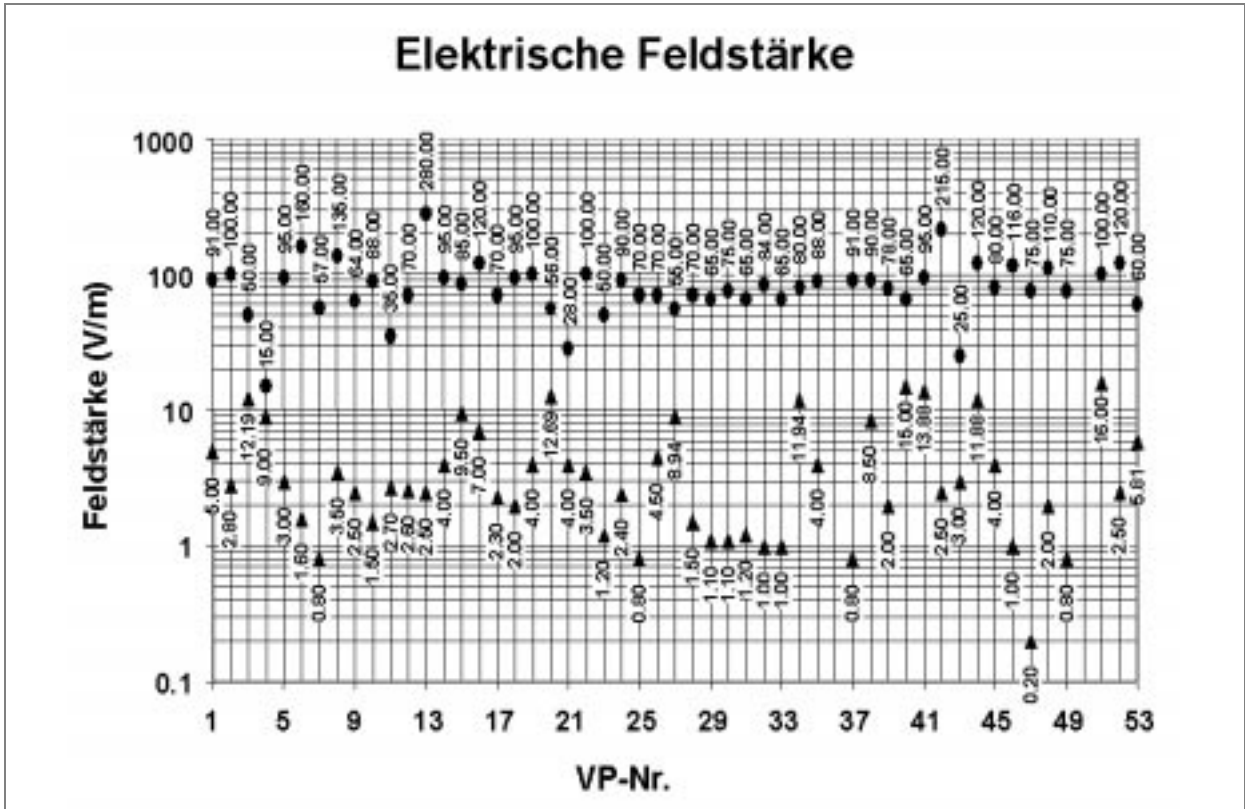


Abb. 4: Elektrische Feldstärken (V/m) in den Schlafzimmern der Probanden: ▲=Grundbelastung; ●=Feldstärkemaxima des Provokationsfelds.

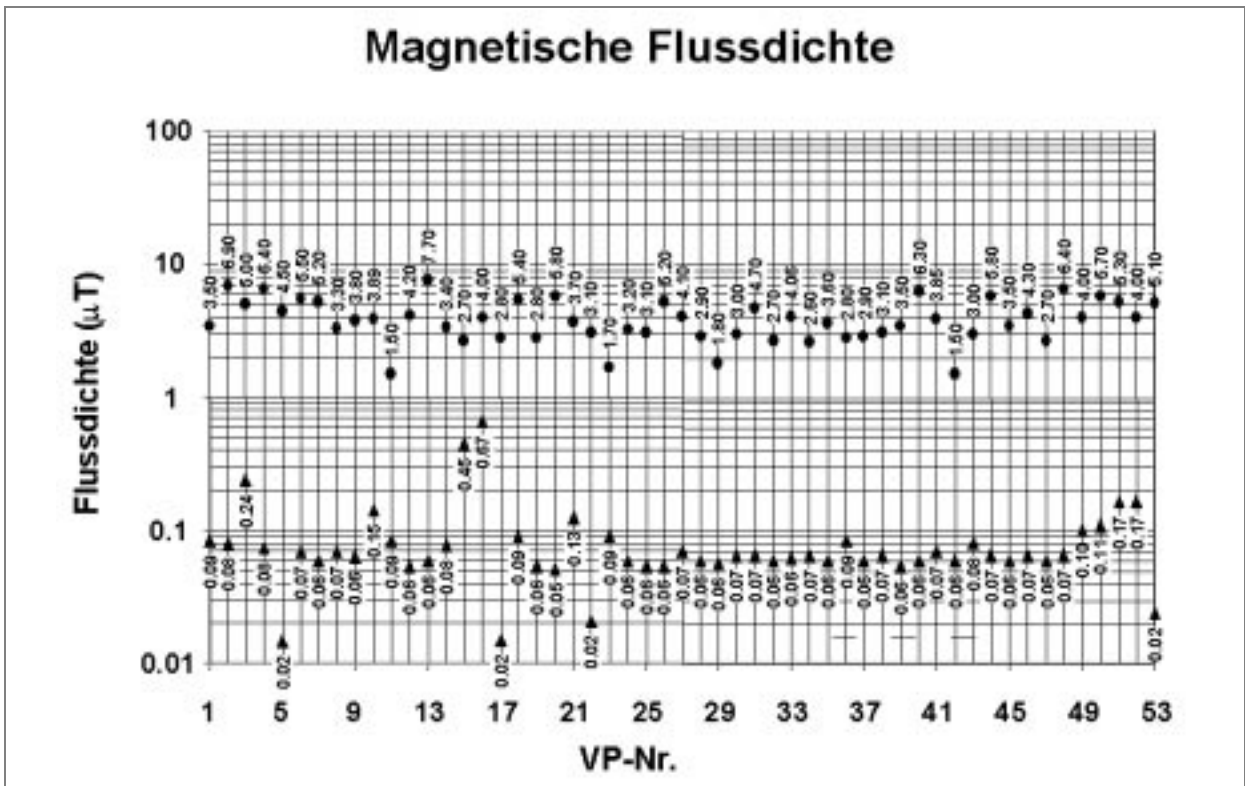


Abb. 5: Magnetische Flussdichte (μT): ▲=Grundbelastung; ●=Induktionsmaxima des Provokationsfelds. Die obere Begrenzung (100 μT) entspricht dem Immissionsgrenzwert.

Hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Im Zuge der Erfassung potenzieller Störgrößen wurde auch die hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF-Strahlung) im Frequenzbereich 100 kHz bis 3 GHz gemessen (EMR-20, Wandel & Goltermann, Eningen, D). Die Messung erfolgte in der Mitte des Schlafzimmers im ca. 140 cm Höhe (Raummitte). Die Feldstärken lagen zwischen 0.1 und 0.8 V/m, der Mittelwert betrug 0.28 V/m. Der höchste Wert von 0.8 V/m wurde in dicht besiedeltem Gebiet gemessen. Diese 0.8 V/m entsprechen ungefähr einem Sechstel des BUWAL-Anlagegrenzwerts und einem Sechzigstel des Immissionsgrenzwerts für die Frequenzbereiche 900 und 1800 MHz. Aufgrund dieser Resultate wurde die Wahrscheinlichkeit, dass die Zielgrößen durch hochfrequente Felder während des Feldversuchs beeinflusst werden, als sehr gering eingestuft. Zudem war nicht zu erwarten, dass die HF-Felder mit den Expositionsmustern der 50-Hz-Provokation übereinstimmen.

Doppelblind-Provokation

Ein Test- und Steuerprogramm (nemesi2)⁴¹ im Kleinrechner des Dormographen diente zur Aufzeichnung der Bewegungs- und Umweltsensordaten und zur Kontrolle und Steuerung des Provokationsfelds. Für jede Testreihe wurde ein Skript-File programmiert, in dem Art, Zeitpunkt und Dauer der Expositionen vorgegeben waren. Der Schlüssel, nach welchem die Skript-Files erstellt wurden, war weder dem Versuchsbearbeiter noch den Versuchspersonen bekannt und wurde erst freigegeben, nachdem die Versuche und die Aufbereitung der Rohdaten abgeschlossen waren. Zur Analyse der Beeinflussung subjektiver und physiologischer Zielgrößen bei elektro-sensiblen Versuchspersonen wurden die Reaktionen und Tagebuchangaben der Nullnächte mit denen der exponierten Nächte verglichen. Die Versuchspersonen dienen somit als ihre eigene Kontrolle.

Feldtypen

Fallberichte liefern Anhaltspunkte dafür, dass das elektrische Feld andere Effekte verursacht als das Magnetfeld. Aus diesem Grund wurde die Feldprovokation aus

⁴¹ Schierz, C. (1998). nemesi.exe. Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie IHA.

verschiedenen Feldtypen zusammengesetzt. Während der 20 bis 25 Testnächte wurden das elektrische und magnetische Feld entweder separat, kombiniert oder kombiniert-alternierend (10 Minuten ein / 10 Minuten aus) geschaltet, um allfällige Unterschiede in den Auswirkungen auf das Befinden und die physiologischen Parameter zu untersuchen. Dies ermöglichte fünf verschiedene Kombinationen inklusive Nullexposition. Die vier Expositionsarten wurden jeweils in Blöcken zu zwei Nächten eingeschaltet, um mögliche verzögerte Reaktionen zu berücksichtigen.

Anordnung der Magnetfeldspule

Die Magnetfeldspule wurde asymmetrisch unter der Matratze angebracht, um untersuchen zu können, ob die Versuchspersonen unter Magnetfeldprovokation ein Ausweichverhalten zeigen. Zu diesem Zweck wurde die Magnetfeldspule (28 cm Durchmesser, 100 Windungen, Kupferlitze) und eine in Abmessung, Farbe und Konsistenz identische Blind-Spule aus Wollgarn auf einem Karton (40x80 cm) montiert und mit einem undurchsichtigen Baumwollüberzug versehen. Die Versuchspersonen wussten nicht, dass eine der beiden Spulen lediglich eine Attrappe war und die Lage der Magnetfeldspule wurde zufällig gewählt.

Analyseverfahren und Statistik

Die Auswertung der Feldversuchsdaten war aufwendig, da die Versuchsdauer mit 20 bis 25 Nächten pro Versuchsperson aus Gründen der Aufwandminimierung knapp bemessen war. Durch Randomisieren wurde das Verfahren der robusten linearen Regression als geeignete Auswertemethode identifiziert. Das Ziel robuster Methoden ist, Datenpunkte mit grossem Einfluss auf die Resultate (v.a. bei Regression) zu charakterisieren und so die Empfindlichkeit der Schätzung gegenüber Ausreissern zu minimieren (Huber 1981; Hampel, Ronchetti et al. 1986). Die statistischen Auswertungen der NEMESIS-Daten, welche robuste Methoden erforderten, wurden am Seminar für Statistik der ETH Zürich durchgeführt. Es wurden Zufallswahrscheinlichkeiten für die Daten jeder Versuchsperson einzeln ermittelt (liefert individuelle p-Werte). Diese individuellen Ergebnisse dienten der Suche nach statistisch bedeutsamen Auffälligkeiten einzelner Personen in der Gruppe.

In der Tabelle 3 sind die Hypothesen, die dazugehörigen Zielgrössen und die verwendeten Auswerteverfahren aufgelistet.

Tab. 3: Hypothesen, Zielgrößen und Analyseverfahren des Feldversuchs

Nr.	Hypothese (Stichwort)	Zielgrößen / Parameter	Analyseverfahren
1a	Schlaf tiefe und Aufwachbefinden	Schlaf tiefe: Mittelwert der Schlafbewertung „oberflächlicher – tiefer“ (Skala von 0 – 10) und „unruhiger – ruhiger“ (Skala von 0 – 10) Pleasure (Zufriedenheit) und Arousal (Erregung): Faktoren aus Faktorenanalyse einer BefindlichkeitsEinstufung mittels 18 bipolarer Adjektivpaare.	Robuste lineare Regression
1b	Bewertung der Schlafqualität	Stichworte zur Schlafqualität aufgelöst nach „Antwort deutet auf Feld eingeschaltet“ (=1) oder „Antwort deutet auf Feld ausgeschaltet“ (=0) getestet gegen die Feldsituation (ein/aus)	χ^2 -Test (Fisher)
2	Unbewusste Feldwahrnehmung	Antworten auf die Frage „War das Feld eingeschaltet?“ (ja / weiss nicht / nein) getestet gegen die Feldsituation (ein/aus)	χ^2 -Test (2x3-Feldertafel)
3	Befinden am Tag	Befinden: „Wie fühlen Sie sich heute verglichen mit einem durchschnittlichen Tag?“ (Skala von 0 – 10) Erholung: „Wie erholt fühlen Sie sich heute verglichen mit einem durchschnittlichen Tag?“ (Skala von 0 – 10) Müdigkeit: „Wie müde fühlen Sie sich heute Abend?“ (Skala von 0 – 10) Pleasure und Arousal am Abend: vgl. Hypothese 1a	Robuste lineare Regression
4a	Bewegungen und Atemperiode	Anzahl Bewegungen: Nachtmittelwert der Minutenmittelwerte Atemperiode: Nachtmittelwert der Minutenmittelwerte	Robuste lineare Regression
4b	Herzschlagparameter	„Mittlere Herzfrequenz“ (MED.IBI_mean) „lineare Zu- oder Abnahme der Herzfrequenz“ (MED.IBI_linear), „Amplitude einer 90-Minutenrhythmik“ (MED.IBI_ampl), „Tiefschlafphasenverschiebung“ (MED.IBI_phase), „Mass für REM-Phasen Anteile“ (LMAD.IBI_mean), „Lineare Zu- oder Abnahme der Variabilität“ (LMAD.IBI_linear), „Stärke der Variabilität“ (LMAD.IBI_ampl), „REM-Phasen-Verschiebung“ (LMAD.IBI_phase)	Robuste lineare Regression
5	Ausweichverhalten	Nachtmittelwert der Schwerpunktslage	Robuste lineare Regression
<i>explorativ</i>	Richtung der Beeinflussung	t-Werte aus der robusten linearen Regression inkl. Vorzeichen	Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest
	Unterschiede zwischen Feldtypen	Robuste lineare Regression gegen Feldindikatoren (Zusammenfassung der Feldtypen zu vier verschiedenen Kombinationsarten)	Robuste lineare Regression
	Auswirkungen eines intermittierenden Feldes	Nächte mit intermittierender Exposition (10 Min. Feld ein, 10 Min. Feld aus): Veränderung der Zielgrößen entsprechend dem Ein- und Ausschalten des elektrischen und magnetischen Feldes	Zeitreihenanalyse (Mixed Modell: <i>Autoregressive order one</i> AR-1 Modell)
	Auswirkungen des Genussmittelkonsums	Geschätzte Einschlafdauer, geschätzte Wachzeit in der Nacht, geschätzte Anzahl Aufwachereignisse, Traumerinnerungen, Beurteilung der Schlafqualität, Beurteilung der Feldsituation (unbewusste Wahrnehmung)	2-Stichproben t-Test, Mann-Whitney U-Test, χ^2 -Test

Resultate des Feldversuchs

Subjektive Beurteilungen am Morgen (Hypothese 1)

Die Schlaftiefe und das Aufwachbefinden zeigen einen Zusammenhang mit dem 50 Hz-Feld (Hypothese 1a). Über alle Versuchspersonen betrachtet, wurde nach Nächten mit Feldprovokation der Schlaf als tiefer und das Aufwachbefinden als besser beurteilt als nach Nächten ohne Exposition ($p=0.042$ ⁴²). Über alle Versuchspersonen gesehen unterschieden also die subjektiven Beurteilungen am Morgen die Nächte ohne von denen mit Exposition überzufällig. Im Einzelfall unterscheiden sich die Reaktionen jedoch wesentlich. Die Aussagen zur Schlafqualität hingegen (Hypothese 1b) widerspiegeln keinen Zusammenhang mit dem Provokationsfeld ($p=0.535$).

