



*femu*

ISSN 1439-9261  
Internet-Ausgabe

***femu***  
**Forschungsbericht**

2001

**RWTHAACHEN**

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische  
Umweltverträglichkeit (*femu*)

Universitätsklinikum der  
Rheinisch-Westfälischen Technischen  
Hochschule Aachen (RWTH)

*femu*

FORSCHUNGSBERICHT

2001

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)  
Universitätsklinikum der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule  
Aachen

Aachen, Dezember 2001



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Jahresüberblick</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Forschungsprojekte</b>	<b>9</b>
2.1	In vitro Einfluss elektrischer Feldstärken auf die anti- und prothrombotische Aktivität von humanen Nabelschnur-Endothelzellen . . . . .	9
2.2	Elektromagnetische Wechselwirkungen im Knorpelgewebe . . . . .	15
2.3	Einfluss eines 50 Hz-Magnetfeldes auf das DNA-Reparaturvermögen verschiedener Zellarten in Gehirn, Leber und Niere . . . . .	19
2.4	Magnetische Stimulation in peripheren Nerven und Muskeln . . . . .	23
2.5	Wirkungen niederfrequenter elektrischer Felder auf den visuellen Kanal: Elektrophosphene . . . . .	26
2.6	Wahrnehmung elektrischer Ströme durch die Sinnesrezeptoren der Haut . . . . .	31
2.7	Herzschrittmacher in niederfrequenten magnetischen Feldern des Alltags . . . . .	37
2.8	Störung medizinischer Implantate durch mehrere unabhängige hochfrequente Felder . . . . .	44
2.9	Ausbau und Pflege der Wissensbasierten Literaturdatenbank (WBLDB) . . . . .	47
2.10	Erarbeitung und Implementierung eines neuen Zweiges der WBLDB für „Epidemiologische Studien“ . . . . .	55
2.11	Informationsportal über die Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen — basierend auf der WBLDB . . . . .	63

2.12 Elektrische Messungen des Nahrungstransportes im Gastrointestinaltrakt (GIT) . . . . .	71
2.12.1 Impedanzverfahren zur hochauflösenden Erfassung der Motilität im GIT . . . . .	71
2.12.2 Anwendung des Impedanzverfahrens in der Pädiatrie . . . . .	75
2.12.3 Motilität bei Erwachsenen . . . . .	77
2.12.4 Prä- und postoperative sowie intensivmedizinische Aspekte . . . . .	78
<b>3 Präsentationen</b>	<b>79</b>
3.1 Erschienene Publikationen . . . . .	79
3.2 Eingereichte / akzeptierte Publikationen . . . . .	80
3.3 Konferenz-Beiträge . . . . .	81
3.4 Vorträge . . . . .	82
3.5 Sonstige Aktivitäten . . . . .	84
<b>4 Anhang</b>	<b>86</b>
4.1 Mitarbeiter des <i>femu</i> . . . . .	86
4.2 Impressum . . . . .	88

# Kapitel 1

## Jahresüberblick

Die Arbeiten des Forschungszentrums für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*) wurden im Jahr 2001 fortgesetzt mit

- Grundlagenuntersuchungen zu elektromagnetischen Wechselwirkungen im Gewebe und im Organismus
- Ermittlung von Effekten elektromagnetischer Felder des Alltags bei Probanden, Patienten und Implantatträgern
- Abschätzung von Risiken gesundheitsrelevanter Wirkungen von elektromagnetischen Feldern, die in Zukunft eingeführt werden sollen
- Erhebung und Übermittlung des aktuellen Wissensstandes auf dem Gebiet der elektromagnetischen Interaktion mit lebender Materie

Eine enge Zusammenarbeit mit Partnern, insbesondere aus dem Universitätsklinikum und Instituten der RWTH Aachen, stellt eine unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung der Projekte dar.

Da die Bearbeitung der Projekte weitgehend mit Drittmitteln finanziert wurde, waren Umfang und Intensität der Arbeiten durch diesen Faktor maßgeblich vorgegeben.

Nach der Auflösung der Forschungsgesellschaft für Biomedizinische Technik e.V. zum 30.06.2001 wurden die einzelnen Arbeitsbereiche in das Universitätsklinikum der RWTH Aachen eingegliedert. Das *femu* hat nicht nur eine

organisatorische Verankerung, sondern auch eine Möglichkeit synergetischer Ergänzungen im Institut für Hygiene und Umweltmedizin (Direktor: Prof. Dr. W. Dott) gefunden.

Die Umstrukturierung der Forschungsbereiche gab Anlass, die verwandte Problematik der Umsetzung von elektromagnetischen Interaktionen in der medizinischen Messtechnik, die im früheren Helmholtz-Institut bearbeitet wurde, im *femu* fortzuführen.

Insbesondere sind das

- elektrische Messungen der Motilität im Gastrointestinaltrakt (Abschnitt 2.12)
- Aufnahme elektrischer Biosignale in stark elektromagnetisch stark gestörter Umgebung wie z.B. im Kernspintomographen und
- Entwicklung und Optimierung von Verfahren zu fokalen wie auch großräumigen elektrischen und magnetischen Stimulation von Nerven, Muskeln oder Sinnesrezeptoren.

Bei diesen Fragestellungen stehen, wie in anderen *femu*-Projekten, neben den physiologischen und physikalischen Grundlagen elektromagnetischer Interaktionen im Organismus die Simulation und numerische Analyse der im elektrisch inhomogenen und anisotropen Volumenleiter des Körpers von außen aufgebauten elektrischen Felder im Vordergrund. Erst auf dieser Grundlage können geeignete Aufnehmer und Applikatoren entwickelt und in nachfolgenden klinischen Studien überprüft werden. Bereits hierzu sind oft mehrere Optimierungsschritte sowie die Erarbeitung angepasster Aufnahmesysteme mit Software für Erfassung, Monitoring und Analyse der aufgenommenen Signale erforderlich.

Die durchgeführten Untersuchungen der Beeinflussung von Endothelzellen durch starke elektrische Felder (Abschnitt 2.1), der Knorpelzellen in magnetischen Wechselfeldern (Abschnitt 2.2) sowie die Tierexperimente zur Einwirkung magnetischer 50 Hz-Felder auf die DNA-Reparaturmechanismen (Abschnitt 2.3) dienen der Überprüfung grundlegender Hypothesen. Die vorgestellten initialen Untersuchungen zeigen die Komplexität der jeweiligen Problematik und die notwendige Ausrichtung der weiteren Experimente.

Starke sinus- und nichtsinusförmige Magnetfelder, überwiegend mit einer räumlich begrenzten Ausdehnung, kommen zunehmend in Haushalten (z.B. Induktionskochplatten) oder im Beruf (z.B. Elektroinduktionseinrichtungen) zum Einsatz. Für die Abschätzung der Reizschwelle derartiger Felder in Nerven und Muskeln der Extremitäten wurde ein numerisches Modell entwickelt und am Beispiel der magnetischen Stimulation der N. ulnaris und N. medianus experimentell überprüft (Abschnitt 2.4). Diese Arbeit wurde bei der diesjährigen internationalen Tagung der Bioelectromagnetics Society (BEMS) in den USA ausgezeichnet.

Provokationsstudien mit Probanden wurden zur Überprüfung von mutmaßlichen Effekten, bzw. zur Ermittlung von Schwellen belegter Kurzzeiteffekte in unterschiedlichen elektromagnetischen Feldern durchgeführt. Die in den Abschnitten 2.5 und 2.6 skizzierten Untersuchungen der Wahrnehmungsschwelle verschiedener Sinnesrezeptoren für unterschiedlich beschaffene niederfrequente Felder gehören zu dieser Art. Die in Experimenten und numerischen Berechnungen ermittelte, den Effekten zugrunde liegende elektrischen Stromdichten am Ort des Sinnesrezeptors stellen einen wichtigen Beitrag für die Aufstellung internationaler Sicherheitsbasiswerte dar.

Die Untersuchungen zur Störbeeinflussung elektronischer Implantate (Abschnitt 2.7) haben sich auf die Abschätzung der Störschwelle unipolarer und bipolarer Herzschrittmacher in magnetischen Wechselfeldern, wie sie im Alltag z.B. unter Hochspannungsfreileitungen oder im Bereich der Identifikationssysteme vorkommen, konzentriert. Die Resultate zeigen, dass auch für neue Herzschrittmacher die Gefahr einer Störung durch die elektromagnetischen Felder verschiedener Geräte und Einrichtungen im Alltag und Beruf nicht ausgeräumt ist.

Im hochfrequenten Frequenzbereich stellt sich die Frage, welche Beiträge mehrere gleichzeitig betriebene unabhängige hochfrequente Quellen (z.B. Handys) zu Störschwellen eines elektronischen Implantates liefern. Die in Abschnitt 2.8 verkürzt präsentierten Untersuchungen zeigen, dass sich die Beiträge mehrerer unabhängiger Quellen nicht direkt, sondern nur mit dem quadratischen Mittelwert addieren.

Unter dem umgangssprachlichen Begriff „Elektrosmog“ werden unterschiedliche Erkrankungen in Zusammenhang mit der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder des Alltags in Verbindung gebracht. In der



anhaltend intensiven Diskussion in der Öffentlichkeit, insbesondere in Bezug auf die neuartigen Felder der Mobilfunkkommunikation, an der sich nicht nur Bürger, sondern auch Politiker und Juristen beteiligen, fehlt es häufig an Grundwissen. Zur Information über den aktuellen Wissensstand baut das *femu* eine Wissensbasierte Literaturdatenbank (WBLDB) mit kostenlosem Internet-Zugang auf. Die in diesem Jahr durchschnittlich über 26.000 erfolgten Zugriffe pro Woche auf die Datenbank (Abschnitt 2.9) zeugen von einem großen Informationsdefizit auf diesem Gebiet in allen gesellschaftlichen Schichten. Die WBLDB beinhaltet bereits Zweige zur Aufnahme biologisch-medizinischer und dosimetrisch orientierter Publikationen. Der im Berichtsjahr erarbeitete epidemiologische Zweig (Abschnitt 2.10) stellt eine weitere wichtige Ausbaustufe dar.

Um den Zugang zu den Experteninformationen der WBLDB auch für Nichtfachleute zu ermöglichen, wurde mit Förderung durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit der Entwicklung eines Informationsportals („Laienportals“) begonnen. Das Vorgehen ist in Abschnitt 2.11 erläutert.

Eine erfreuliche und gleichzeitig Besorgnis erregende Zunahme zeichnet sich bei der Anzahl fernmündlicher oder schriftlicher Anfragen zu elektromagnetischen Wirkungen in der Umwelt oder in der medizinischen Diagnostik und Therapie ab. Mehr als 1000 solcher Anfragen von Politikern, Journalisten, Juristen, Ärzten und Verwaltungsleuten sowie von interessierten und besorgten Bürgern wurden von *femu*-Mitarbeitern dieses Jahr beantwortet. Der zeitliche Aufwand für diese Leistungen nimmt einen Umfang an, der mittelfristig ohne zusätzliche manpower nicht zu bewältigen ist.

# Kapitel 2

## Forschungsprojekte

### 2.1 In vitro Einfluss elektrischer Feldstärken auf die anti- und prothrombotische Aktivität von humanen Nabelschnur-Endothelzellen

D. Ulrich, B. Hafemann, N. Pallua<sup>1</sup>; J. Silny

#### Einleitung

Elektrounfälle können zu einem massiven Trauma führen. Dabei entstehen primär äußerliche Verletzungen, die durch einen tiefen Verbrennungsgrad und eine geringe Flächenausdehnung charakterisiert sind. Sekundär kommt es durch Stromfluss entlang der stark wasserhaltigen Gefäßbahnen oder Nervenbahnen und Muskeln des Körpers zu einer weitergehenden Gewebeerstörung. Geschichtlich sah man die Erhitzung durch Stromfluss („Joule heating“) als den einzigen Mechanismus in der Verletzung von Gewebe bei Stromunfällen. Vor wenigen Jahren wurde zusätzlich die Elektroporation von Muskel- und Nervenzellen als Schädigungsmechanismus beim elektrischen Trauma postuliert. Patienten zeigen nach Stromverletzungen häufig eine progrediente Gewebeschädigung und Thrombose von Blutgefäßen auch fern der Ein- und Austrittsstelle

---

<sup>1</sup>Klinik für Plastische Chirurgie, Hand- und Verbrennungschirurgie  
des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

des Stromes. Verlauf und Möglichkeiten der plastisch-chirurgischen Rekonstruktion in verletzten Extremitäten werden dadurch erheblich eingeschränkt. Aus eigenen Beobachtungen in Fällen schwerer elektrischer Verbrennungen mit nachfolgendem Gliedmaßenteilverlust konnte eine zentripetale progressive Thrombosierung der Gefäße mit Schädigung des Endothels nachgewiesen werden. Diese Beobachtung führte zu der Vermutung einer sich selbst unterhaltenden Gerinnungsaktivierung und einem konsekutiven Endothelzellschaden auf Basis einer primären subklinischen Schädigung durch Strom.