Die Auswertung von Vornacht und Nacht kombiniert, im Hinblick auf eine sich über die Zeit verstärkende oder verzögerte Wirkung der Provokation auf die subjektiven Schlafparameter blieb ohne Befund. Schlaftiefe und Aufwachbefinden hängen offenbar direkt mit der Feldsituation der bewerteten und kaum mit jener der vorangegangenen Nacht zusammen. Elektrische und magnetische Felder scheinen demnach eine unmittelbare Beeinflussung der Schlaftiefe und des Aufwachbefindens zu bewirken.

Feldwahrnehmung (Hypothese 2)

Als Kollektiv konnten die Versuchspersonen die Feldsituationen überzufällig oft unterscheiden ($p=0.018$). Sie beurteilten den Feldzustand jedoch verkehrt herum. Nullnächte wurden eher als Nächte mit Provokation und Provokationsnächte eher als feldfreie Nächte eingestuft. Ebenso wurden in den Aussagen zur Schlafqualität nach Provokationsnächten weniger Hinweise gefunden, die auf eine Exposition mit elektrischen und magnetischen Feldern während der Nacht hindeuteten als nach Nullnächten. Die Analyse der einzelnen Versuchspersonen ergab im Gegensatz zum umfassenden Test keine über das erwartete Mass hinausgehenden Signifikanzen.

⁴² Der Wert p bezeichnet die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die festgestellten Zusammenhänge für die Gruppe der Versuchspersonen allein durch Zufall zustande gekommen sind. Je kleiner diese Wahrscheinlichkeit ist, desto eher sind reale Zusammenhänge zu vermuten, welche nicht nur auf Zufall beruhen. Bei einem Wert von $p<0.05$ spricht man von signifikanten Zusammenhängen.

Das heisst, dass die Versuchspersonen im Prinzip nur mit einem „gemeinsamen demokratischen Entscheid“ die Feldsituationen überzufällig oft unterscheiden können.

Subjektive Beurteilungen am Abend (Hypothese 3)

Das Befinden am Tag scheint nicht durch die Provokation mit elektrischen und magnetischen Feldern während der Nacht beeinflusst worden zu sein ($p=0.191$). Untersucht man aber die Einzelergebnisse jeder Zielgrösse, so wird deutlich, dass das Befinden am Tag (wieder über alle Personen gesehen) nach einer Nacht mit Provokation besser war. Dies deckt sich mit dem Fazit der Hypothese 1a, dass die Schlaf-tiefe und das Aufwachbefinden als besser beurteilt wurde. Die Verteilung der individuellen p -Werte zeigt eine interessante Struktur im Bereich kleiner Werte, die auf die Existenz einer gesonderten Gruppe von Versuchspersonen hindeutet. Das Wohlbefinden am Tag scheint hingegen nicht von der Feldsituation in der Nacht zuvor abzuhängen.

Physiologische Parameter (Hypothese 4)

Die Atemperiode und die Bewegungen wurden nicht nachweisbar verändert (Hypothese 4a; $p=0.226$). Gerade die Atmung wird vermutlich durch viel stärkere Taktgeber gesteuert, als dass sie durch elektrische und magnetische Felder von rund 100 V/m und 4 μ T beeinflusst oder gestört werden könnte. Die Herzschlagperiode zeigte, wenn über alle p -Werte der acht Parameter gemittelt wurde, ebenfalls keine Beeinflussung (Hypothese 4b; $p=0.433$). Die explorativen Auswertungen der Zielgrösse einzeln zeigen jedoch einen anderen Befund: Die signifikante Beeinflussung einzelner Herzparameter und die Tatsache, dass die Verteilung der individuellen p -Werte im Bereich nahe 0 von der erwarteten Verteilung abweicht, sind Anhaltspunkte dafür, dass der Herzschlag und damit möglicherweise die Schlafphasen zumindest bei einem Teil der Versuchspersonen verändert wurden (mögliche sensitive Untergruppe).

In den Nächten, in denen das Provokationsfeld alle 10 Minuten ein- und ausgeschaltet wurde (vgl. Abschnitt „Feldtypen“, Seite 66), konnte gemäss den Ergebnissen einer Zeitreihenanalyse keine signifikante Veränderung in der Dauer und Variabilität der Herzperiode nachgewiesen werden. Die Einwirkdauer der zehnmütigen Provokationsphasen während der alternierenden Feldexposition reichte offenbar nicht aus, um die für die Steuerung der Herztätigkeit zuständigen Signalgeber in ihrer Funktion nachweislich zu beeinflussen.

Ausweichverhalten (Hypothese 5)

Die Annahme, dass die Versuchspersonen ihre Liegeposition während der 50 Hz-Provokation unbewusst oder bewusst ändern, wurde anhand der Schwerpunktsberechnungen aus den Dormographdaten untersucht. Die asymmetrische Platzierung der Magnetfeldspule ermöglichte den Vergleich zwischen Nullnächten und Nächten mit Provokation. Die Auswertung der Schwerpunktslage zeigte zwar keinen Gruppeneffekt, sie ergab aber überzufällig viele Personen mit einer Reaktion ($p=0.007$) und auch hier deutet die Verteilung der individuellen p-Werte auf die Existenz einer Untergruppe Elektrosensitiver hin. Wenn überzufällig viele Versuchspersonen ein signifikantes Ausweichverhalten zeigen und trotzdem über alle Personen kein „Gruppeneffekt“ sichtbar ist, kann angenommen werden, dass nur eine Untergruppe auf die Feldprovokation reagierte.

Betrachtet man die Richtung, in der sich die Versuchspersonen unter Feldeinfluss bewegten, sieht man, dass fünf der sechs Probanden mit signifikanter Reaktion ein Fluchtverhalten zeigten, während eine Person sich dem Feld näherte. Die Bedeutung von „Flucht“ und „Annäherung“ darf nicht überbewertet werden, da die Bettgröße und die Liegegewohnheiten die Bewegungsfreiheit entsprechend einschränken.

Zusammenfassung der Ergebnisse des Feldversuchs

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse des Feldversuchs zusammen.

Tab. 4: Resultate des Feldversuchs.

Hypothese	Parameter	p-Wert	Bemerkungen
1a	Schlafstiefe und Aufwachbefinden	0.042	Schlafstiefe und Aufwachbefinden wurden signifikant beeinflusst
1b	Aussagen zur Schlafqualität	0.535	Kein messbarer Einfluss auf die Beurteilung der Schlafqualität
2	Feldwahrnehmung	0.018	VP konnten im Kollektiv Nächte mit Provokation überzufällig detektieren
3	Wohlbefinden am Tag	0.191	Kein messbarer Einfluss auf das Wohlbefinden am Tag nach Feldprovokation
4a	Bewegungen und Atemperiode	0.226	Zahl der Bewegungen und Atemperiode unter Feldeinfluss nicht messbar verändert
4b	Herzperiode, Herzschlagparameter	0.433	Keine messbare Veränderung der Herzschlagparameter unter Feldeinfluss
5	Ausweichverhalten	0.007	Überzufällig viele VP mit signifikantem Ausweichverhalten

VP=Versuchspersonen

Schlussfolgerungen aus dem Feldversuch

Subjektive und physiologische Parameter

Neuronen in der Hirnrinde synchronisieren ihre Entladungen mit hoher Präzision und auf der Basis oszillatorischer Aktivität im Bereich von 30 bis 50 Hz, wenn sie in bestimmte kognitive Funktionen eingebunden werden⁴³. Da es sich um eine kohärente Aktivierung sehr grosser Zellgruppen handelt, könnten unter Umständen schwache 50 Hz-Felder, die an einzelnen Neuronen keine messbaren Veränderungen bewirken, über Kooperativitätseffekte, nicht-lineare Wechselwirkungen zwischen sehr vielen Komponenten und über daraus resultierende Resonanzprozesse einen Einfluss haben (persönliche Mitteilung von W. Singer, Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt/Main). Dieser Befund aus der Hirnforschung könnte mit der von Preece und Mitarbeitern⁴⁴ sowie Crasson und Mitarbeitern⁴⁵ beschriebenen Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit und Verkürzung der Reaktionszeiten unter Feldeinfluss zusammenhängen. Möglicherweise war bei den Versuchspersonen die Aktivierungsschwelle unter Einfluss des Feldes verändert. Dies könnte – sofern sich der Zustand auch während des Schlafs einstellt - eine Verminderung des Tiefschlafanteils verursachen und sich schliesslich auch in einer Veränderung der Schlafqualität auswirken. Die Zusammenhänge zwischen Feld-Provokation und Schlaftiefe, Aufwachbefinden und Schwerpunktslage lassen jedenfalls die Hypothese einer veränderten sensorischen Aufnahme plausibel erscheinen.

Die Beeinflussung physiologischer Parameter durch Felder wurde in verschiedenen Studien untersucht. Die Arbeitsgruppe um Graham untersuchte in einer Reihe von Experimenten die Auswirkungen von 60 Hz Feldern auf physiologische Parameter

⁴³ Singer, W. and C. M. Gray (1995). "Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis". *Annu. Rev. Neurosci.* **18**: 555-586.

⁴⁴ Preece, A. W., G. Iwi, et al. (1999). "Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man." *Int. J. Radiat. Biol.* **75**(4): 447-456.

⁴⁵ Crasson, M., J.-J. Legros, et al. (1999). "50 Hz Magnetic Field Exposure Influence on Human Performance and Psychophysiological Parameters: Two Double-Blind Experimental Studies." *Bioelectromagnetics* **20**: 474-486.

während des Schlafs^{46,47,48}. Dabei wurde unter Feldeinfluss eine kleine aber statistisch signifikante Verlängerung des Intervalls zwischen zwei Herzschlägen (IBI) entdeckt (=Herzschlagperiode). Die Analyse der Feldversuchsdaten des Projekts NEMESIS zeigten keine signifikante Feldwirkung über alle gemessenen Herzschlagparameter. Die Zielgrösse „Nachtmittelwert der Minuten-Mediane der Herzschlagperiode“ (MED.IBI_mean), die dem Parameter „IBI“ entspricht, zeigte aber einen Zusammenhang mit der Feld-Provokation. Sastre et al.⁴⁹ fanden eine signifikante Verringerung der Herzraten-Variabilität unter Einfluss eines alternierenden 60 Hz Magnetfeldes von 20 μ T. Die explorativen Untersuchungen deuten darauf hin, dass zumindest tendenziell ein positiver Zusammenhang zwischen der Variabilität des Herzschlags (LMAD.IBI_mean) und der Feldsituation besteht.

Untergruppe elektrosensitiver Personen

Betrachtet man die individuellen p-Werte des Tagbefindens (Hypothese 3), der Schwerpunktsverlagerungen (Hypothese 5) und einzelner Herzparameter (LMAD.IBI_phase, MED.IBI_mean, LMAD.IBI_mean aus Hypothese 4b), fällt auf, dass die Verteilung der kleinen p-Werte deutlich von der erwarteten uniformen Verteilung abweicht, im Bereich grosser Zufallswahrscheinlichkeiten aber der Erwartung entspricht. In Abbildung 6 sind alle individuellen p-Werte des Tagbefindens, der Schwerpunktsauswertung und aller Herzparameter gegen die uniforme Verteilung aufgetragen. Eine uniforme Verteilung wird erwartet, wenn kein Einfluss der Felder vorhanden ist und die individuellen p-Werte sich nur durch Zufall unterscheiden.

⁴⁶ Graham, C., H. D. Cohen, et al. (1987). A double-blind evaluation of 60Hz field effects on human performance, physiology and subjective state. Springfield, VA., National Technical Information Service: 471-486.

⁴⁷ Cook, M. R., C. Graham, et al. (1992). "A replication study of human exposure to 60-Hz fields: Effects on neurobehavioral measures." *Bioelectromagnetics* **14**: 261-285.

⁴⁸ Graham, C., M. R. Cook, et al. (1994). "Dose-response study of human exposure to 60Hz electric and magnetic fields." *Bioelectromagnetics* **15**: 447-463.

⁴⁹ Sastre, A., M. Cook, et al. (1998). "Nocturnal exposure to intermittent 60Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm." *Bioelectromagnetics* **19**: 98-106.

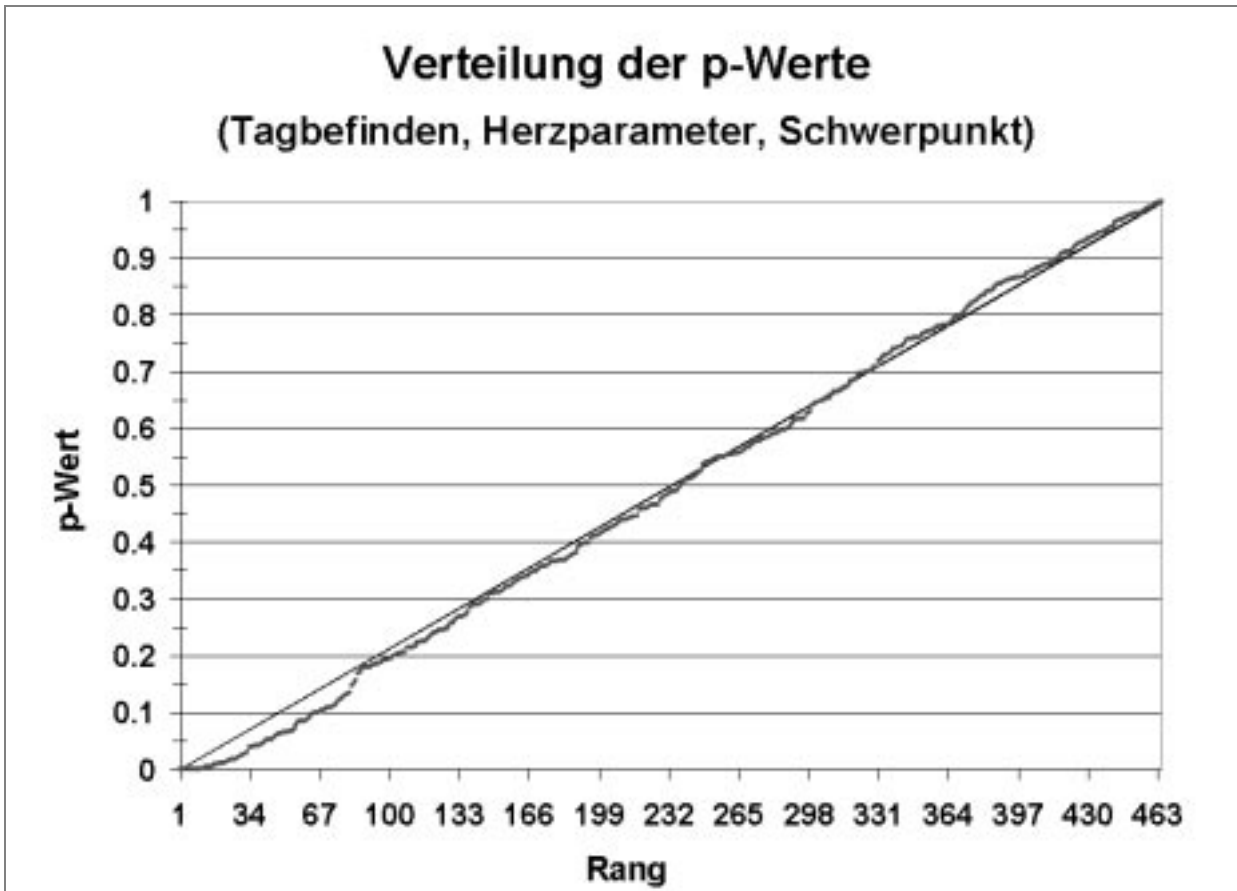


Abb. 6: Verteilung individueller p-Werte (Tagbefinden, Schwerpunktsverlagerungen, drei Herzparameter): Im Bereich kleiner Zufallswahrscheinlichkeiten weichen die gemessenen p-Werte von der erwarteten uniformen Verteilung (Diagonale) ab.

Die Form der Verteilung bei kleinen p-Werten deutet auf eine überzufällige Häufung signifikanter Ergebnisse. Da die Zielgrößen voneinander abhängig sind, kann keine Zufallswahrscheinlichkeit für die in Abbildung 6 erkennbare Häufung kleiner p-Werte berechnet werden, die Abweichung der Verteilung der p-Werte von der Diagonalen nach unten ist dennoch von Bedeutung. Zur Klasse $p \leq 0.05$ gehören fast doppelt so viele Werte wie erwartet, während die Verteilung in den übrigen Klassen ungefähr der Erwartung entspricht. Dieser Befund deutet darauf hin, dass es Menschen gibt, die je nach „Tagesverfassung“ recht zuverlässig Felder detektieren oder unbewusst wahrnehmen können und damit elektrosensitiv sind.

Mögliche Beeinflussung der Schlafphasen durch 50 Hz-Felder

Der Zusammenhang zwischen einzelnen Herzparametern (MED.IBI_mean, LMAD.IBI_phase und tendenziell LMAD.IBI_mean) und der Feldexposition legt die Vermutung nahe, dass die zeitliche und anteilmässige Verteilung der Schlafphasen

durch elektrische und magnetische 50 Hz-Felder (Feldstärke um 100 V/m und 4 μ T) verändert wurden.

Aus der separaten Analyse der Variabilität der Herzperiode (LMAD.IBI_mean) über alle Versuchspersonen ergab sich ein signifikanter positiver Zusammenhang⁵⁰ mit der Feldsituation: In Nächten mit Feld-Provokation war LMAD.IBI_mean mehrheitlich grösser ($p=0.024$), was auf einen grösseren Anteil an Schlafstadium 2 und REM-Schlaf hinweisen könnte. Gleichzeitig ist MED.IBI_mean tendenziell negativ ($p=0.16$) mit der Feldsituation korreliert, die Ergebnisse sind konsistent.

Reite et al.⁵¹ sowie Mann et al.⁵² fanden in EEG-Untersuchungen eine Verkürzung der REM-Phasen unter Einfluss hochfrequenter Felder. Bei den Versuchspersonen der vorliegenden Studie wurde in Nächten mit Feld-Provokation eher eine Verflachung der Schlaftiefe beobachtet, was einer Verkürzung des Tiefschlafs (Schlafstadien 3 und 4) zugunsten der Schlafstadien 2 und der REM-Phasen entspricht. Ob und wie sich die Feld-Exposition auf die Dauer der REM-Phase auswirkte, kann anhand der aktimetrischen und physiologischen Daten nicht zweifelsfrei bestimmt werden.

Feldwahrnehmung

Die Tatsache, dass die Felderexpositionen zwar unterschieden, aber nicht korrekt identifiziert wurden, könnte dadurch zustande kommen, dass die Versuchspersonen ihre Aufwachbefinden oder die subjektive Schlaftiefe als Grundlage für ihr Urteil verwendeten. Die Felder wirkten mehrheitlich positiv auf das Befinden, die Probanden erwarteten hingegen das Gegenteil. Den Aspekten der direkten Feldwahrnehmung wird im Laborversuch genauer auf den Grund gegangen.

⁵⁰ Positiver Zusammenhang bedeutet, dass bei eingeschaltetem Feld die Zielgrösse zunimmt. Im konkreten Beispiel war die Variabilität grösser, wenn das Feld eingeschaltet war. Negativ zusammenhängende Parameter verhalten sich umgekehrt.

⁵¹ Reite, M., L. Higgs, et al. (1994). "Sleep inducing effect of low energy emission therapy." *Bioelectromagnetics* **15**(1): 67-75.

⁵² Mann, K. and J. Röschke (1996). "Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep." *Neuropsychobiology* **33**: 41-47.

Schlafphasen und subjektive Parameter

Die Bewertung der Schlaftiefe und des Aufwachbefindens am Morgen zeigt mit dem linearen Trend der Herzrate über die Nacht (MED.IBI_linear), dem Nachtmittelwert der Variabilität der Herzperiode (LMAD.IBI_mean) und dem Nachtmittelwert der Herzperiode (MED.IBI_mean) einen Zusammenhang. Die Schlaftiefe („unruhiger-ruhiger“, „oberflächlicher-tiefer“) ist negativ mit MED.IBI_linear korreliert. Angenommen, der lineare Trend sei ein Mass für die Verteilung von non-REM- und REM-Phasenanteile über die Nacht. Die Zunahme der Herzschlagperiode während der Nacht war in Nächten mit Feld-Provokation geringer, das heisst, die normalerweise registrierte Abnahme des Tiefschlafphasenanteils gegen Ende der Nacht zeigte sich nicht (weniger Tiefschlaf bereits zu Beginn der Nacht). Gleichzeitig wurde der Schlaf als tiefer und ruhiger bewertet.

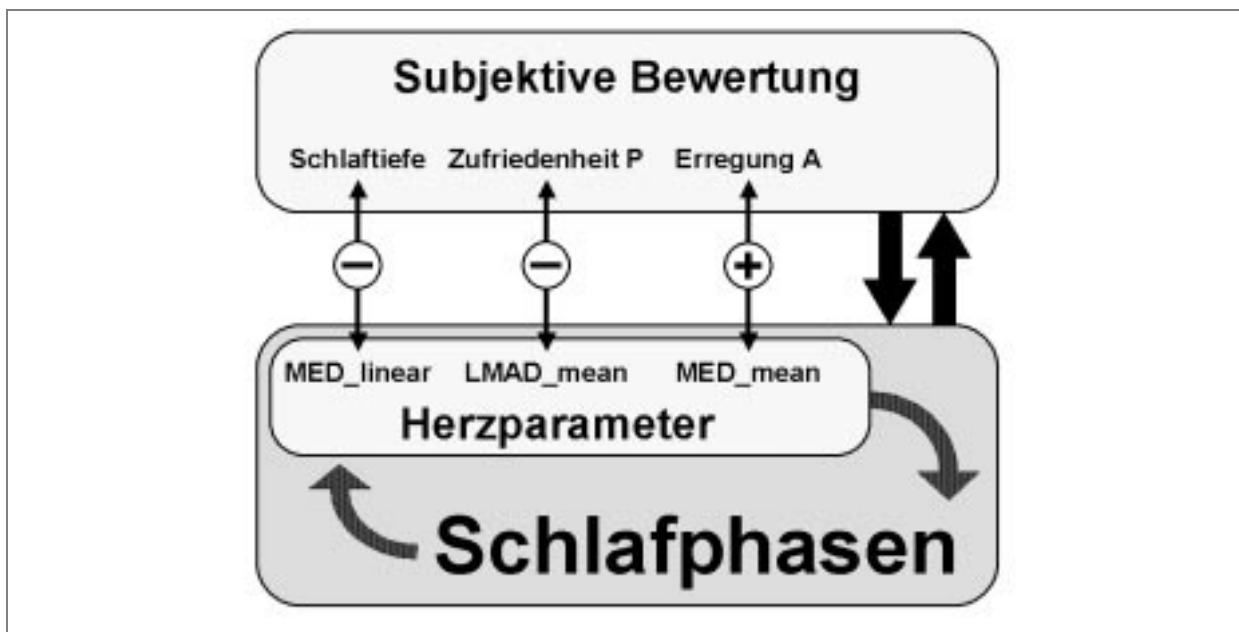


Abb. 7: Die subjektive Schlaftiefe und die Zufriedenheit und Erregung am Morgen hängen mit dem linearen Trend über die Nacht (MED_linear), der Variabilität (LMAD_mean) und dem Nachtmittel (MED_mean) der Herzschlagperiode und damit wohl auch mit der Verteilung der Schlafphasen zusammen. (-) = negative, (+) = positive Korrelation.

Der Faktor „Zufriedenheit“ (Pleasure) korreliert negativ mit LMAD.IBI_mean, einem Indikator für REM-Phasen. Die Angeregtheit am Morgen (Arousal) ist positiv mit MED.IBI_mean korreliert. Je grösser MED.IBI_mean im Nachtmittel ist (je tiefer der Puls), desto mehr Tiefschlaf wurde in der Nacht registriert und desto ausgeruhter und wacher fühlten sich die Versuchspersonen am Morgen. Es besteht folglich eine Wechselwirkung zwischen subjektiver Bewertung des Schlafs einerseits und Herzpa-

rametern und Schlafphasen andererseits (Abbildung 7). Über alle Testpersonen betrachtet wird das subjektive Befinden nach Feld-Exposition eher besser bewertet, die Auswertungen pro Person lassen aber kein einheitliches Muster erkennen.

Die Wechselbeziehungen zwischen den Schlafphasen einerseits und der Schlaftiefe und dem Aufwachbefinden andererseits widerspiegeln sich unter anderem in der Studie zum Kurzwellensender Schwarzenburg^{53,54}. Die Untersuchung ergab einen schwach signifikanten Zusammenhang zwischen der Tätigkeit des Senders und Schlafstörungen. Das von der Entfernung zum Sender abhängige Risiko, an Schlaflosigkeit zu leiden, ist ein Hinweis dafür, dass die in stark belasteten Gebieten wohnenden Personen eine Beeinträchtigung der Schlaftiefe erfuhren. Ähnlich wie bei Lärmbelastung, verursachte die Feldexposition möglicherweise eine Verminderung der Schlaftiefe, was in der Folge zu häufigeren Ein- und Durchschlafproblemen führte (vgl. dazu auch die Studie zum Kurzwellensender Schwarzenburg⁵⁵). Borbély und Mitarbeiter⁵⁶ untersuchten die Auswirkungen gepulster HF-Strahlung auf den Schlaf und das Schlaf-EEG. Im Vergleich zu einer Kontrollnacht ohne Exposition war die Dauer der kurzen nächtlichen Wachepisoden nach dem Einschlafen reduziert und das Schlaf-EEG war verändert. Die Ergebnisse des Projekts NEMESIS deuten in dieselbe Richtung: Bei den Versuchspersonen mit kleinem p-Wert aus der Untersuchung der Schlaftiefe und des Aufwachbefindens wurde eine signifikante Verminderung der Aufwachereignisse bei Feldexposition festgestellt.

Der Schlaf der Versuchspersonen des Projekts NEMESIS war in Nächten mit 50 Hz-Provokation generell oberflächlicher als in Nächten ohne Exposition. Dies scheint den Ergebnissen der Untersuchungen der subjektiven Parameter zu widersprechen,

⁵³ Altpeter, E. S., C. E. Minder, et al. (1997). Schlafstörungen beim Kurzwellensender Schwarzenburg. Bern, ISPM, Universität Bern.

⁵⁴ Altpeter, E. and T. Abelin (1998). Sleep and electromagnetic fields: Attempt at disentangling sleep disorders and other non-specific health symptoms in a population exposed to RF electromagnetic fields. International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-Specific Health Symptoms, Graz, Austria, COST244bis.

⁵⁵ Altpeter, E. S., C. E. Minder, et al. (1997). Schlafstörungen beim Kurzwellensender Schwarzenburg. Bern, ISPM, Universität Bern.

⁵⁶ Borbély, A. A., R. Huber, et al. (1999). "Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram." *Neuroscience Letters* **275**: 207-210.

die über das gesamte Versuchspersonenkollektiv gesehen einen tieferen Schlaf und ein besseres Aufwachbefinden zeigen. Aus der Schlafforschung weiss man aber, dass die subjektive Bewertung der Schlafqualität und die tatsächliche, anhand von EEG-Messungen beurteilte Schlaftiefe nicht oder nur zufällig korrelieren⁵⁷. Es ist denkbar, dass besonders empfindliche Personen Felder bewusst oder unbewusst wahrnehmen, was schliesslich – ähnlich wie bei Schlafstörungen durch Lärm – die Schlafstadien bzw. die Schlaftiefe beeinflusst, ohne dass dies den Betroffenen am Morgen direkt bewusst wird.

⁵⁷ Borbély, A. A. (1984). Das Geheimnis des Schlafs. Stuttgart, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH.

Projekt NEMESIS:

Teil 2: Methoden und Resultate des Laborversuchs

Christopher H. Müller, Christoph Schierz

Im Laborversuch wurde der Frage nachgegangen, ob überzufällig viele Personen elektrische und magnetische Felder bei Feldstärken unterhalb der Immissionsgrenzwerte bewusst wahrnehmen können. Zusätzlich wurden psychologische Faktoren untersucht, die mit Elektrosensibilität und dem Befinden in Zusammenhang stehen.

Pilotversuch zur Feldwahrnehmung

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde im Frühling 1998 mit einem Teil der Versuchspersonen ein Pilotversuch durchgeführt⁵⁸. In dem für die Versuchspersonenbefragung verwendeten Kleinbus wurde ein Feldgenerator (Frequenz: 50 Hz, elektrische Feldstärke: 60-80 V/m, magnetische Induktion: 2-3 μ T) installiert. Die Versuchspersonen sassen während des zirka halbstündigen Versuchs im Bus und mussten jede halbe Minute die Feldsituation (ein / aus) beurteilen. Bei sechs der 47 Versuche wurde die Feldsituation überzufällig oft richtig oder verkehrt übereinstimmend erkannt. Die Zufallswahrscheinlichkeiten wurden anhand der Binomialverteilung berechnet⁵⁹. Es wurde zweiseitig getestet, da theoretisch die Möglichkeit besteht, dass die Probanden die Feldsituationen zwar unterscheiden und damit detektieren, aber nicht identifizieren können⁶⁰. Tabelle 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

⁵⁸ Mason, S. (1998). Untersuchung psychischer Einflussgrößen bei subjektiv elektrosensiblen Personen. Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie IHA, ETH Zürich: PU-98-01-LE.

⁵⁹ p_{Binom} : Die Auftretenswahrscheinlichkeit für eine bestimmte Anzahl signifikanter p-Werte ist binomialverteilt, wenn die einzelnen Versuche voneinander unabhängig sind und die Wahrscheinlichkeit eines Testerfolgs für alle Versuche konstant bleibt.

⁶⁰ Um einer Person die Fähigkeit der Wahrnehmung von Feldern zu attestieren, reicht es, dass sie die Feldsituation detektieren kann. Das korrekte Erkennen der Feldsituation ist dazu nicht zwingend notwendig. Vergleich: Man kann testen, ob eine Versuchsperson zwei Farben unterscheiden kann, ohne aber wissen zu wollen, wie die beiden Farben heissen.

Tab. 5: Resultate aus dem Pilotversuch.

VP-Code	#richtig/ #Situationen	p-Wert	
19	17/20	0.0013	Die Wahrscheinlichkeit, dass 6 von 47 Versuchsdurchläufen zufällig ein signifikantes Resultat liefern, ist: $p_{\text{Binom}}=0.029$
23	4/20	0.0059	
5	15/20	0.021	VP 19 erfüllt das Bonferroni-Kriterium für wiederholtes Testen: $p_{\text{Bonferroni}} \leq 0.0041$ (Bonferroni-korrigiertes 5% Signifikanzniveau für VP mit Hilfsmittel ⁶¹ : n=12)
30	15/20	0.021	
57(a)*	15/20	0.021	
57(b)	15/20	0.021	

*VP 57 absolvierte den Versuch zweimal unmittelbar hintereinander ($p_{\text{Binom}}^{30/40}=0.0011$).

In der Folge wurde ein Laborversuch durchgeführt, um die Resultate des Pilotversuchs in einem Doppelblind-Experiment⁶² zu validieren.

Versuchspersonen

Das Versuchspersonenkollektiv bestand aus 32 Frauen und 31 Männern (n=63). Das Durchschnittsalter betrug 49.5 Jahre. 37 von 63 Personen bezeichneten sich selbst als elektrosensibel und nahmen auch am Feldversuch des Projekts NEMESIS teil. Von den 37 Versuchspersonen wiederum nahmen 24 am Pilotversuch teil. Weitere zwölf Personen wurden gezielt aus der Interessentenliste des Projekts NEMESIS ausgewählt und folgten der Einladung zum Laborversuch. Eine zusätzliche Gruppe von 14 Personen, die sich als „nicht elektrosensibel“ einstufen, wurde als Kontrollgruppe in die Untersuchung miteinbezogen (Angehörige von Versuchspersonen der Gruppe A und Interessenten des Projekts NEMESIS). In Tabelle 6 ist die Gruppeneinteilung in Elektrosensible und Kontrollgruppe zusammengefasst.

⁶¹ Im Pilotversuch war es den Versuchspersonen gestattet, Pendel, Rute oder kinesiologischen Muskeltest beizuziehen, um das Provokationsfeld zu detektieren. Insgesamt zwölf Personen absolvierten die Versuchsreihe mit Hilfsmitteln. Der Vergleich der Erfolgsquoten zwischen Versuchen ohne und Versuchen mit Hilfsmitteln zeigt keinen Unterschied.

⁶² Doppelblind: Weder Versuchsbearbeiter noch Versuchsperson sind während des Versuchs über das Expositionsmuster informiert.

Tab. 6: Zusammensetzung der Versuchspersonengruppen des Laborversuchs.