Die Endothelzelle ist als Sitz verschiedener lumenseitiger Ektoenzyme für den enzymatischen Abbau vasoaktiver Substanzen zuständig. Sie ist u.a. Bildungsort verschiedener Prostaglandine. Die Ausbildung einer antithrombogenen luminalen Gefäßoberfläche ist eine weitere aktive Stoffwechsellistung des Endothels. Der Effekt des Endothels auf die Gerinnung stellt dabei ein Wechselspiel verschiedener Mechanismen dar, die sich auf der Zelloberfläche abspielen. Zentrale Mechanismen der Antikoagulation beinhalten das fibrinolytische, das Protein-C, das Heparin-Antithrombin III-System sowie die Bildung von Prostaglandinen. Es stellt sich die Frage, ob die progrediente Schädigung des Gefäßsystems in stromdurchflossenen Extremitäten auf einer Schädigung des Endothels mit Störung des physiologischen Gleichgewichtes zwischen Blutgerinnung und Fibrinolyse beruht und zu einer progredienten Muskelnekrose beiträgt.

Um Aussagen über eine mögliche Veränderung des hämostaseologischen Gleichgewichtes aufgrund einer Stromschädigung von Endothelzellen treffen zu können, sollten der Plasminogenaktivator-Inhibitor 1 (PAI-1) und der tissue-type Plasminogenaktivator (t-PA) als Parameter des Fibrinolyse-Systems und der von Willebrand-Faktor (vWF), das Protein C sowie der Faktor V als Parameter der Blutgerinnung im Zellkulturüberstand von humanen Nabelschnur-Endothelzellen (HUVEC) mittels ELISA-Technik bestimmt werden.

## **Material und Methoden**

Zur Versuchsdurchführung erfolgten die Entwicklung, der Bau und die Überprüfung einer Versuchsvorrichtung (Abbildung 2.1), in der konfluierend wachsende HUVEC definiert und einheitlich homogenen sinusförmigen elektrischen 50 Hz-Feldern mit unterschiedlicher Dauer ausgesetzt werden können. Appliziert werden können einzelne Halbperioden oder Perioden wie auch das Vielfache einer

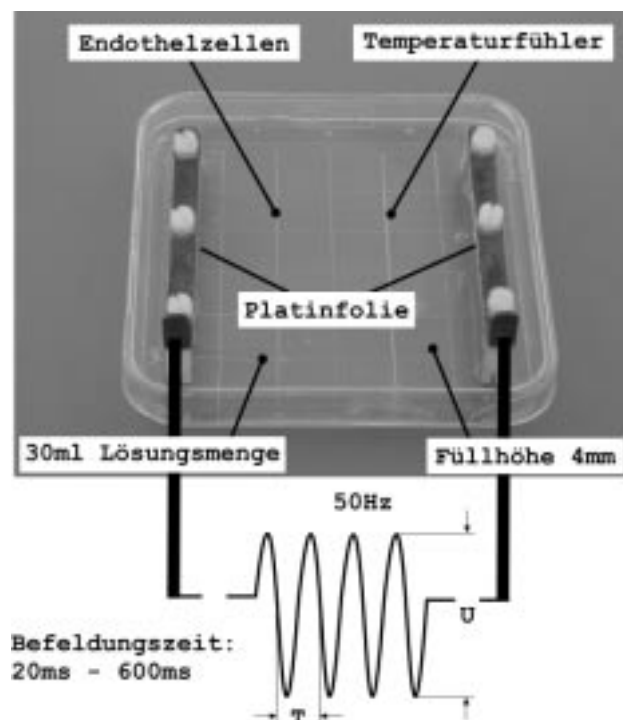


Abbildung 2.1: Kulturschale mit Endothelzellen, Kulturlösung und den Elektroden für die Applikation elektrischer Felder

50 Hz-Schwingung in definierten Zeitabständen. Zur Vermeidung von Veränderungen des biologischen Milieus durch eine Diffusion von Metallionen in die Lösung werden Platin-Elektroden verwendet. Das Innere der Versuchseinrichtung wird sowohl während der Feldexposition als auch in der Versuchsphase danach steril bei  $22^{\circ}\text{C}$  gehalten.

Um eine athermische Wirkung der elektrischen Felder während der Versuchsdurchführung zu gewährleisten, erfolgten in Vorversuchen zunächst die Messung der elektrischen und dielektrischen Eigenschaften verschiedener Pufferlösungen sowie der Temperaturentwicklung in Abhängigkeit vom applizierten Feld und der Einwirkdauer.

Für die Versuche erfolgte zunächst eine Kultivierung der HUVEC. Pro Versuchsreihe wurden die Zellen auf insgesamt sieben Kulturschalen ausgesät. Eine Schale diente jeweils als Kontrolle und sie wurde keinem elektrischen Feld ausgesetzt. In drei Schalen wurden elektrische Feldstärken von  $36\text{ V/cm}$  appliziert und in drei Feldstärken von  $60\text{ V/cm}$  aufgebaut. Die Anzahl der injizierten 50 Hz-Stromperioden pro Expositionspaket betrug dabei 1, 10 und 30 (Tabelle

Tabelle 2.1: Versuchsgruppen ( $n = 7$ ) zur Durchführung der Stromexperimente

<b>Kulturschale</b>	<b>Feldstärke V/cm</b>	<b>Periodenanzahl</b>
1 (Kontrolle)	0	0
2	36	1
3	36	10
4	36	30
5	60	1
6	60	10
7	60	30

2.1). Die erste Probenentnahme erfolgte unmittelbar nach Feldapplikation. Weitere Proben wurden nach 1, 2, 4, 8 und 24 Stunden entnommen. Zur Ermittlung von thermischen Veränderungen im Kulturmedium während der Stromapplikation erfolgte eine simultane Temperaturmessung. Zur Vitalitätsbestimmung der Zellen wurde ein MTT-Test zum Zeitpunkt der Probengewinnung durchgeführt.

## Ergebnisse

In der Versuchsgruppe mit einer Feldstärkenapplikation von 36 V/cm zeigten sich bei unterschiedlicher Anzahl von 50 Hz-Perioden innerhalb der ersten 2 Stunden keine wesentlichen t-PA-Konzentrationsunterschiede im Zellkulturüberstand (Abbildung 2.2). Nach 4 Stunden liegt die t-PA-Konzentration im Medium der Kontrollgruppe deutlich niedriger insbesondere gegenüber den Gruppen, die mit 10 und 30 Feldperioden behandelt wurden. Nach 24 Stunden trat in allen befeldeten Gruppen ein hochsignifikanter Anstieg der t-PA-Konzentration gegenüber der Kontrolle auf.