Gruppe	Beschreibung	Anzahl	n	subjektiv
A	Teilnehmer NEMESIS	37	49 (19 m / 30 w)	elektrosensibel
	Interessenten NEMESIS	12		
B	Kontrollgruppe	14	14 (12 m / 2 w)	nicht sensibel

n=Anzahl in Gruppe, m=Männer, w=Frauen

Expositionskammer

Der Geräteaufbau erfolgte in einer schallisolierten Kammer eines Akustiklabors (Expositionskammer, siehe Abbildung 8). Die Kammer dämpft sowohl Schall (ca. 40 dB, je nach Frequenz) als auch elektrische und magnetische Felder (Reduktion der Umgebungswerte: elektrisches Feld 100%, magnetisches Feld ca. 50%). In der Kammer wurde bei ausgeschaltetem Provokationsfeld eine elektrische Feldstärke von 0.5 V/m und eine magnetische Induktion von 10-15 nT gemessen.

An einem Holzgerüst wurde seitlich eine elektrisch leitende Tapete angebracht und mit einem Leintuch abgedeckt. Das elektrische Feld bildete sich durch den vom Feldgenerator aufgebauten Potentialunterschied zwischen den lateral angebrachten Tapetenbahnen. Das magnetische Feld wurde mittels einer Spule erzeugt, welche für die Versuchspersonen unsichtbar über dem Kopf montiert war. Damit der Abstand zwischen Kopf der Versuchsperson und Spule konstant gehalten werden konnte, wurde ein höhenverstellbarer, ungeerdeter Bürostuhl verwendet.

Feldverteilung

Das Provokationsfeld wurde mit einem Feldgenerator erzeugt⁶³. Sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld waren innerhalb der Expositionsvorrichtung inhomogen verteilt. Im Bereich des Kopfes der Probanden wurden elektrische Felder von rund 80 bis 120 V/m und magnetische Induktionen von 2 bis 7 μ T gemessen.

⁶³ Schierz, C., C. Müller, et al. (1999). Short overview of EMF exposure systems and an exposure system used in an ongoing study (Project NEMESIS). Exposure Systems and their Dosimetry, Zurich, Switzerland, COST244bis.

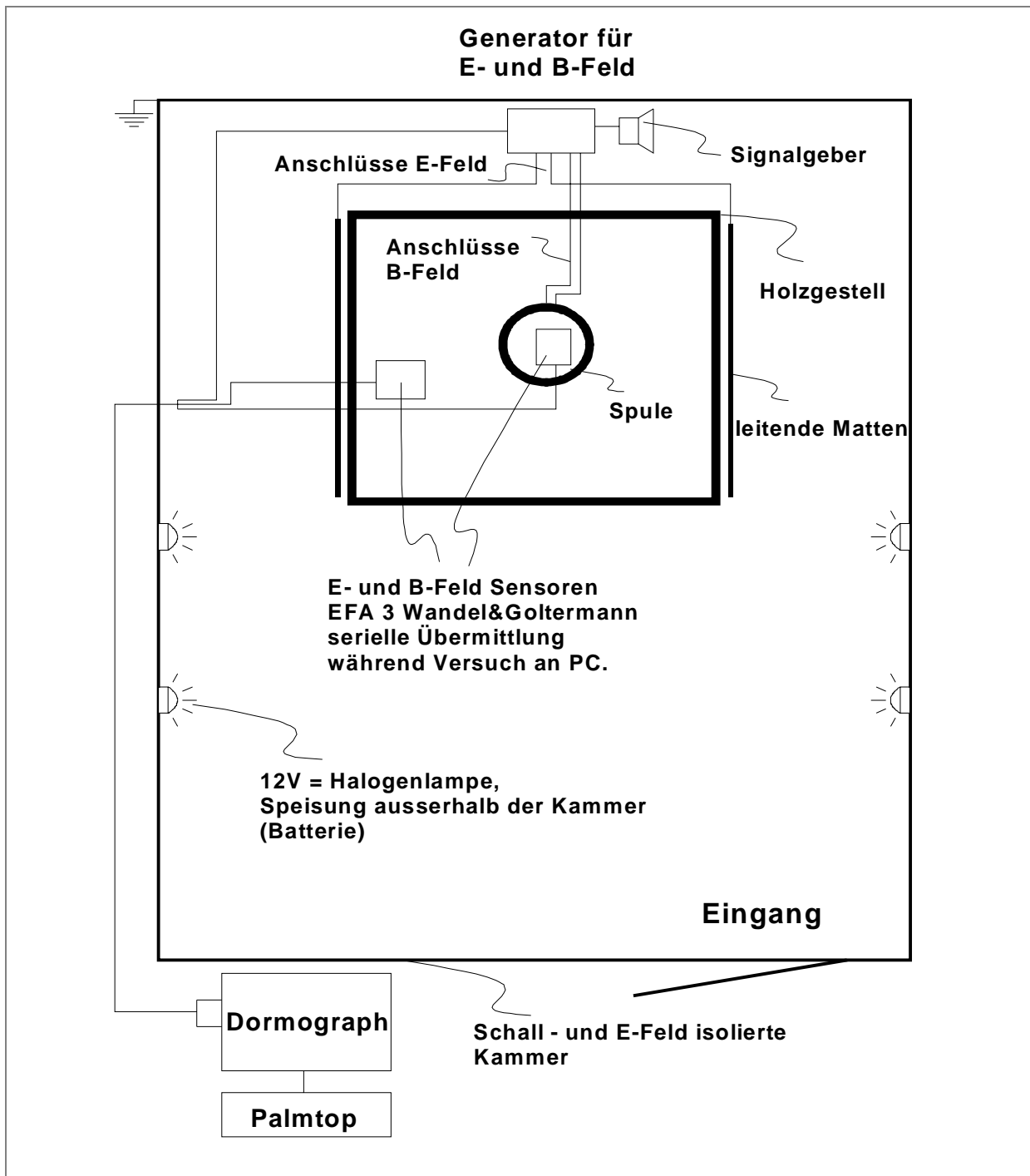


Abb. 8: Schema der Apparatur in der Expositions-kammer (von oben).

Feldwahrnehmungsexperiment

Im Hauptexperiment wurde mit einem Doppelblindversuch untersucht, ob es Personen gibt, die schwache 50 Hz-Felder bewusst wahrnehmen können. Der Versuch dauerte 40 Minuten. Dabei mussten die Probanden nach jeder Minute beurteilen, ob das Provokationsfeld eingeschaltet war oder nicht („Ist das Feld eingeschaltet?“ [ja oder nein] und „Wie sicher sind Sie?“ [Strich auf 10 cm Balken, Skala 0 – 100%]).

Das Provokationsfeld war in zehn Situationen je zwei Minuten eingeschaltet und gleichviele Male ausgeschaltet. Die Versuchspersonen beurteilten jede der 20 Situationen zweimal, wobei nur die zweite Antwort bezüglich Übereinstimmung mit der Feldsituation ausgewertet wurde (Hypothese 6).

Fragebogenteil

Die Versuchspersonen mussten vor und nach dem Versuch je einen Fragebogen ausfüllen. Mit dem Fragebogen vor dem Versuch wurde das momentane Wohlbefinden („unwohl – wohl“, Strich auf 10 cm Balken, Skala 0 – 100%) und den Grad der Elektrosensibilität („nicht elektrosensibel – stark elektrosensibel“, Strich auf 10 cm Balken, Skala 0 – 100%) eingeschätzt. Der Fragebogen nach dem Versuch enthielt die gleichen Fragen. Hinzu kamen Fragen zur empfundenen Intensität der Felder („gar nicht gespürt – sehr stark gespürt“), zur geschätzten Trefferquote („rein zufällig getippt – alle richtig erkannt“) und zur Art der Symptome, die während des Versuchs auftraten.

Nach dem Hauptexperiment folgte eine Kurzauswertung. Die richtigen Antworten wurden zusammengezählt. Im Falle von 14 oder mehr richtigen bzw. verkehrten Antworten wurden zwei Folgeversuche durchgeführt (Kriterium für Fortsetzung: $p < 0.12$ im Hauptexperiment). Analog der Annahme des Pilotversuchs wurde zweiseitig getestet, da die Möglichkeit besteht, dass die Probanden die zwei Feldsituationen zwar detektieren aber nicht korrekt identifizieren können.

In den Folgeversuchen wurden E- und B-Felder je separat geschaltet. Expositionsdauer und Ablauf waren mit dem Hauptexperiment identisch. Die Folgeversuche dienten der Untersuchung der Hypothese 7. Ein Versuchspersonen-Auswahlkriterium von $p < 0.12$ wurde gewählt, um die Anzahl Versuche zu reduzieren (Zeitaufwand) ohne aber Versuchspersonen auszuschliessen, welche potenziell schwache elektrische und magnetische Felder (trotz $p > 0.05$ in Hauptexperiment) wahrnehmen können.

Datenaufbereitung und Statistik

In der Tabelle 7 sind die Hypothesen, die dazugehörigen Zielgrößen und die verwendeten Auswerteverfahren aufgelistet.

Tab. 7: Hypothesen, Zielgrößen und Analyseverfahren des Laborversuchs

Nr	Hypothese (Stichwort)	Zielgrößen / Parameter	Analyseverfahren
6	Direkte Feldwahrnehmung	Die Feldbeurteilung (Antwort nach jeweils zwei Minuten einer Feldsituation) und Angaben zur Antwortsicherheit der Probanden aus dem Hauptexperiment wurden zu einem Parameter „Wahrnehmung“ (Skala: -100 „sicher nicht eingeschaltet“ bis +100 „sicher eingeschaltet“) zusammengefasst. Dazu wurde die Antwort (ja=1, nein=-1) mit der Sicherheit [%] multipliziert.	lineare Regression
7	Unterschiede zwischen Feldkomponenten	Vergleich der Trefferquoten des Experiments mit nur elektrischem Feld mit der Trefferquote aus dem Versuch mit nur Magnetfeldprovokation (ohne Berücksichtigung der Gruppenzugehörigkeit)	Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest
8	Unterschiede in den Trefferquoten zwischen subjektiv Elektrosensiblen und Kontrollgruppe	Vergleich der Trefferquoten der subjektiv elektrosensiblen VP (Gruppe A) mit der Trefferquote der nicht-sensiblen Kontrollgruppe (Gruppe B) (ohne Berücksichtigung der Art der Feldprovokation)	Mann-Whitney U-Test
explorativ	Einfluss auf psychische Faktoren	Symptome und Symptommhäufigkeiten: („Falls Sie die Felder gespürt haben: In welcher Art machte sich dies hauptsächlich bemerkbar?“)	Mann-Whitney U-Test
		Änderung des Befindens und der subjektiven Elektrosensibilität über die Dauer des Versuchs	lineare Regression

VP=Versuchspersonen

Resultate des Laborversuchs

Feldwahrnehmung (Hypothese 6)

Der statistische Test ergab, dass es überzufällig viele Personen gibt, welche 50 Hz-Felder bewusst wahrnehmen konnten ($p=0.037$). In der Abbildung 9 sind die individuellen p-Werte des Feldwahrnehmungsversuchs der einzelnen Testpersonen aufgetragen. Die Verteilung der individuellen p-Werte zeigt eine Abweichung von der erwarteten uniformen Verteilung (Gleichverteilung: vgl. Diagonale).

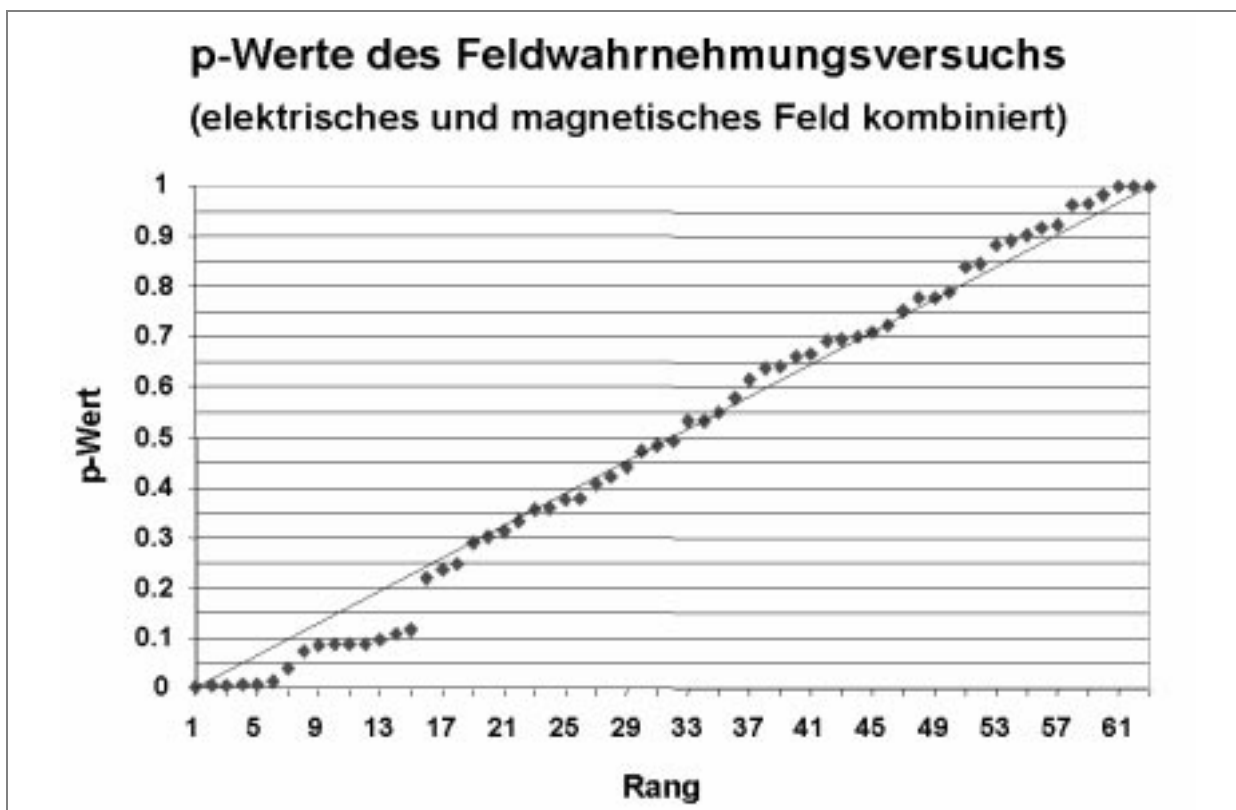


Abb. 9: Individuelle p-Werte des Hauptexperiments gegen den Rang der Versuchsperson aufgetragen. Die Diagonale entspricht der Erwartung wenn kein Effekt vorhanden ist (=Nullhypothese).

Von den 15 Versuchspersonen mit einem p-Wert <0.15 gehörten 11 der Gruppe A (subjektiv elektrosensibel) an. Die übrigen 4 Versuchspersonen gehörten zur Gruppe B (Kontrolle). Anteilmässig sind Gruppe A ($^{11}/_{49}=22\%$) und Gruppe B ($^4/_14=29\%$) ungefähr gleich vertreten.

Dieses Ergebnis entspricht den Resultaten eines ähnlichen Laborversuchs von Leitgeb⁶⁴. Dort wurden 140 Versuchspersonen über ihre subjektive Elektrosensibilität befragt und einem Experiment unterzogen. Dabei wurde die Wahrnehmungsschwelle eines 50 Hz-Wechselstroms im Unterarm der Probanden ermittelt. Leitgeb fand deutlich mehr Personen mit tiefer Wahrnehmungsschwelle, als statistisch zu erwarten wäre. Gemäss Leitgeb liesse sich dieses Resultat durch die Existenz einer Untergruppe innerhalb der Bevölkerung mit signifikant erniedrigten Wahrnehmbarkeitsschwellen erklären. Die Grösse der Untergruppe wurde auf maximal 2% geschätzt. Offenbar wird in der Öffentlichkeit die Elektrosensitivität in der Regel stark überschätzt.

Eine Abschätzung der Auftretenshäufigkeit (Prävalenz) der Elektrosensibilität in der Schweiz aus den vorliegenden Resultaten ist nicht möglich, da das Versuchspersonenkollektiv keine repräsentative Stichprobe der Schweizer Bevölkerung darstellt. Die Analyse der Fragebogendaten (Frage 2: „Wie elektrosensibel schätzen Sie sich ein?“) entsprechen aber der Aussage von Leitgeb: Die Resultate des Hauptexperiments hängen nicht mit der Selbsteinschätzung vor dem Versuch zusammen. Dies bedeutet, dass der subjektive Eindruck oder die Überzeugung, elektrosensibel zu sein, kein brauchbarer Indikator für Elektrosensitivität ist.