Auch Feldstärken von 60 V/cm lassen innerhalb der ersten zwei Stunden keine bedeutsamen Konzentrationsunterschiede (Abbildung 2.3) entstehen. Nach vier Stunden war wiederum im Kulturüberstand der Kontrollgruppe ein deutlich höherer t-PA-Konzentrationsstand zu verzeichnen, während Zellen, die mit 10 und 30 Stromperioden behandelt wurden, keine wesentliche Konzentrationsveränderung aufwiesen. 24 Stunden nach erfolgter Feldstärkenapplikation kam es in jeder Zellgruppe zu einem hochsignifikanten Konzentrationsanstieg. Im Vergleich zu den Werten bei einer Feldstärke von 36 V/cm gab es zu keinem Untersuchungszeitpunkt einen bedeutsamen Konzentrationsunterschied.

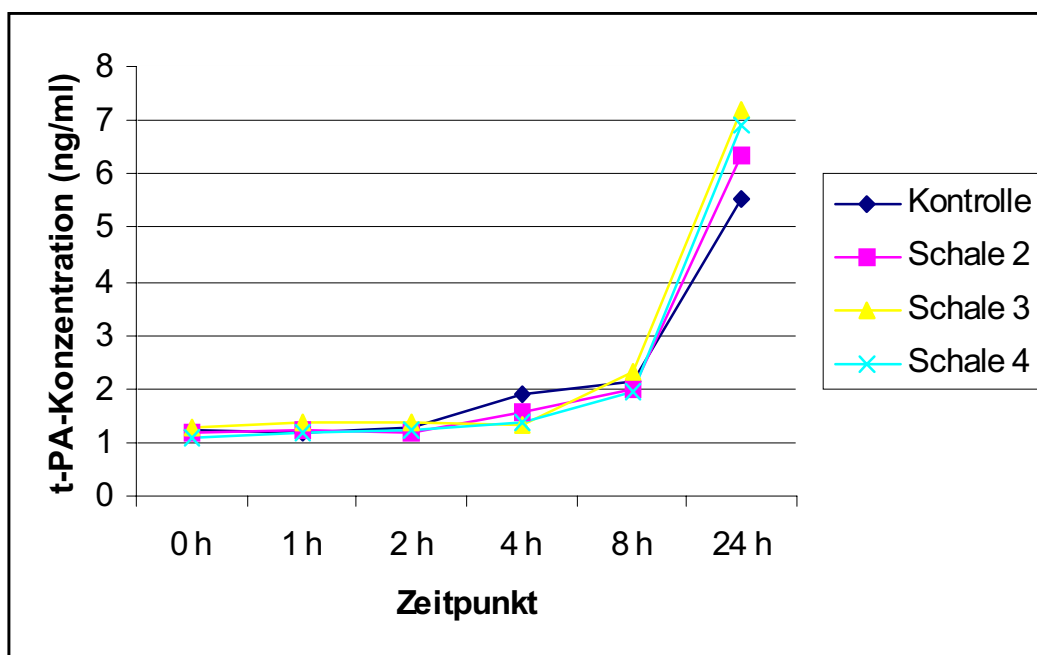


Abbildung 2.2: t-PA-Konzentration im 220 V-Versuch bei einer Periodenzahl von 1 (Schale 2), 10 (Schale 3) und 30 (Schale 4)

Die PAI-1-Konzentration stieg im Zellkulturüberstand aller untersuchten Gruppen während des Untersuchungszeitraumes von 24 Stunden signifikant an, während Faktor V, Protein C und vWF im Zellkulturüberstand keine Konzentrationsunterschiede nach Stromzufuhr aufwiesen.

Während der Feldstärkeapplikation wurden lediglich maximale Temperaturveränderungen von  $8^{\circ}\text{C}$  im Zellkulturüberstand der bei einer Raumtemperatur von  $22^{\circ}\text{C}$  dem Stromfluss unterliegenden HUVEC festgestellt (30 Perioden bei einer Feldstärke von  $60\text{ V/cm}$ ).

Ein nach 24 Stunden, 4 und 6 Tagen durchgeführter MTT-Test zeigte keine Aktivitätsänderungen der mitochondrialen Dehydrogenasen bei den Stromdurchfluss ausgesetzten Endothelzellen.

## Schlussfolgerungen

Im Zellkulturüberstand von HUVEC, die mit 10 und 30 Perioden eines elektrischen Feldes bei der Applikation von elektrischen Feldstärken von  $36\text{ V/cm}$  und  $60\text{ V/cm}$  behandelt wurden, liegt nach 4 Stunden gegenüber der Kontroll-

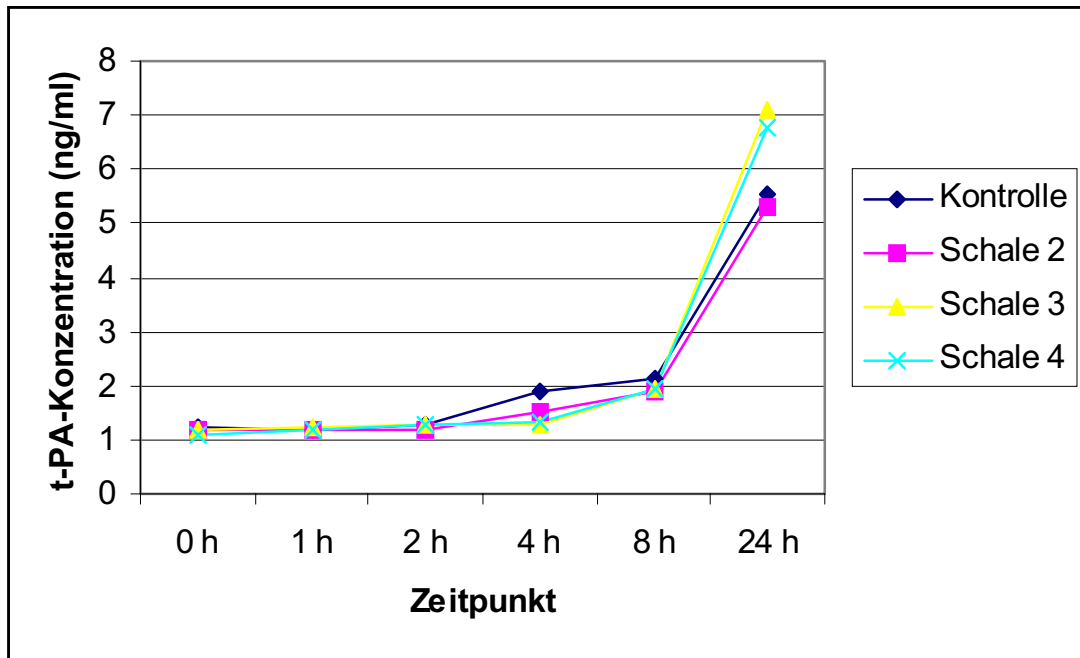


Abbildung 2.3: t-PA-Konzentration im 380 V-Versuch bei einer Periodenzahl von 1 (Schale 2), 10 (Schale 3) und 30 (Schale 4)