Die Elektrosensitivität wurde gemäss der a priori Annahme, dass sowohl das Wahrnehmen einer Feldeinwirkung über einen bestimmten Zeitraum als auch das Ein- und Ausschalten des Feldes gespürt werden kann, zweiseitig getestet. Die a posteriori Hypothese, dass das Ein- und Ausschalten der Felder wahrgenommen wird, wurde nicht bestätigt. Von den 15 Versuchspersonen mit $p < 0.15$ haben sieben die Feldsituationen tendenziell verkehrt herum und acht tendenziell richtig beurteilt. Dass nicht die Feldänderungen gespürt wurden, dass aber einige Probanden überzufällig viele Antworten verkehrt herum gaben, hängt möglicherweise damit zusammen, dass sie die Feldsituation detektieren, nicht aber richtig identifizieren können.

⁶⁴ Leitgeb, N. (1994). Electromagnetic Hypersensitivity: Quantitative assessment of an ill-defined problem. Intl. Workshop on Electrical Hypersensitivity, Graz, Austria, COST244.

Unterschiede zwischen Feldkomponenten (Hypothese 7)

Acht Männer und sieben Frauen gehörten zur Gruppe mit $p < 0.12$ und absolvierten daher die beiden Folgeversuche. Der statistische Test ergab, dass sich kein signifikanter Unterschied in den Trefferquoten der Versuchspersonen zwischen Provokation mit E-Feld einerseits und der Provokation mit B-Feld andererseits nachweisen lässt ($p = 0.92$).

Der Unterschied zwischen der Trefferquote des Hauptexperiments und den Folgeexperimenten ist dadurch zu erklären, dass die Folgeexperimente nur bei den Versuchspersonen durchgeführt wurden, die das Einschlusskriterium $p_{\text{Binom}} < 0.12$ erfüllten. In den zwei Folgeexperimenten wurden dann die Quoten des Hauptexperiments nicht mehr erreicht. Von den 16 Versuchspersonen mit Folgeexperimenten erreichten nur zwei wieder ein signifikantes Resultat (VP35: $p_E = 0.047$; VP50: $p_B = 0.049$).

Im Hauptexperiment wurden deutlich mehr ja-Antworten gegeben und die Feldsituation mit mehr Selbstvertrauen beurteilt als in den Folgeexperimenten. Dies gilt sowohl für das gesamte Kollektiv als auch für die 16 Versuchspersonen mit $p < 0.12$. Dieses Verhalten liefert einen Hinweis darauf, dass viele Versuchspersonen zunächst überzeugt waren, elektrische und magnetische Felder wahrnehmen zu können und dann im Verlaufe des Versuchs unsicherer wurden.

Die von einigen Probanden beklagte Ermüdung über die Dauer des Versuchs könnte die tieferen Trefferquoten und die zunehmende Unsicherheit in der Beurteilung in den Folgeexperimenten zum Teil erklären.

Unterschiede zwischen Gruppe A und Gruppe B (Hypothese 8)

Der statistische Test ergab, dass sich die Trefferquoten der VP der Gruppe A nicht signifikant von denen der Gruppe B unterscheiden ($p = 0.697$). Die bei den Resultaten unter Hypothese 6 diskutierte Häufung kleiner individueller p-Werte bezieht sich auf das gesamte Versuchspersonenkollektiv und setzt sich anteilmässig ungefähr zu gleichen Teilen aus Gruppe A (22%) und Gruppe B (29%) zusammen. Der Vergleich der Gruppen zeigt ebenfalls, dass die subjektive Elektrosensibilität nicht zur Vorhersage von objektiver Elektrosensitivität geeignet ist.

Diese Annahme wurde auch im Vergleich zwischen den Männern der Gruppen A und B bestätigt, wobei der Unterschied nicht mehr so deutlich ausfiel ($p = 0.141$). Der nach Geschlechtern getrennte Vergleich der Gruppen A und B drängte sich aufgrund eines

vermuteten geschlechtsspezifischen Unterschieds in der Elektrosensitivität auf. In der Kontrollgruppe waren lediglich zwei Frauen vertreten, weshalb der geschlechtsspezifische Gruppenvergleich nur für die Männer durchgeführt werden konnte.

Psychische Faktoren

Die Symptome Druck im Kopf, Kopfschmerzen, Kribbeln auf der Haut und in den Gliedern, Muskelverspannungen (v.a. Nacken-/ Halsbereich) und nervöse Anspannung wurden während des Hauptexperiments am häufigsten verspürt. Diese Liste unspezifischer Symptome deckt sich mit den Beschwerden, die üblicherweise im Zusammenhang mit der Elektrosensibilität vermeldet werden. Ein Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und diesen unspezifischen Symptomen ist jedoch nicht eindeutig feststellbar. Die subjektiv elektrosensible Gruppe A notierte tendenziell mehr Symptome als die Kontrollgruppe B ($p=0.059$). Bei den Versuchspersonen mit $p<0.12$ ($n=15$; Gruppe A: $n=11$, Gruppe B: $n=4$) sind keine Unterschiede in den Häufigkeiten der Symptome zwischen den Gruppen ersichtlich (Durchschnitt Gruppe A: 2.45 Symptome; Gruppe B: 2.25 Symptome). Die sieben Probanden mit $p<0.05$ (Gruppe A: $n=6$; Gruppe B: $n=1$) notierten aber deutlich weniger Symptome als das gesamte Versuchspersonenkollektiv: $VP_{p<0.05}$: Quote=1.57; VP_{alle} : Quote=2.2. Daraus folgt, dass Elektrosensitive nicht mehr Symptome verspüren als die übrigen Versuchspersonen (objektive Elektrosensitivität \neq subjektive Elektrosensibilität).

Ein Vergleich der Antworten zum Befinden und zur Sensibilität vor, mit den Antworten nach dem Versuch ergab: Je schlechter sich die Versuchspersonen nach dem Versuch fühlten, desto sensibler schätzten sie sich ein und umgekehrt.

Die Veränderung psychischer Faktoren über die Dauer des Experiments beeinflusste die Antwortsicherheit (Vertrauen in die eigene Beurteilung der Feldsituation) während des Versuchs. Die Antwortsicherheit hängt positiv mit der Zu- oder Abnahme der subjektiven Sensibilität ($p<0.001$) und des Befindens ($p<0.001$) im Verlauf des Versuchs zusammen. Sobald die Probanden das Gefühl hatten, den Einfluss der elektrischen und magnetischen Felder zu spüren, stieg das Vertrauen in die Beurteilung der Feldsituation und sie antworteten eher mit „ja“. Spürten sie aber im Verlauf des Versuchs nichts, so nahm auch die Antwortsicherheit ab und es wurde häufiger „nein“ angekreuzt.

Zusammenfassung der Ergebnisse des Laborversuchs

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse des Laborversuchs zusammengefasst.

Tab. 8: Resultate des Laborversuchs.

Hypothese	Parameter	p-Wert	Bemerkungen
6	Direkte Feldwahrnehmung	0.037	Überzufällig viele VP mit Fähigkeit, elektrische und magnetische Felder direkt wahrnehmen zu können (Elektrosensitivität)
7	Unterschiede zwischen Feldkomponenten	0.92	Trefferquoten der VP unabhängig vom Feldtyp (elektrisch oder magnetisch)
8	Unterschiede in den Trefferquoten zwischen subjektiv elektrosensiblen VP und VP der Kontrollgruppe	0.697	Trefferquoten bei subjektiv elektrosensiblen VP (Gruppe A) und Kontrollgruppe (Gruppe B) nicht signifikant verschieden

VP=Versuchspersonen

Schlussfolgerungen aus dem Laborversuch

In einer Reihe von Experimenten untersuchten Rea und Mitarbeiter⁶⁵ 100 Personen, die sich selber als elektrosensibel bezeichneten. Insgesamt 16 Versuchspersonen reagierten wiederholt auf die Feldprovokation. Die Probanden entwickelten verschiedenartige, zuweilen schwerwiegende Symptome. Im Laborversuch des Projekts NEMESIS wurden ebenfalls überzufällig viele sensitive Versuchspersonen gefunden. Bei 3 von 63 Versuchspersonen rief die Provokation heftige Reaktionen hervor, bei einer musste schliesslich der Versuch vorzeitig beendet werden. Von diesen Versuchspersonen erreichte keine ein signifikantes Ergebnis. Ähnliche Reaktionen wurden auch von Hietanen und Hämäläinen⁶⁶ beobachtet. Sämtliche Versuchspersonen erfuhren mehr oder weniger schwere Symptome während des Experiments, trotzdem konnte keine von ihnen Phasen mit von Phasen ohne Exposition unterscheiden.

Die Reaktionen der Probanden, die während des Versuchs heftige, in der Regel nicht mit der Feldsituation gekoppelte Symptome entwickeln, bestätigen die in Abbildung 2 in Kapitel „'Elektrosmog' – Wahrnehmung eines Risikos“ (Seite 47) dargestellten Zu-

⁶⁵ Rea, W. J., Y. Pan, et al. (1991). "Electromagnetic field sensitivity." *Journal of Bioelectricity* **10**(1+2): 241-256.

⁶⁶ Hietanen, M. and A.-M. Hämäläinen (2000). Provocative testing of hypersensitivity to cellular phones. 22nd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, Munich (D), BEMS.

sammenhänge zwischen den Eigenschaften des Risikos „Elektrosmog“, der Angst und den Strategien der Stressbewältigung. Bei subjektiv elektrosensiblen Menschen können Symptome bereits dann auftreten, wenn nur die Möglichkeit besteht, dass elektrische und magnetische Felder vorhanden sind (gemäss Definition in Tabelle 1 in Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“). Versuchspersonen, die unter schwerer subjektiver Elektrosensibilität leiden, bezüglich Elektrosensitivität zu untersuchen macht wenig Sinn, da die Symptome das Detektieren der Feldsituationen verunmöglichen würden. Ob die während des Versuchs auftretenden Symptome durch die Feldprovokation oder durch die Angst der Probanden vor dem elektrischen und magnetischen Feld ausgelöst werden, könnte in zukünftigen Untersuchungen mittels eines Null-Versuchs (Experiment ohne echte Feldprovokation) vorab geprüft werden.

Pilotversuch vs. Laborexperiment

Die Ergebnisse des Laborexperiments entsprechen ungefähr denen des Pilotversuchs: In beiden Experimenten wurde eine überzufällige Häufung kleiner p-Werte gemessen. Die beiden Versuchspersonen mit signifikanten Trefferquoten (Bonferroni-Kriterium) im Pilotversuch (VP19 mit 17 von 20 Richtigen: $p=0.0013$ und VP57 mit 30 von 40 Richtigen: $p=0.0011$) konnten ihr Ergebnis im Labor jedoch nicht wiederholen. In Tabelle 9 sind die p-Werte des Pilotversuchs und des Laborexperiments der Versuchspersonen mit signifikantem Resultat im Pilotversuch aufgelistet.

Tab. 9: Gegenüberstellung der Resultate der Pilotstudie und des Laborexperiments

VP-Nr.	Pilotversuch (p-Wert)	Laborexperiment (p-Wert)	Bemerkungen
19 (w)	0.0013	0.423	17 von 20 Richtige im Pilotversuch
50 (w)	0.06	0.014	Pilotversuch: 14 von 20 Richtige $p=0.06$ Labor: Hauptexperiment $p=0.014$, E $p=0.137$, B $p=0.049$
57 (w)	0.021 (0.0011)	0.725	Zwei Versuche im Pilotversuch mit je 15 von 20 Richtigen ($p=0.021$), beide Versuche kombiniert: $p=0.0011$
30 (m)	0.021	0.09	
5 (m)	0.021	0.3	

m=männlich, w=weiblich, VP=Versuchsperson

VP50 erreichte in allen Experimenten sehr kleine p-Werte. Die Wahrscheinlichkeit, in vier Tests je ein $p<0.15$ zufällig zu erreichen, ist sehr klein: $p<0.001$.

Die Gruppe der 63 Versuchspersonen zeigt sich insgesamt als elektrosensitiv. Dies kann folgenderweise interpretiert werden:

- a) Es existiert eine Untergruppe persistent elektrosensitiver Personen, die häufiger und stabiler statistisch signifikante Resultate erzielen als die Durchschnittsbevölkerung.
- b) Gewisse Personen sind zeitweise elektrosensitiv und das zeigt sich nur, wenn man die ganze Gruppe betrachtet. Eine Selektion ist nicht oder nur nach individuellen Längsschnittstudien möglich.
- c) Sowohl die Erklärung in Punkt a als auch in Punkt b treffen zu.

Die Interpretation in Punkt c scheint plausibel zu sein: Einerseits wurde in den Versuchen von Leitgeb die Erfahrung gemacht, dass die Wahrnehmung elektrischer und magnetischer Felder stark von der Verfassung des Probanden abhängt (persönliche Mitteilung von N. Leitgeb, TU-Graz) und andererseits zeigen die Ergebnisse des Pilot- und des Laborversuchs die Möglichkeit, dass es Personen gibt, die persistent elektrosensitiv sind (vgl. VP 50 in Tabelle 9).

Elektrosensibilität vs. Elektrosensitivität

Die Ergebnisse des Laborversuchs lassen den Schluss zu, dass die subjektive Elektrosensibilität nicht mit der Fähigkeit zusammenhängt, schwache elektrische und magnetische Felder bewusst oder unbewusst wahrnehmen zu können. Diese Elektrosensitivität einer kleinen Gruppe von Menschen ist ein biologischer Effekt. Ein biologischer Effekt ist nicht gleichzustellen mit einer negativen Auswirkung auf die Gesundheit.

Im Gegensatz zur Elektrosensitivität ist die Elektrosensibilität ein Syndrom mit unklarer Kausalität. Die Analyse der Fragebogen zeigte eine Häufung bestimmter Symptome wie Kopfschmerzen, Hautkribbeln, Nackenverspannungen und nervöse Anspannung. Die Beschwerden wurden in der Gruppe A und Gruppe B gleich häufig genannt. Die Versuchspersonen mit $p < 0.05$ notierten jedoch deutlich weniger Symptome (pro Person gemittelte Anzahl) als das gesamte Versuchspersonenkollektiv. Dieses Resultat stützt die Annahme, dass eher verschiedene Umweltreize, persönli-

che Faktoren, körperliche und psychische Disposition und Überzeugungen und weniger die direkte Beeinflussung durch elektrische und magnetische Felder die Entstehung und den Verlauf der Elektrosensibilität beeinflussen.

Die Selbsteinschätzung der Elektrosensibilität vor und nach dem Hauptexperiment unterscheidet sich zwischen den Gruppen A und B deutlich. Ein Vergleich in der Abbildung 10 zeigt die Selbsteinschätzung der Gruppe A vor und nach dem Versuch.

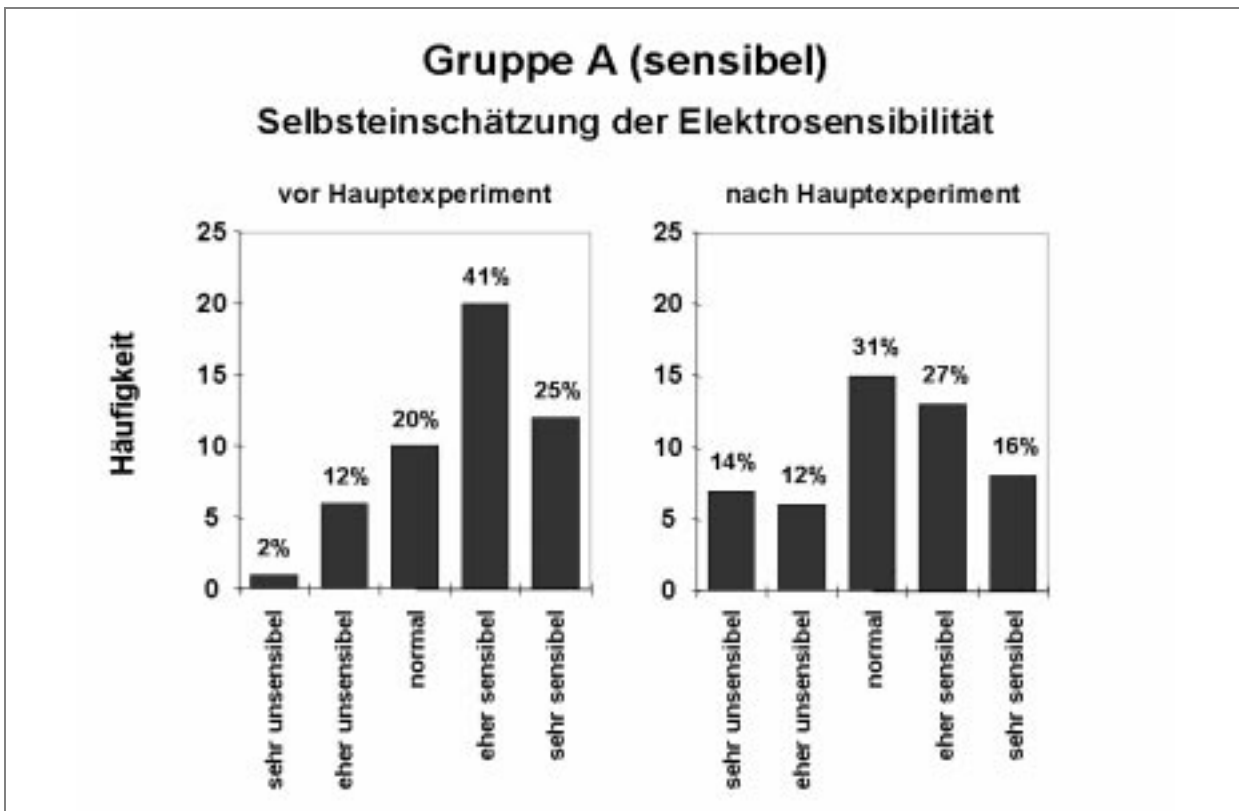


Abb. 10: Selbsteinschätzung der eigenen Elektrosensibilität durch die subjektiv elektrosensiblen Versuchspersonen (Gruppe A) vor und nach dem Versuch, n=49.

Die Einschätzung nach dem Versuch ist deutlich in Richtung „weniger sensibel“ verschoben. Die Häufigkeiten in den Klassen „eher sensibel“ bis „sehr sensibel“ nehmen stark ab. Auffällig ist auch die Zunahme in der Klasse „sehr unsensibel“ von einer auf sieben Personen. Einige Probanden, die im Verlaufe des Experiments die Felder nicht direkt spüren konnten, schlossen daraus, dass sie nicht elektrosensibel seien. Diese Verschiebung macht deutlich, wie wichtig es ist, dass sich subjektiv elektrosensible Menschen mit der eigenen Elektrosensitivität auseinander setzen können: Spüren Elektrosensible das elektrische und/oder das magnetische Feld entgegen ihrer Erwartung nicht, kann das dazu führen, dass die Person ihre eigene Elektrosensibilitäts-Überzeugung in Frage stellt. Diese Loslösung aus dem Teufelskreis der

Überzeugung, der Selbstbeobachtung und Selbsttestung ist ein erster Schritt in Richtung verbesserter Lebensqualität.

Acht Versuchspersonen von 49 schätzten sich nach dem Versuch als „sehr sensibel“ ein (16% der Gruppe A). Von diesen acht Personen erkannte aber nur eine die Feldsituationen überzufällig oft. Obwohl sie im Feldwahrnehmungsversuch kein signifikantes Ergebnis erreichten, waren die restlichen sieben Personen von ihrer Sensitivität überzeugt. Dieses Verhalten widerspiegelt den im Erklärungsmodell von Harlacher und Schahn beschriebenen „point of no return“ (vgl. Abb. 1, Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“, Seite 37). Sind die Betroffenen erst einmal zur Überzeugung gelangt, elektrosensibel zu sein, können sie kaum mehr davon abgebracht werden und noch weniger sich selber davon lösen, auch wenn deutliche Anzeichen gegen eine Elektrosensitivität sprechen. In Abbildung 11 sind die Einschätzungen der Gruppe B vor und nach dem Versuch einander gegenübergestellt.

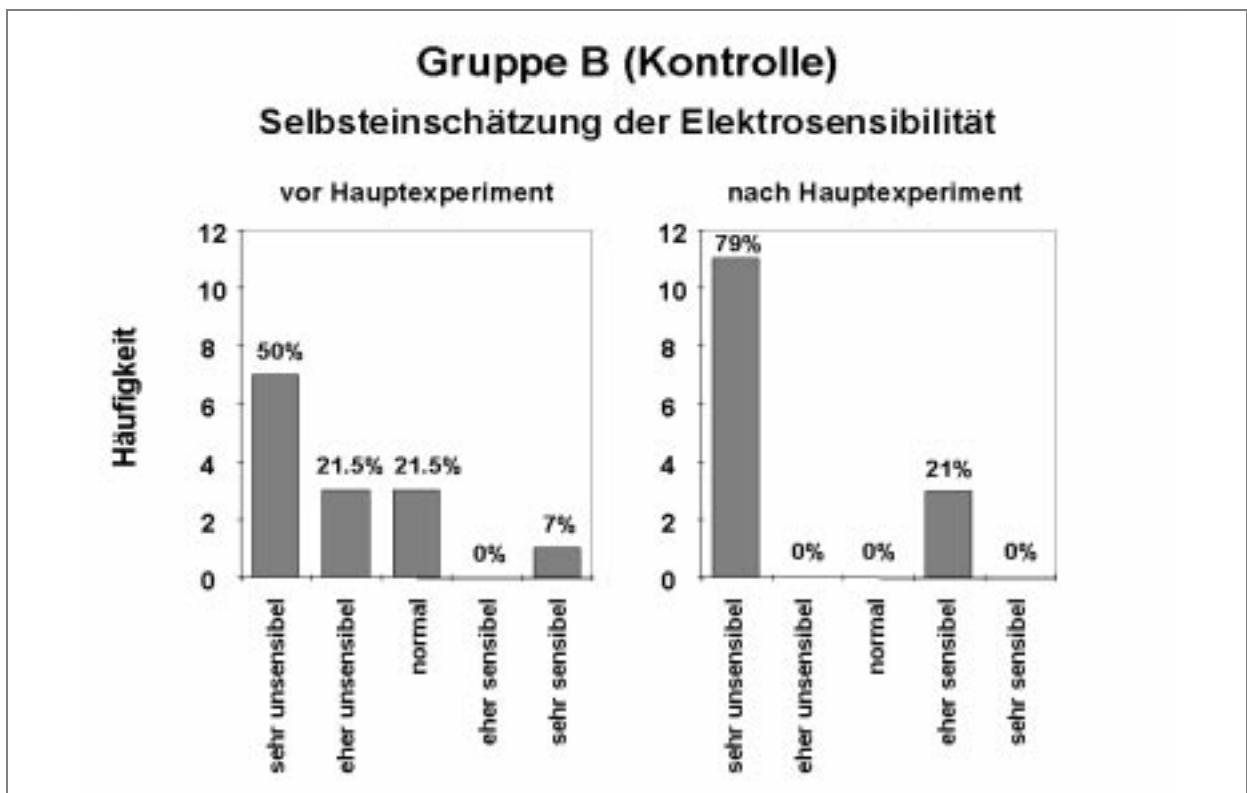


Abb. 11: Selbsteinschätzung der Kontrollgruppe (B) vor und nach dem Versuch, n=14.

Die Selbsteinschätzung nach dem Hauptexperiment unterscheidet sich deutlich von der davor. Die sechs Versuchspersonen, die sich vor dem Versuch als „eher unsensibel“ oder „normal“ einstufen, schätzten sich nachher entweder als „sehr unsensi-

bel“ (n=4) oder als „eher sensibel“ (n=2) ein. Eine Versuchsperson stufte sich vor dem Versuch als „sehr sensibel“ und nachher als „eher sensibel“ ein. Die Auftrennung in zwei Gruppen zeigt, dass die zwei Probanden der Kontrollgruppe, die sich nach dem Versuch sensibler einstufen, einen Einfluss des Provokationsfelds spürten und ihre Meinung bezüglich Elektrosensitivität revidierten. Sie schätzten ihre Trefferquote auf 58% resp. 74%. Die restlichen Versuchspersonen fühlten sich in ihrem vorgängigen Urteil bestärkt oder stufen sich weniger sensibel ein.

Abbildung 12 zeigt die Veränderungen zwischen der Einstufung der Elektrosensibilität vor und nach dem Versuch für die beiden Gruppen A (sensibel) und B (Kontrolle).

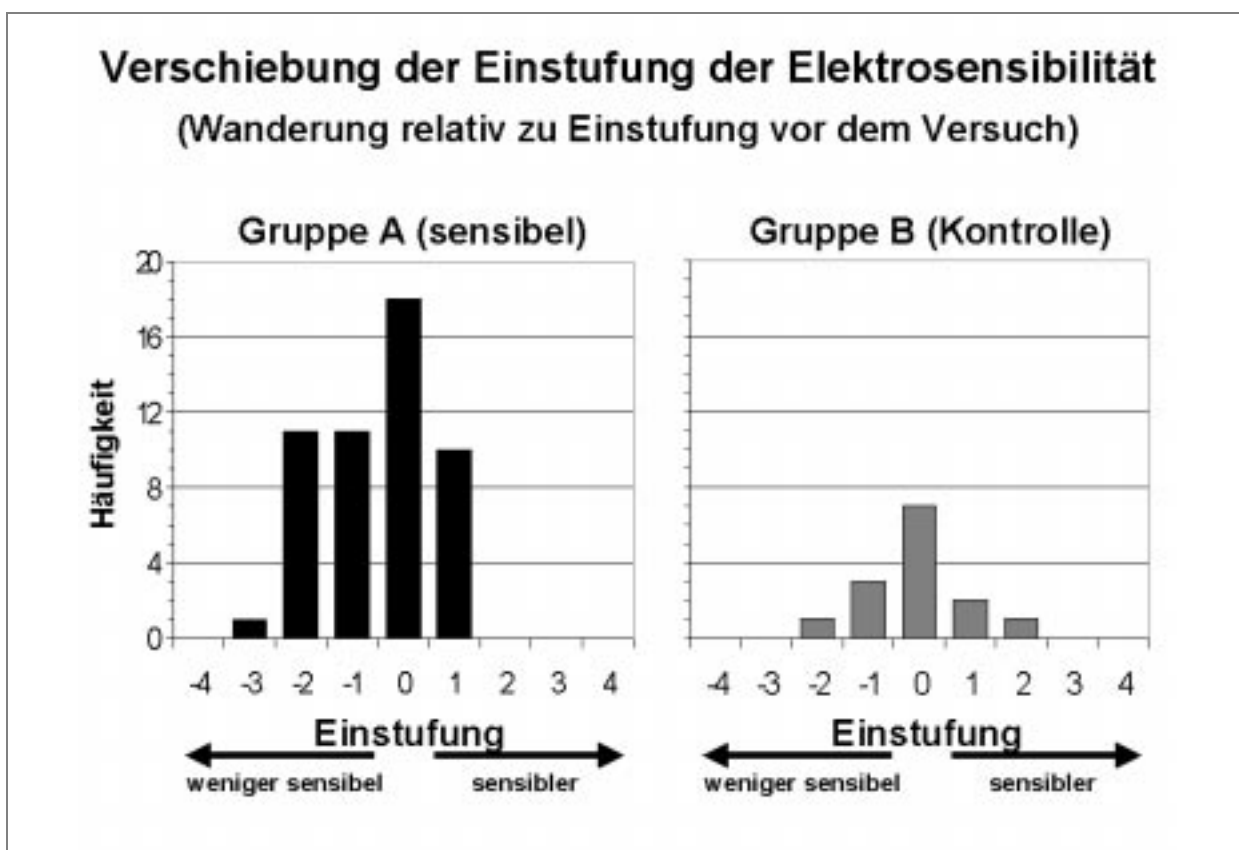


Abb. 12: Veränderungen zwischen der Einstufung der Elektrosensibilität vor und nach dem Versuch für die beiden Gruppen A (sensibel) und B (Kontrolle). Die Diagramme zeigen die Wanderungen der Einstufungen zwischen den Klassen (sehr unsensibel – eher unsensibel – normal – eher sensibel – sehr sensibel). Die Abszisse beschreibt die Verschiebung in Anzahl Klassen: Negative Zahlen entsprechen einer Einstufung als „weniger sensibel“, positive Zahlen einer Einstufung als „sensibler“.

Lediglich zehn Versuchspersonen der Gruppe A stufen sich nach dem Versuch sensibler ein als davor. 23 Probanden der Gruppe A beurteilten ihre Sensibilität nach dem Versuch als geringer. 17 Versuchspersonen stufen sich gleich ein, wie vor dem Versuch. In der Kontrollgruppe nahm die subjektive Elektrosensibilität bei drei Ver-

suchspersonen zu und bei vier Probanden ab, während sie bei sieben Probanden gleich eingestuft wurde, wie vor dem Experiment. Über beide Gruppen gesehen ist die Gefahr kleiner, durch den Versuch eine Verstärkung der Sensibilisierung hervorzurufen, als eine vorhandene zu vermindern.

Projekt NEMESIS: Synthese der Ergebnisse

Christopher H. Müller, Christoph Schierz

Fazit aus den Untersuchungen des Projekts NEMESIS

- 1 Es gibt Elektrosensitivität.
 - 2 Elektrosensitivität ist kein über die Zeit stabiles Phänomen.
 - 3 Die Zahl elektrosensitiver Personen ist vermutlich gering.
 - 4 Subjektive Elektrosensibilität \neq objektive Elektrosensitivität:
Es ist nicht möglich, von einer Sensibilität auf eine Sensitivität zu schliessen und umgekehrt.
 - 5 Das Kollektiv der untersuchten elektrosensiblen Versuchspersonen zeigt keine psychischen Auffälligkeiten. Es besteht ein signifikanter Unterschied zu einer Vergleichsgruppe aus einer psychosomatischen Klinik.
 - 6 Elektrosensibilität ist in manchen Fällen therapierbar: Durch „Erfahrungsmachung“ der Sensitivität im Laborversuch wurde eine Abnahme der selbsteingeschätzten Sensibilität erzielt.
 - 7 Die Reaktionen auf die Felder waren nicht immer negativ (z.B. Verbesserung von Schlaftiefe und Aufwachbefinden nach Exposition)
 - 8 Ein individuell anwendbares Diagnostikum für Elektrosensitivität existiert nicht.
 - 9 Forschungsbedarf: Wo ist Interaktion zu finden? Spekulation: Hemmung und Bahnung von neuronalen Informationsflüssen.
-

In den folgenden, inhaltlich etwas anspruchvolleren Kapiteln, wird ein erster Versuch gestartet, Folgerungen aus der Studie zu ziehen. Die Aussagen in der Tabelle oben sind Ergebnisse dieser Untersuchung.

Psychische und psychosoziale Aspekte der Elektrosensibilität

Symptombild und Schweregrad der Elektrosensibilität variieren von Person zu Person. Das mag daran liegen, dass sowohl physikalische Faktoren, als auch die kognitive Verarbeitung des Risikos „Elektrosmog“ und die Bewältigung des Stressors bei der Entstehung der Elektrosensibilität eine Rolle spielen. Jede dieser Problemebenen könnte daher neben handfesten Störfaktoren (zum Beispiel Arbeitsbelastung, Lärm, Klima, Luftschadstoffe) auch alleinstehend als Ursprung der Elektrosensibilität in Frage kommen.

Wahrnehmung, interne Verarbeitungsprozesse, mentale Konzepte und individuelles Verhalten bestimmen mit, wie äussere Einflüsse (Umweltfaktoren und Information) auf den Menschen wirken. Einfachheitshalber beschränkt man sich oft auf den Zusammenhang „Reiz \leftrightarrow Wirkung und Wahrnehmung“ und vergisst dabei, dass die Wahrnehmung stark von individuellen Eigenheiten abhängt. So wird jede Wahrnehmung emotional gefärbt und bewertet (affektive Bewertung) und es werden jeder Wahrnehmung Eigenschaften attribuiert (Attribution). Diesen Informationsverarbeitungsprozessen liegt die eigene Vorstellung der Realität, das eigene Weltbild (mentale Modelle) zu Grunde. Das Schema in Abbildung 13 beschreibt die Zusammenhänge zwischen Reiz, Wahrnehmungs- und Bewertungsprozessen, individuellen mentalen Modellen und Verhalten.

Die individuell verschieden ausgeprägten mentalen Modelle werden laufend modifiziert. (Risiko-)Information und Erfahrungen können so im Regelkreis der Wahrnehmungs- und Bewertungsprozesse Einfluss nehmen. Nach dem Laborversuch stuften sich viele Versuchspersonen als weniger elektrosensibel ein als vor dem Versuch. Dies entspricht den Ergebnissen schwedischer Studien, welche die Therapierbarkeit des Elektrosensibilitäts-Syndroms untersuchten (Kapitel „Das Phänomen ‚Elektrosensibilität‘“). Die Schlussfolgerung aus diesen Untersuchungen und der Erkenntnis aus dem Laborversuch des Projekts NEMESIS ist, dass die Möglichkeit besteht, Betroffene von der Elektrosensibilitäts-Überzeugung abzubringen. Dies gelingt am besten, wenn die tatsächliche Elektrosensitivität erfahrbar gemacht wird.