gruppe eine deutlich verminderte t-PA-Konzentration vor, die zu einer temporären Hypofibrinolyse führen und zu der klinischen Beobachtung einer progressiven Thrombosierung der Gefäße nach Elektrotraumata beitragen könnte. Jedoch besteht 24 Stunden nach Stromdurchfluss durch eine deutliche t-PA-Konzentrationszunahme gegenüber der Kontrollgruppe eine Hyperfibrinolyse bei erhaltener Zellvitalität. Die von Endothelzellen sezernierten Gerinnungsfaktoren Protein S, vWF und Faktor V zeigen demgegenüber keine Konzentrationsänderungen. Die klinischen Beobachtungen einer Thrombosierung der Gefäße mit Schädigung des Endothels im Verlauf von mehreren Tagen nach Stromunfällen lassen sich dadurch bislang noch nicht erklären. Wir kommen zu der Hypothese, dass erst eine längere Stromdurchflusszeit, die im klinischen Alltag zumeist gegeben ist, zu Veränderungen der Zellen führt, die das hämostaseologische Gleichgewicht beeinflussen und den Gefäßtonus verändern können.

## 2.2 Elektromagnetische Wechselwirkungen im Knorpelgewebe

B. Schmidt-Rohlfing, F. U. Niethard<sup>1</sup>; J. Silny

### Problematik

Elektromagnetische Felder werden zunehmend häufig in der Therapie von degenerativen Gelenkserkrankungen eingesetzt, ohne dass bislang ein sicherer Nachweis der Wirksamkeit erbracht worden wäre. Angesichts dieser unzureichenden Wissensbasis erscheint eine Überprüfung aller hypothetischen Ansätze angezeigt, insbesondere die der mechanoelektrischen Eigenschaften von Knorpelgewebe der durch externe Magnetfelder induzierten elektrischen Potenziale und der elektromagnetischen Wechselwirkung im Knorpelgewebe.

### Mechanoelektrische Eigenschaften von Knorpelgewebe

Im menschlichen Organismus kommt es im Knochen- und Knorpelgewebe unter mechanischer Belastung zu einer elektrischen Potenzialänderung gegenüber dem umgebenden Gewebe, ohne dass bislang die physiologische Bedeutung belegt ist. Versuche zum Nachweis solcher Phänomene wurden in der Vergangenheit an ausgestanzten Knorpelzylindern durchgeführt, wo aufgrund der Polarisationsspannung unterschiedliche Artefakte an Grenzflächen zwischen Elektroden und ionalen Leitern des Körpers auftreten können.

In eigenen Experimenten wurden komplette porkine Gelenke verwendet, die dem humanen Kniegelenk sowohl in Größe als auch Knorpeldicke ähneln. Initiale Versuche mit einer einfachen Messanordnung und einer Ansteuerung bis 300 N zeigten zunächst eine Reihe von Einschränkungen (vgl. *femu*-Forschungsbericht 2000). Eine neue Versuchsanordnung, bestehend aus einem Applikator und einem Kraftaufnehmer mit linearem Verhalten bis 800 N, erlaubte eine Erweiterung der Versuche auf den gesamten physiologischen Bereich.

Mit der neuen Versuchsanordnung erfolgten zunächst an insgesamt 8 porkinen Kniegelenken axiale Kompressionsversuche. Hierzu wurden die Gelenke zwischen dem Boden und der Kraftplatte der Versuchsvorrichtung auf die Län-

---

<sup>1</sup>Orthopädische Klinik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen



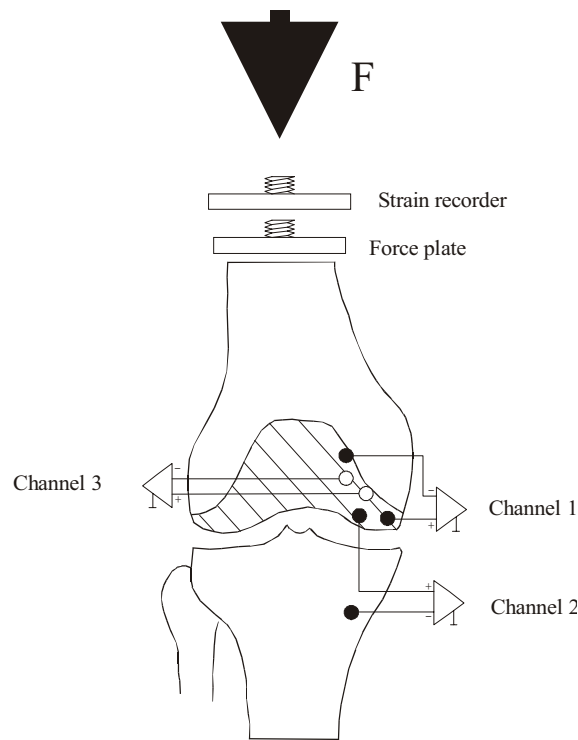


Abbildung 2.4: Versuchsanordnung zur Messung elektrischer Potentiale im Knorpelgewebe unter axialer Belastung. Die schwarzen Kreise symbolisieren Nadelelektroden, die tangential ins Knorpelgewebe eingebracht wurden, während die hellen Kreise externe Elektroden darstellen, die auf dem Gewebe (zwischen einem internen Elektrodenpaar) fixiert wurden.

ge von 12 cm angepasst. Der Druckaufnehmer befand sich unmittelbar oberhalb der Kraftplatte (vgl. Abb. 2.4). Die Kraft wurde durch einen (kraftgesteuerten) Elektromotor aufgebaut. Nach Positionierung der vergoldeten Nadelelektroden für die differenzielle Ableitung im Gelenkknorpel und einer Referenzelektrode in dem mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten Versuchsbehälter erfolgte die Belastung. Während der Belastungsphase wurden die verstärkten Signale computergestützt aufgezeichnet. Die porcinen Kniegelenke wurden Kompressionskräften bis zu 800 N ausgesetzt.

Die Experimente zeigten, dass jede maximale Kraftapplikation mit einer maximalen Elektronegativität der vom Gelenkknorpel abgeleiteten Potentiale korreliert. Dabei konnten elektrische Potenzialänderungen bis zu 17 mV abgeleitet werden. Grundsätzlich fand sich eine weitgehend lineare Korrelation zwischen den Potenzialänderungen und den applizierten Kräften (im gemes-

senen Bereich). Frequenzänderungen zwischen 0.036 und 1.4 Hz hatten keine Änderung hinsichtlich der Amplituden der elektrischen Potenziale zur Folge. In diesem Frequenzbereich kam es auch zu keiner messbaren Verzögerung der Potenzialantworten.

Weiterhin zeigten die kontinuierlichen Aufzeichnungen der elektrischen Potenziale im Knorpelgewebe ohne applizierte Belastung spontane Veränderungen. Dies legte bereits den Verdacht nahe, dass hierbei auch Potenziale mitgemessen wurden, die nicht durch die Applikation von Kräften entstanden waren.

Durch ein Kugelelektrodenpaar, das gegenüber von 2 Nadelelektroden auf dem Knorpelgewebe aufgebracht war, konnte das elektrische Feld gemessen werden, das — unabhängig von Grenzflächenphänomenen — unter Kompressionsbelastung entstanden ist. Die mechanische Belastung erzeugte auch außerhalb des Knorpelgewebes elektrische Felder, die erwartungsgemäß deutlich geringer als die Potenziale im Gewebe selbst waren. Damit ist die Existenz mechanoelektrischer Kopplungen im Knorpelgewebe bestätigt. Die Frage nach der biologischen Wirksamkeit der mechanisch induzierten elektrischen Felder dagegen ist noch offen.

## **Magnetisch induzierte und belastungsinduzierte Potenziale im Knorpelgewebe**

Weitere Versuche galten der Untersuchung der im Kniegelenk durch Magnetfelder induzierten elektrischen Felder.

In einem Kniegelenkmodell erfolgte die Überprüfung der elektrischen Feldstärken, die durch Magnetfelder (2 und 4.9 mT, 50 Hz) induziert wurden. Hierzu wurde ein Kunststoff-Knie (Sawbones) zentral in einem elektrischen Volumenleiter (Plexiglasröhre, mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt) positioniert. An fünf verschiedenen Positionen des distalen Femur-Endes wurden gesinterterte Kugelelektroden im Abstand von je 1 cm angebracht, die eine Messung der Feldstärken in den 3 Raumkoordinaten ermöglichten (vgl. Abb. 2.5).

Es wurden induzierte elektrische Feldstärken zwischen 60 und 410  $\mu\text{V}/\text{cm}$  im Kniegelenk abgeleitet. Die Höhe der gemessenen Werte war unmittelbar abhängig von der Ausrichtung der Elektroden in Relation zu der räumlichen Ausrichtung der Spule. Die Feldstärken am Rande des Volumenleiters waren mit 1400  $\mu\text{V}/\text{cm}$  deutlich höher. Ein Vergleich mit den Potenzialen, die unter

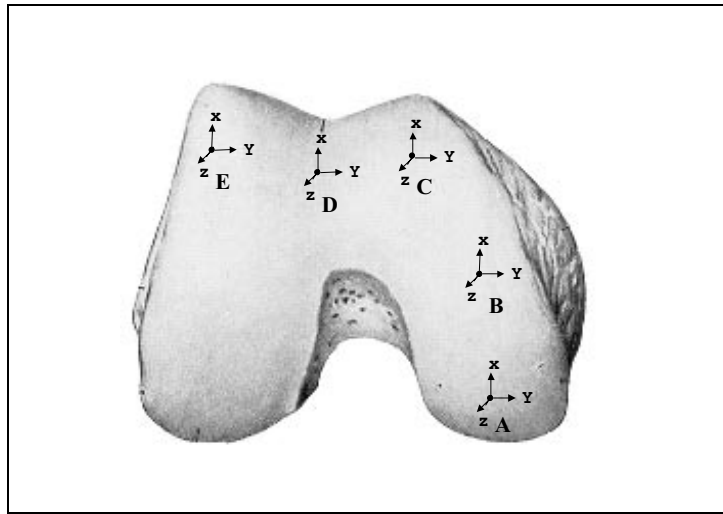


Abbildung 2.5: Schematische Darstellung der Positionierung der Elektroden mit unterschiedlicher Lokalisation im Kniegelenk.

physiologischer Belastung auftraten, zeigte, dass letztere etwa 30 mal höher lagen als die Potenziale, die durch die Magnetfelder induziert wurden. Dieses Ergebnis macht die postulierte Therapiewirkung derartiger Magnetfelder eher unwahrscheinlich.

### **Experiment in vitro**

In einem weiteren Versuch werden derzeit die Auswirkungen von Magnetfeldern (2 mT, 50 Hz) auf Chondrocyten *in vitro* untersucht. Hierbei werden humane Chondrocyten in eine 3D Matrix (Kollagen I) eingebracht, die zuvor in einer Monolayer Kultur amplifiziert wurden. Die in die Matrix eingebrachten Zellen werden für definierte Zeiträume (2, 4 und 6 Wochen) in Spulen eingebracht und Magnetfeldern ausgesetzt. Kontrollgruppen werden unter normalen Kultivierungsbedingungen (ohne Magnetfelder) mitgeführt. Die Auswertung erfolgt mit histologischen, immunhistologischen und molekularbiologischen Methoden. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Expression von Aggrecan (als wichtigstem Bestandteil der Proteoglycane) in allen Gruppen nachweisbar ist und evtl. in der verum Gruppe höher exprimiert wird. Die Untersuchung mittels quantitativer PCR steht noch aus.

## 2.3 Einfluss eines 50 Hz-Magnetfeldes auf das DNA-Reparaturvermögen verschiedener Zellarten in Gehirn, Leber und Niere

Ch. Schmitz, H. Korr<sup>1</sup>; S. Merkelbach, Ch. Jakob, Ch. Mittermayer<sup>2</sup>; R. Kluge<sup>3</sup>; J. Silny

### Stand der Forschung

Lai & Singh (Bioelectromagnetics 18:156, 1997) zeigten mit biochemischer Methodik an Gesamthirn-Präparationen, dass es im Gehirn der adulten Ratte nach einer zweistündigen Exposition in einem 60 Hz-Magnetfeld bei Flussdichten zwischen 0.1 und 0.5 mT zu DNA-Einzelstrangbrüchen kommt. Für die weitere Diskussion der sich aus diesen Befunden ergebenden Konsequenzen ist es enorm wichtig zu wissen, ob die DNA-Schäden alle Zellarten des Gehirns in gleicher Weise betreffen oder aber, ob es — genauso wie nach Röntgenbestrahlung (Korr et al.: Radiat. Environ. Biophys. 28:13, 1989) — zu zellart- und arealspezifischen Unterschieden kommt. Die adäquate Methode zur Beantwortung einer derartigen Frage ist die Autoradiografie nach Injektion von <sup>3</sup>H-Thymidin, bei der das DNA-Reparaturvermögen über die bei diesem Prozess ablaufende „unscheduled DNA Synthesis“ (UDS) quantitativ und zellartspezifisch in situ erfasst wird. Darüber hinaus lässt sich über die cytoplasmatische Markierung das Ausmaß der mitochondrialen (mt) DNA-Synthese erfassen — ein Indikator für den energetischen Zustand der Zelle. Schließlich kann man über die Größe der Projektionsfläche der Zellkernanschnitte Informationen über das Zellkernvolumen und damit zur metabolischen Aktivität einer Zelle erhalten.