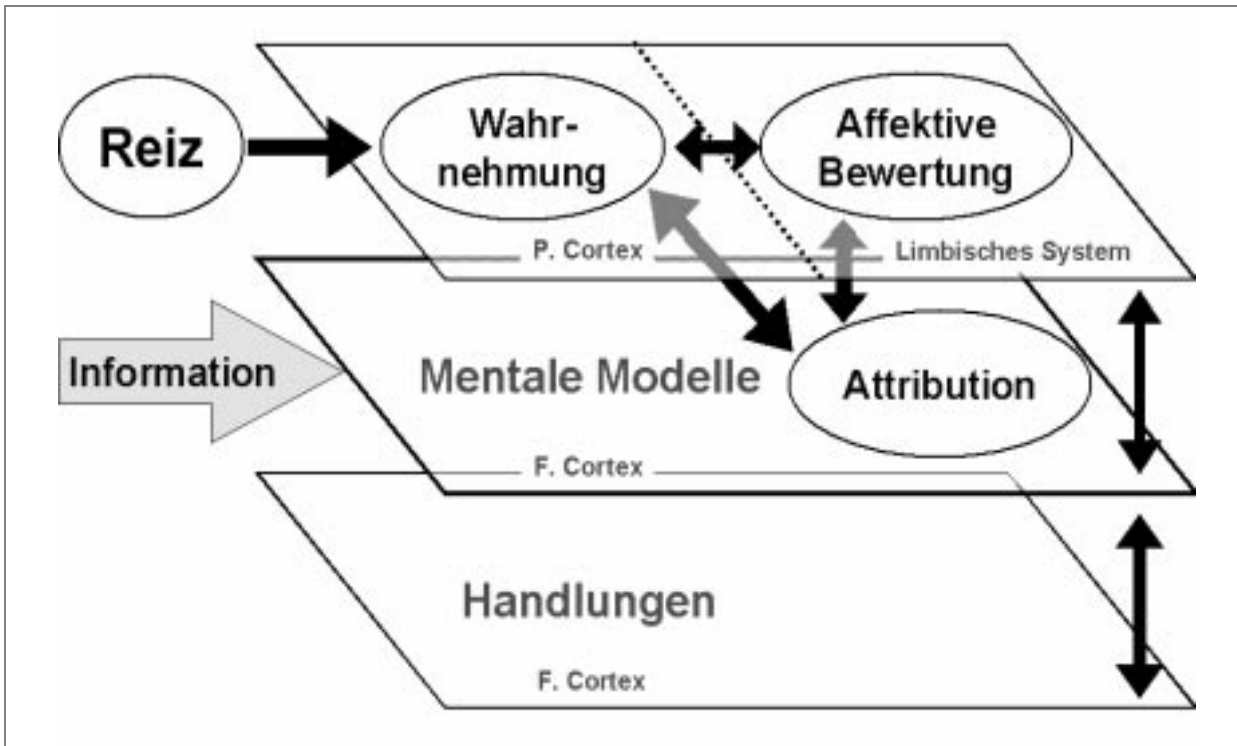


Abb. 13: Zusammenhänge zwischen Umweltreiz (z.B. elektrische und magnetische Felder), Verarbeitungsprozessen und Verhalten.

Der Verlauf des Elektrosensibilitäts-Syndroms kann aber auch durch die Wahrnehmung der „Bedrohung“ durch äussere, nicht kontrollierbare Einflüsse entscheidend geprägt werden. Je nachdem, wie eine (Risiko-)Information vermittelt wird (vgl. Abbildung 13), kann sich das auf die betroffene Person unterschiedlich auswirken. Wichtig ist deshalb, dass die Informationen zu Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden möglichst wertfrei und neutral vermittelt werden.

Objektivierung der Elektrosensitivität

Der statistisch signifikante Einfluss des 50 Hz-Provokationsfelds auf das Befinden am Morgen (Schlaptiefe und Aufwachbefinden), das Verhalten (Schwerpunktslage) und die Elektrosensitivität (Laborversuch) ist als starker Hinweis für einen kausalen Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern bei Feldstärken unterhalb der Grenzwerte und der Beeinflussung subjektiver und physiologischer Parametern der Versuchspersonen des Projekts NEMESIS zu deuten. Basierend auf den Resultaten des Feldversuchs und des Laborversuchs wird zudem die Existenz einer sensitiven Untergruppe angenommen.

Beruhend auf den Resultaten des Projekts NEMESIS wird in den folgenden Kapiteln diskutiert, ob die Elektrosensibilität ein objektivierbares Phänomen darstellt und wie viele der Versuchspersonen elektrosensitiv sind. Im letzten Kapitel sind die vielfältigen Erscheinungsformen der Elektrosensitivität anhand von Beispielen dargestellt.

Elektrosensitivität

Die voneinander unabhängigen p-Werte sämtlicher Einzelparameter der a priori Hypothesen welche sich auf unspezifische Elektrosensitivität beziehen (Befinden am Morgen (Hypothese 1a), Befinden während des Tages (Hypothese 3), Bewegungen und Atemperiode (Hypothese 4a), Herzparameter (Hypothese 4b) und Schwerpunktsverschiebungen (Hypothese 5)) wurden pro Person gemittelt (n=36 mit durchschnittlich 19 (9-23) Parametern). Der statistische Test⁶⁷ ergab, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass unspezifische Elektrosensitivität ein objektivierbares Phänomen ist ($p=0.042$).

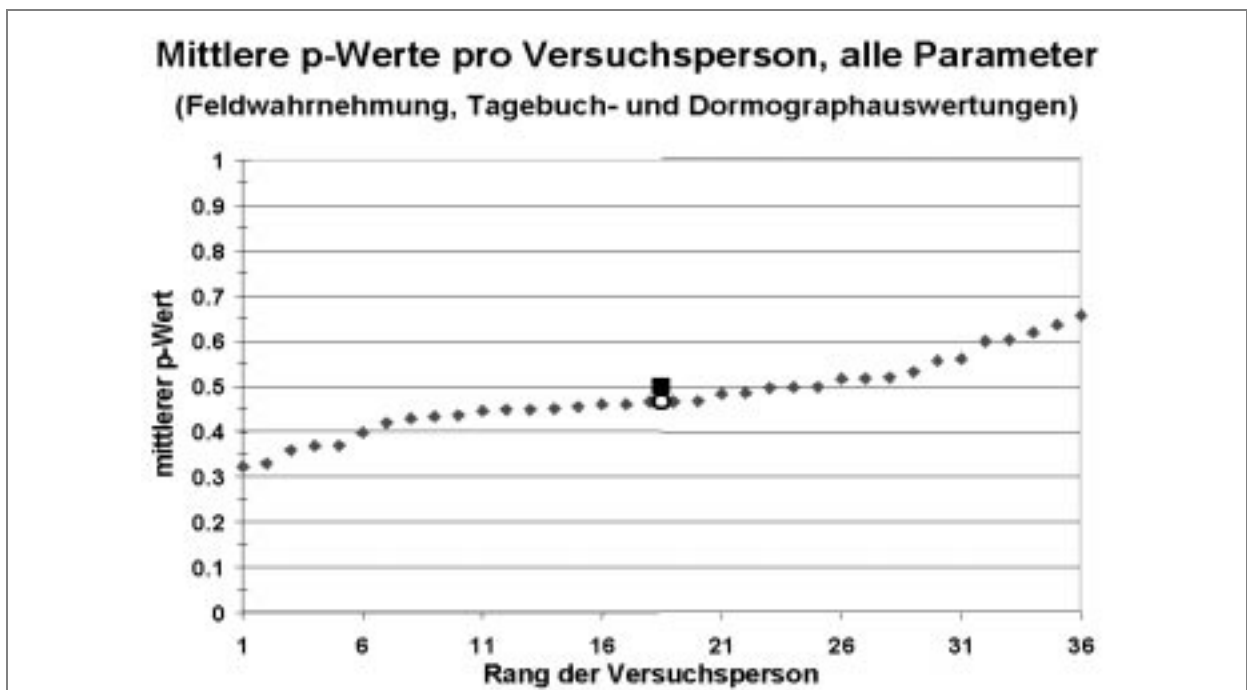


Abb. 14: Zur Fussnote: Verteilung der mittleren p-Werte über alle Parameter geordnet nach Rang der Versuchsperson (■: erwartete Lage des Medians bei 0.5; ○: Median der mittleren p-Werte). Die Abweichung des Symmetriepunkts der mittleren p-Werte von der erwarteten Symmetrie um 0.5 ist signifikant: $p_{\text{Wilcoxon}}=0.042$.

⁶⁷ Wilcoxon-Test der H_0 „Die Verteilung der mittleren p-Werte (vgl. Abbildung 14) weicht nicht von der erwarteten, um $p=0.5$ symmetrischen Verteilung ab“.

Im Laborversuch wurde gezeigt, dass auch eine spezifische Sensitivität nachweisbar ist. Die Vermutung wurde also bestätigt, dass die statistisch signifikanten Effekte auf das Befinden am Morgen und die Schwerpunktlage, die überzufällig vielen signifikanten Ergebnisse in den Einzelauswertungen des Feldversuchs sowie die gesonderte Gruppe elektrosensitiver Personen aus dem Laborversuch auf Personen innerhalb des Probandenkollektivs zurückzuführen sind, die elektrosensitiv sind.

Elektrosensitivität ist ein messbares Phänomen.

Wie gross der Anteil messbar elektrosensitiver Personen innerhalb der *Versuchspersonengruppe* effektiv ist, wurde mit dem Wilcoxon-Rangtest im Eliminationsverfahren ermittelt, wobei Schritt für Schritt jeweils der kleinste mittlere p-Wert weggelassen wird, bis das Resultat des Rangtests nicht mehr signifikant ($p > 0.05$) ist. Die Anzahl Eliminationen, die dazu erforderlich sind, entspricht der Anzahl Probanden, deren mittlerer p-Wert ausserhalb des Bereichs zufälliger Streuung liegt und somit „messbar elektrosensitiv“ sind. Das Eliminationsverfahren ergab nach dem ersten Schritt eine Zufallswahrscheinlichkeit von $p > 0.05$.

Mindestens 1 von 36 Versuchspersonen des Projekts NEMESIS war messbar elektrosensitiv.

Die Auswahl der Versuchspersonengruppe des Projekts NEMESIS wurde gestützt auf spezifische Kriterien getroffen. Sie entspricht daher nicht einer repräsentativen Stichprobe der Bevölkerung und ist auch nicht ohne weiteres mit anderen Gruppen subjektiv elektrosensibler Menschen vergleichbar. Aus diesem Grund ist es unmöglich, den Anteil messbar elektrosensitiver Menschen in der Bevölkerung zu schätzen.

Elektrosensitive Untergruppe

Zur Identifikation der Untergruppe messbar elektrosensitiver Personen innerhalb des Kollektivs wurden die Zufallswahrscheinlichkeiten der pro Person gemittelten p-Werte über alle Parameter berechnet⁶⁸ und die Anzahl Signifikanzen ermittelt. Fünf von

⁶⁸ Die Zufallswahrscheinlichkeiten der gemittelten p-Werte pro Person können unter der Annahme berechnet werden, dass sie mit Erwartungswert 0.5 und Varianz $1/12 \cdot n$ uniform verteilt sind.

insgesamt 36 Personen erfüllten $p < 0.05$. Die Wahrscheinlichkeit, dass fünf Resultate aus 36 Tests zufälligerweise signifikant werden, ist statistisch bedeutsam klein: $p_{\text{Binom}} = 0.032$.

Um den prozentualen Anteil der Untergruppe im Verhältnis zum Versuchspersonenkollektiv abzuschätzen, wurde die Schätzmethode von Schweder und Spjøtvoll angewendet⁶⁹. Die Methode dient dazu, das Signifikanzniveau einer Mehrfachtestung optimal zu wählen. Bei mehrfachem Testen einer Nullhypothese können sich zufällig signifikante Resultate ergeben und die Wahrscheinlichkeit nimmt zu, dass die Nullhypothese fälschlicherweise verworfen wird. Um ein Signifikanzniveau zu wählen, dass möglichst alle wahren, getesteten Nullhypothesen ausschliesst, wird α durch die Anzahl Tests dividiert (Bonferroni-Kriterium). Das Bonferroni-Kriterium ist sehr restriktiv. Anhand der Abschätzung der Anzahl wahrer, getesteter Nullhypothesen nach Schweder und Spjøtvoll kann das Signifikanzniveau so gewählt werden, dass möglichst alle, die Nullhypothese verwerfenden Resultate beibehalten werden. Dabei wird α nur durch die Anzahl wahrer, getesteter Nullhypothesen dividiert.

Auf diesem Schätzverfahren abgestützt, wurde anhand der p-Werte der a priori Hypothesen des Projekts NEMESIS die Anzahl wahrer, getesteter Nullhypothesen ermittelt. Für die p-Werte > 0.4 wurde angenommen, dass sie die Nullhypothese erfüllen⁷⁰. Der Trend innerhalb der p-Werte > 0.4 ($n = 389$) wurde mittels linearer Regression bestimmt. Der X-Achsenabschnitt der gefitteten Trendlinie entspricht dem Prozentanteil der Tests, die nicht den wahren, getesteten Nullhypothesen entsprechen. Abbildung 15 verdeutlicht die Vorgehensweise.

⁶⁹ Schweder, T. and E. Spjøtvoll (1982). "Plots of P-values to evaluate many tests simultaneously." *Biometrika* **69**: 493-502.

⁷⁰ Parker, R. A. and R. B. Rothenberg (1988). "Identifying important results from multiple statistical tests." *Statistics in Medicine* **7**: 1031-1043.

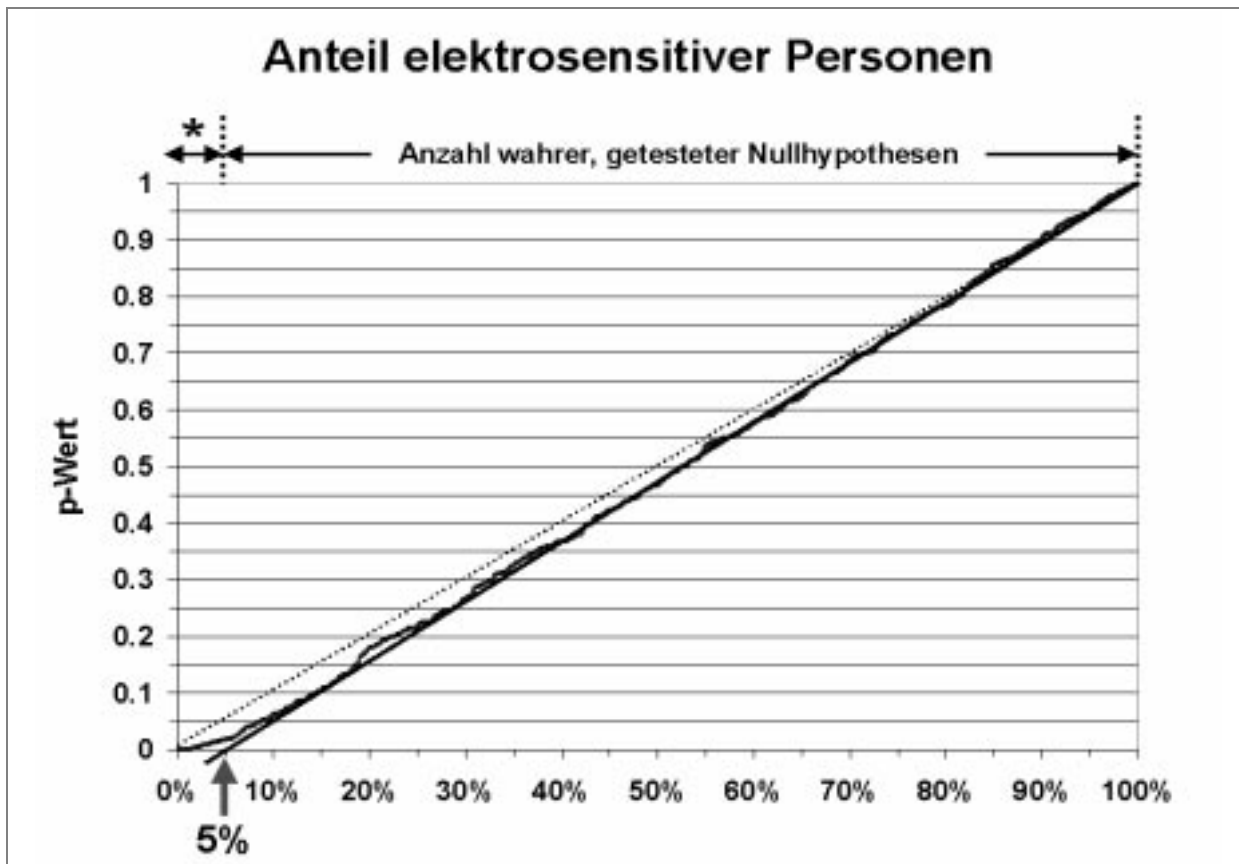


Abb. 15: Anteil objektiv elektrosensibler Personen innerhalb der Versuchspersonengruppe, geschätzt anhand der Verteilung der p-Werte aus den Tests der a priori Hypothesen: Die durchgezogene Linie entspricht dem aus $p > 0.4$ berechneten Trend, die gestrichelte Linie stellt die erwartete uniforme Verteilung der p-Werte dar. ★: In schätzungsweise 5% der Tests wird die Nullhypothese verworfen.