Die im normalen Stoffwechselgeschehen einer Zelle natürlich anfallenden nukleären (n)DNA-Schäden werden meist unmittelbar nach ihrer Entstehung repariert. Falls es zu Störungen dieser Reparaturvorgänge kommt (z.B. durch eine Magnetfeld (MF)-Exposition), ist mit Veränderungen in der DNA-

---

<sup>1</sup>Lehr- u. Forschungsgebiet Anatomie und Zellbiologie,  
Universitätsklinikum der RWTH Aachen

<sup>2</sup>Institut für Pathologie des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

<sup>3</sup>Institut für Versuchstierkunde des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

Mikrosatellitensequenz zu rechnen, die sich molekulargenetisch nachweisen lassen.

In der vorliegenden Pilotstudie an adulten Mäusen wurde mit autoradiografischen und auch molekulargenetischen Methoden die Problematik von DNA-Schäden nach einer MF-Exposition nicht nur im Gehirn, sondern auch in den wichtigen Stoffwechselorganen Leber und Niere eingehend analysiert.

## Material und Methoden

Insgesamt 20 männliche, neun Monate alte NMRI-Mäuse wurden für acht Wochen einem 50 Hz-Magnetfeld bei 1 mT ausgesetzt (siehe Abb. 1 im *femu*-Forschungsbericht 1999, S. 52). Ebenso viele gleichaltrige Nestgeschwister — gehalten unter den gleichen Bedingungen, aber ohne MF-Exposition — dienten als Kontrollen. Die Hälfte der Versuchs- und Kontrolltiere erhielt 2 h vor dem Tode eine i.p. Injektion von  $^3\text{H}$ -Thymidin. Zu den Details der Herstellung und mikroskopischen Auswertung der zugehörigen Autoradiogramme siehe den *femu*-Forschungsbericht 2000, S. 16–18. Bisher wurden im Rahmen einer medizinischen Dissertation durch Frau cand. med. Elke Keller neun Zellarten in Gehirn und Niere untersucht. Im Falle der molekulargenetischen Untersuchungen wurde aus Proben von Gehirn, Leber und Niere genomische DNA extrahiert. Die folgenden zehn Mikrosatellitenmarker, die auf verschiedenen Chromosomen liegen und auf Grund von Literaturangaben ausgewählt worden waren, wurden mittels PCR amplifiziert und gelelektrophoretisch analysiert:

1. D1 Mit4, D2 Mit16, D5 Mit10, D6 Mit8, D10 Mit2 nach Reitmair et al., 1996 (Cancer Res. 56:3842-3849)
2. D4 Mit39, D11 Mit14 nach Aldaz et al., 1996 (Mol. Carcinogenesis 17:126-133)
3. D8 Mit45, D12 Mit136 nach Fox et al., 1997 (Toxicol Appl Pharmacol 143:167-172)
4. D7 Mit17 nach De Wind et al., 1995 (Cell 82:321-330)

## **Ergebnisse**

### **DNA-Reparatur**

Im Zellkern von Neuronen in der Cortexschicht V (Pyramidenzellen), im Hippocampus (Pyramidenzellen der Areale CA1-2 sowie — gesondert — CA3; Granularzellen des Gyrus dentatus hippocampi) sowie im Cerebellum (Purkinje-Zellen; Granularzellen) fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen MF-exponierten und Kontroll-Mäusen. Dasselbe negative Ergebnis gilt auch für Gliazellen im Cortex. Dagegen war die nDNA-Reparatur statistisch signifikant erhöht ( $p < 0.05$ ) bei Epithelzellen des Plexus choroideus, möglicherweise auch in den Epithelzellen des proximalen Tubulus der Niere (Untersuchungen noch im Gange).

### **MtDNA-Synthese**

Bei keiner der bisher untersuchten Zelltypen in Gehirn und Niere fanden sich nach MF-Exposition signifikant veränderte Werte im Vergleich zu den Kontrolltieren.

### **Zellkernvolumen**

Das Zellkernvolumen (repräsentiert durch die gemessenen Projektionsflächen der Zellkernanschnitte) war nach MF-Exposition im Falle der hippocampalen Granularzellen signifikant erniedrigt. Insgesamt fand sich mit Ausnahme der kortikalen Glia- und cerebellären Granularzellen eine auffallende Parallelität (d.h. gleichsinnige Zu- oder Abnahme) zwischen DNA-Reparatur und Zellkernvolumen.

### **Mikrosatellitensequenz**

Bei keinem der untersuchten Marker fand sich ein Unterschied in den Mikrosatellitensequenzen zwischen MF-exponierten und Kontrolltieren.

## **Diskussion**

Die für Epithelzellen des Plexus choroideus und möglicherweise auch in der Niere gefundene Erhöhung der nDNA-Reparatur nach MF-Exposition bedeutet, dass

hier zum Untersuchungszeitpunkt mehr DNA-Schäden anfielen als bei den Kontrollen. Die Parallelität zwischen Zellkernvolumina und DNA-Reparatur spricht für einen Einfluss der MF-Exposition auf die metabolische Aktivität einer Zelle. Die negativen Befunde bei den Mikrosatellitensequenzen deuten darauf hin, dass das DNA-Reparaturgeschehen durch die MF-Exposition nicht in Mitleidenschaft gezogen worden ist. Daraus kann gefolgert werden, dass auch bei erhöhter DNA-Reparatur keine unreparierten DNA-Schäden, die bekanntlich folgenreich für eine Zelle sind, zurückgeblieben sind. Weitere derzeit laufende Analysen mit Hilfe der sog. „in situ nick translation“ (vgl. Korr et al.: *Int. J. Radiat. Biol.* 77:567, 2001) werden diese Frage beantworten.

## 2.4 Magnetische Stimulation in peripheren Nerven und Muskeln

K.-G. Aspacher; R. F. Töpper<sup>1</sup>; J. Silny

### Fragestellung

Der Mensch wird immer häufiger im Alltag, besonders auch im Beruf, unterschiedlichen technischen magnetischen Wechselfeldern ausgesetzt. Starke magnetische Wechselfelder erzeugen z.B. die neuartigen Induktionskochplatten oder in der industriellen Anwendung verschiedene Schweißaggregate.

Neuronen, Sinnesrezeptoren, Nerven und Muskeln können bekanntlich durch die im Gewebe magnetisch induzierten elektrischen Wirbelfelder überschwellig stimuliert werden. Die Reizschwelle hängt maßgeblich von der Anatomie und Morphologie des magnetisch durchsetzten Körperbereiches wie auch von der räumlichen Ausdehnung sowie der Frequenz bzw. der zeitlichen Form des Magnetfeldes ab.