In schätzungsweise 5% der Tests wird die Nullhypothese verworfen (★).

Die Untergruppe messbar Elektrosensitiver umfasste schätzungsweise 5% aller Versuchspersonen des Projekts NEMESIS.

Betrachtet man die Versuchsgruppe gesondert, so stimmt dieses Ergebnis mit der in den Ergebnissen der Hypothese 6 (Seite 85) diskutierten Widersprüchlichkeit zwischen der subjektiven Elektrosensibilität (Selbsteinschätzung) und der im Laborexperiment effektiv gemessenen Elektrosensitivität überein. Zwar gibt es offenbar elektrosensitive Menschen, die unbewusst auf schwache elektrische und magnetische Felder reagieren oder sie direkt wahrnehmen können, die Selbsteinschätzung der Elektrosensibilität ist aber kein zuverlässiges Mass, um daraus die individuelle Elektrosensitivität abzuleiten. Das bedeutet, dass innerhalb einer Gruppe *subjektiv* elektrosensibler Menschen lediglich ein geringer Teil auch *objektiv messbar* elektrosensitiv ist. Die Auswertung im Abschnitt „Objektivierung der Elektrosensitivität“ oben bestä-

tigt die Existenz mindestens einer messbar elektrosensitiven Person und die Abschätzung bezüglich der Untergruppe deuten auf plausible zwei Fälle. Die Resultate des Feldversuchs, des Laborversuchs und der Synthese der Ergebnisse können aber nicht herangezogen werden, um bei einzelnen Versuchspersonen Elektrosensibilität auf der Grundlage einer Sensitivität zweifelsfrei zu diagnostizieren.

Schlussbemerkungen

Das Phänomen Elektrosensibilität kann nicht auf eine einfache Kausalbeziehung zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und den beobachteten biologischen Wirkungen reduziert werden. Die Reaktionen können je nach Zeitpunkt der Beeinflussung und Verfassung des Menschen individuell unterschiedlich ausfallen. *Die Elektrosensibilität ist ein komplexes und individuelles Phänomen.* Die Komplexität entsteht vor allem dadurch, dass die durch elektrische und magnetische Felder verursachten biologischen Effekte, die kognitive Verarbeitung des Risikos „Elektrosmog“ und die (Stress-)Bewältigung voneinander unabhängige Einflussgrößen darstellen und in verschiedenster Weise das Befinden von Betroffenen beeinflussen können. Jede dieser Faktoren könnte neben diverser anderer Störgrößen (z.B. Persönlichkeitsfaktoren, Arbeitsbelastung, Lärm, Klima, Luftschadstoffe) auch alleinstehend als Ursprung der Elektrosensibilität in Frage kommen.

Die Ergebnisse des Projekts NEMESIS machen deutlich, dass es Menschen gibt, die elektrische und magnetische Felder im Feldstärkebereich unterhalb der Immissionsgrenzwerte bewusst wahrnehmen können oder deren Wohlbefinden und Verhalten durch elektrische und magnetische Felder beeinflusst wird. Die Reaktionen der Versuchspersonen auf die Feldprovokation waren aber nicht nur negativ: So wurde beispielsweise die Schlaftiefe und das Aufwachbefinden über alle Versuchspersonen gesehen nach Nächten *mit* Feld als besser bewertet als nach Nächten ohne. Die Synthese der Ergebnisse des Projekts NEMESIS legt zudem die Vermutung nahe, dass *nur ein kleiner Teil* der subjektiv elektrosensiblen Personen auch messbar elektrosensitiv ist. Dennoch, das Leiden elektrosensibler Menschen ist real und muss ernst genommen werden, auch dann, wenn die betroffene Person *nicht* zur Gruppe der messbar Elektrosensitiven zählt.

Es gibt kein einfaches Rezept gegen die Elektrosensibilität, genauso wenig wie es kostenlose Massnahmen zur Feldreduktion oder feldfreie Zonen gibt. Oft reicht es aus, Feldquellen wie Radiowecker und Nachttischlampe aus dem Schlafzimmer zu verbannen oder den Schlafplatz umzustellen, damit sich die Schlafqualität und das Wohlbefinden verbessern.

Die Art und Weise wie das Gesundheitsrisiko, das von den elektrischen und magnetischen Feldern und der elektromagnetischen Strahlung ausgeht, dargestellt und kommuniziert wird, beeinflusst die Entstehung und Entwicklung der Elektrosensibilität wesentlich. Gerade wenn Menschen, die für ihr Kranksein keine Ursache finden können oder vom Arzt keine plausible Erklärung erhalten, mit der Eventualität eines Zusammenhangs zwischen ihren Beschwerden und den allgegenwärtigen und in ihrer Natur oftmals nur schlecht verstandenen elektrischen und magnetischen Felder konfrontiert werden, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sich zumindest der Verdacht auf Elektrosensibilität ergibt. Wie in verschiedenen hypothetischen aber auf Beobachtungen basierenden Erklärungsmodellen dargelegt wurde, ist es vom blossen Verdacht zur Überzeugung, elektrosensibel zu sein, ein kurzer Schritt.

Kann man die Elektrosensibilität *verlernen*? Schwedische Forschergruppen erzielten bei Patienten, die noch nicht felsenfest von ihrer Elektrosensibilität überzeugt waren, mit verschiedenen Formen der Psychotherapie (z.B. kognitive Verhaltenstherapie, „Elektrosensibilität verlernen“) grossen Erfolg. Die Chancen, dass die Person nach der Behandlung wieder ein normales Leben führen konnten, lagen bei bis zu 70%. Die Erfahrungen aus Schweden und die Erkenntnis aus dem Laborversuch des Projekts NEMESIS zeigen, dass die Elektrosensibilität - die Attribution und affektive Bewertung von Beschwerden und Symptomen im Hinblick auf elektrische und magnetische Felder – verlernt werden kann (Modifikation der mentalen Modelle zu einem weniger bedrohlichen Weltbild, vgl. Abbildung 18). Die Elektrosensitivität – die Fähigkeit der direkten oder indirekten Wahrnehmung elektrischer und magnetischer Felder – kann als spezielle Eigenschaft der Wahrnehmung charakterisiert werden. Existieren wirkungsvolle Bewältigungsstrategien, um mit der zusätzlichen Flut an Umweltreizen umzugehen, kann man sehr gut mit der Elektrosensitivität leben. Nimmt die Sensitivität aber eine zentrale Stellung im Leben der betroffenen Person ein, dann kann es leicht zu einer Überforderung der Anpassungsfähigkeit des Körpers kommen, die sich mit der Zeit in Befindensstörungen oder sogar einer fixierten Krankheit äussert.

Das Phänomen „Elektrosensibilität“ ist erst in Ansätzen verstanden. Unter anderem muss die Frage geklärt werden, welche Rolle die elektrischen und magnetischen Felder bei der Entstehung und dem Verlauf der *Elektrosensibilität* tatsächlich spielen

und welche *anderen* Auslöser und Moderatoren (physikalische, psychische, psychosoziale) am Elektrosensibilitäts-Syndrom mitbeteiligt oder sogar dafür verantwortlich sind. Es ist abzusehen, dass der anstehende Entwicklungsschub auf dem Gebiet der Informationstechnologie weitere Probleme im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern bringen wird. Die Diskussion um die Standorte der Mobilfunksendeanlagen ist lediglich ein Aspekt der fortschreitenden Vernetzung und der damit verbundenen raschen Verbreitung der drahtlosen Kommunikation. Bis gesicherte Forschungsergebnisse vorliegen, sollten die Ängste Betroffener und die sich in vielen Ausprägungen äussernde Elektrosensibilität ernst genommen werden.

Christopher H. Müller

Zürich, 20. Oktober 2000

Anhang: Zielgrößen und erklärende Variablen

Tab. A1: Zielgrößen und erklärende Variablen (Störgrößen), die im Projekt NEMESIS untersucht wurden

Variable	Beschreibung	Gruppierung	
Zielgrößen			
Schlaf tiefe	Die „Schlaf tiefe“ wurde aus dem Mittelwert zweier bipolarer Fragen ermittelt: „viel unruhiger“ (0) - „viel ruhiger“ (10) und „oberflächlicher“ (0) - „tiefer“ (10).	<i>Schlaf tiefe und Aufwach befinden</i>	
Zufriedenheit / Pleasure P (Morgen)	Je höher der Skalenwert des Faktors P ist, desto zufriedener und ausgeglichener fühlt sich die Versuchsperson.		
Erregung / Arousal A (Morgen)	Ein hoher Skalenwert des Faktors A bedeutet, dass sich der Proband wacher und erholter einstuft.	<i>Wohlbefinden am Tag</i>	
Aussagen zur Schlafqualität	Beschreibung der Schlafqualität in Stichworten und Bewertung der Aussagen im „Expert Judgement Verfahren“. Bewertungsskala: 0 („kein Hinweis“) - 4 („eindeutiger Hinweis in Aussage, dass Provokationsfeld ein“).		
Befindlichkeitstagebuch	Beurteilung der Feldsituation		Beurteilung, ob Provokationsfeld in der Nacht eingeschaltet war oder nicht (mögliche Antworten: ja / nein / weiss nicht).
	Einschlafdauer		Geschätzte Zeitdauer bis zum Einschlafen
	Aufwachereignisse		Geschätzte Anzahl Aufwachereignisse während der Nacht
	Totale Wachzeit in der Nacht		Geschätzte Zeitdauer des Wachseins während der Nacht
	Traumerinnerungen		Beantwortung der Frage, ob sich die VP an Träume erinnerten oder nicht (mögliche Antworten: ja / nein).
	Befinden		„Wie fühlen Sie sich heute verglichen mit einem durchschnittlichen Tag?“; Skala: viel schlechter=0, viel besser=10
	Erholung		„Wie erholt fühlen Sie sich heute verglichen mit einem durchschnittlichen Tag?“; Skala: erschöpfter=0, erholter=10
	Müdigkeit		„Wie müde fühlen Sie sich heute Abend?“; Skala: sehr müde=0, erholt=10
Pleasure _{Abend}	Siehe oben (Zufriedenheit), P aus den Angaben im Abendfragebogen		
Arousal _{Abend}	Siehe oben (Erregung) , A aus den Angaben im Abendfragebogen		
Tagschlafverhalten	Angabe der VP, ob sie während des Tages geschlafen hatte oder nicht (ja/nein)		

Variable	Beschreibung	Gruppierung	
Zielgrößen			
Aktimetrie	Nachtmittelwert der Anzahl Bewegungen pro Minute		
Atemperiode	Nachtmittelwert der Minuten-Mittelwerte der Atemperiode		
MED.IBI_mean	Mittlere Herzschlagperiode (Nachtmittelwert der Minuten-Mediane)		
MED.IBI_linear	Lineare Zu- oder Abnahme der Herzschlagperiode über die Nacht		
MED.IBI_ampl	Amplitude einer 90-Minuten-Periodik (Mass für Ausprägung der erfassten Schlafphasenrhythmik)		
MED.IBI_phase	Tiefschlafphasenverschiebung (erstes Maximum von der 90-Minuten-Periodik nach Mitternacht [Min.])	<i>Herzparameter</i>	
Dormograph	LMAD.IBI_mean	Index für REM-Phasen Anteile (Nachtmittelwert der Minuten-Medianabweichung der logarithmierten Herzschlagperiode)	
	LMAD.IBI_linear	Lineare Zu- oder Abnahme der Variabilität (Mass für REM-Anteile gegen Ende der Nacht)	
	LMAD.IBI_ampl	Stärke der Variabilität	
	LMAD.IBI_phase	REM-Phasen-Verschiebung (Erstes Maximum der Variabilität nach Mitternacht [Min.])	
MED.IBI_MW	Parameter für MED.IBI (Herzschlagperiode) aus Zeitreihenanalyse der EBi-Nächte (alternierendes elektrisches und magnetisches Feld).	<i>Zeitreihenanalyse</i>	
LMAD.IBI_MW	Parameter für LMAD.IBI (Variabilität) aus Zeitreihenanalyse der EBi-Nächte (alternierendes elektrisches und magnetisches Feld).		
Schwerpunktsverlagerung	Ausweichverhalten: Nachtmittelwert der Minuten-Mittelwerte der Schwerpunktslage		
Fragebogen	Feldwahrnehmung (Labor)	Feldbeurteilung ja (+1) / nein (-1) und Antwortsicherheit [%] wurden zu einem Parameter „Feldwahrnehmung“ (Skala: -100 „sicher nicht eingeschaltet“ bis +100 „sicher eingeschaltet“) zusammengefasst.	
	Δ Feld	Δ Feld = Feldsituation - Feldsituation der vorangehenden Minute ; mit Feldsituation = 0 oder 1 (Detektion des Ein- bzw Ausschaltens)	<i>Elektrosensitivität</i>
	Trefferquote	Die Trefferquote wurde als zweiseitig definiert, z.B. 15 richtige oder falsche Antworten bei 20 Beurteilungen entsprechen einer Trefferquote von 75%.	

	Variable	Beschreibung	Gruppierung
Erklärende Variablen und Störgrössen			
Skriptfile	Feld _{ein/aus}	Bei der Analyse der Beeinflussung subjektiver und physiologischer Zielgrössen wurden die Reaktionen und Tagebuchangaben der Nullnächte (Feld _{aus}) und exponierten Nächte (Feld _{ein}) verglichen.	<i>elektrisches und magnetisches Feld</i>
	Feldindikator	Kombinationen der Feldtypen 0, E, B, EB, EBi für die Untersuchung der „Effektivität“ der einzelnen Expositionsarten.	
Befindlichkeitstagebuch	Pleasure _{Abend}	Emotionaler Status am Abend: Einflüsse des Tages, die sich auf den Schlaf und die Schlafqualität auswirken könnten.	<i>Konsum</i>
	Arousal _{Abend}		
	Pleasure _{Morgen}	Befinden am Morgen, das sich auf die Beurteilung des Tagesablaufs (Wohlbefinden am Tag) auswirken könnte.	
	Arousal _{Morgen}		
	Tagnummer	Fortlaufende Nummerierung der Versuchstage einer Testreihe (als linearer Trend in der Auswertung berücksichtigt)	
	Bettgehzeit	Zeitpunkt des Ausfüllens des Tagebuchs vor dem Schlafengehen	
	Kaffee/Tee (Ka)	Konsum von Genussmitteln (Koffein, Alkohol, Nikotin), Medikamenten und Esswaren in einem Zeitraum von vier Stunden vor dem Schlafengehen: Berücksichtigung von Substanzen und Verhaltensweisen, die den Schlaf und die Schlafqualität beeinflussen könnten.	
	Nikotin (Ta)		
	Alkohol (Al)		
	Medikamente (Me)		
Esswaren (Es)			
Felderwartung	Felderwartung: „Erwarten Sie, dass heute Nacht das Feld eingeschaltet sein wird?“ (ja / nein / weiss nicht).		
Umweltsensor	Raumtemperatur (RT)	Absolutwert der RT [mV]	
	Raumluftfeuchte (RF)	Absolutwert der RF [mV]	
	Schall	Aufzeichnung der gemittelten Amplituden	
	Licht	Mass für die Beleuchtungsstärke im Raum (0-600 mV)	
SMA	Aussentemperatur	Nachtmittelwert der Aussentemperatur bei der dem Versuchsort nächstgelegenen Messstation der SMA (Schweiz. Meteorologische Anstalt)	
	Aussenluftfeuchte	Nachtmittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit	
	Mittlerer Luftdruck	Mittlerer Luftdruck während der Nacht	
	Mondphase	Die Mondphasen während der Testreihen wurden berechnet. Sie korrelierten nicht mit den Angaben aus dem Tagebuch..	
	Menstruationszyklus	Die weiblichen Versuchspersonen notierten den Beginn des Monatszyklus im Tagebuch	