Insbesondere für neuartige Anwendungen mit einer starken Exposition, wobei Teilkörper-Expositionen überwiegen, stellt sich die Frage nach der niedrigsten Stimulationsschwelle in den erzeugten Magnetfeldern und den im Vergleich zur Stärke der in der Praxis auftretenden Felder daraus resultierenden Sicherheitsabständen. Eine experimentelle Ermittlung dieser Kennwerte ist sehr zeit- und kostenintensiv.

Hier wird alternativ eine numerische Lösung des Problems mit der Methode der Finiten Elemente vorgestellt, die mit einer hohen Flexibilität in Bezug auf die Modellierung der Geometrie des Magnetfeldes in beliebiger Lage zum Körper sowie in Bezug auf die zeitliche Form des Magnetfeldes besticht. Das Simulationsverfahren wird für einen speziellen Fall der magnetischen Stimulation von peripheren Nerven und Muskeln der oberen Extremitäten experimentell überprüft.

---

<sup>1</sup>Neurologische Klinik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen



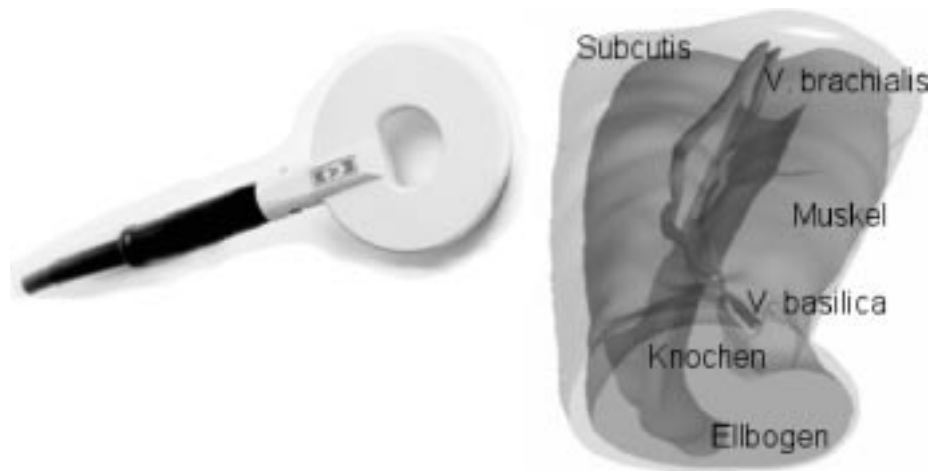


Abbildung 2.6: Modelle des Oberarms und der Reizspule

## Methode

Die magnetische Stimulation in peripheren Nerven und Muskeln der oberen Extremitäten wird numerisch mit der Methode der Finiten Elemente simuliert. Zur räumlichen Zerlegung der Reizspule und des elektrischen Volumenleiters im Oberarm (Abb. 2.6) werden nach Bedarf mehrere 100.000 bis zu einigen Mio. dreidimensionale Finite Elemente herangezogen. Einzelnen Finiten Elementen werden spezifische elektrische, dielektrische und magnetische Eigenschaften des jeweiligen Raumes zugeordnet, die Feldverteilung in jedem Element wird unter Einhaltung der Randwertbedingungen numerisch auf der Grundlage der Maxwellschen Gleichungen berechnet. Bei der Wahl der Auflösung des zu betrachtenden Raumes muss ein Kompromiss zwischen der Genauigkeit und der Dauer der Berechnung gesucht werden.

Dem Modell des Oberarms liegen anatomische Strukturen aus dem „VISIBLE HUMAN PROJECT“ zu Grunde. In diesem Computer-Modell sind Subcutis, Muskeln, Nerven, Blutgefäße, kortikale Knochen und Knochenmark berücksichtigt (Abb. 2.6).

Die elektrischen und dielektrischen Eigenschaften der Gewebe für den niederfrequenten Bereich wurden eigenen Messungen bzw. der Literatur entnommen (Tab. 2.2).

Auf dieser Grundlage wurden Modelle vom Oberarm mit unterschiedlicher Komplexität von einem einfachen homogenen Volumenleiter bis zur Berücksichtigung

Tabelle 2.2: Elektrische und dielektrische Eigenschaften von Gewebe

Gewebeart	Leitfähigkeit (S/m)	Relative Dielektrizitätskonstante
Blut	0.7000	5256
Kortikale Knochen	0.0203	1481
Knochenmark	0.0024	2444
Fett	0.0232	8024
Muskeln	0.3312	131330
Nerven	0.0304	60417

sichtigung aller Gewebearten mit ihren elektrischen Inhomogenitäten und Anisotropien aufgebaut und berechnet. Als magnetischer Reiz wurde in der Simulation ein Impuls des herkömmlichen Magnetstimulators Magstim<sup>®</sup> (Modell 9784) herangezogen, der in der Neurologie Anwendung findet. Bei diesem System entlädt sich ein auf max. 2800 V geladener 185  $\mu$ F-Kondensator über eine 24  $\mu$  H-Reizspule. Der Spitzenstrom erreicht 44.8 kA, was zu einer magnetischen Spitzenflussdichte von 2.5 T führt. Da die Simulation im Frequenzbereich erfolgt, wird der Magnetimpuls in harmonische sinusförmige Komponenten zerlegt, die einzeln berechnet und danach wieder zusammengesetzt werden. Damit können beliebige Zeitformen des Magnetfeldes untersucht werden.

## Resultate und experimentelle Überprüfung

Für die Positionierung der Reizspule flach auf der Haut des Oberarmes oberhalb des N. ulnaris und N. medianus resultieren Maxima der induzierten elektrischen Feldstärke von 93 V/m, der Stromdichte von 74 A/m<sup>2</sup> und der Gradienten von 243 V/m<sup>2</sup> in der Region der V. brachialis. In der Region des N. ulnaris ergibt sich dabei eine Feldstärke von 62.6 V/m und ein Gradient von 42 V/m<sup>2</sup>. Experimentelle Untersuchungen ergeben, dass bereits 20% dieser Maximalwerte ausreichen, um eine überschwellige Stimulation im N. ulnaris einzuleiten. Die numerische Simulation zeigt mit höher werdender Komplexität der berücksichtigten Anatomie eine gute Annäherung (Abweichung unter 10%) an die experimentell ermittelten Verteilungen der Feldstärken und Gradienten.

Die numerische Simulation der im Körper magnetisch induzierten elektrischen Felder liefert verlässliche Ergebnisse, wenn die hohe Komplexität des elektrischen Volumenleiters im Körper weitgehend berücksichtigt wird.

## 2.5 Wirkungen niederfrequenter elektrischer Felder auf den visuellen Kanal: Elektrophosphene

G. Lindenblatt, J. Silny

### Motivation

Niederfrequente elektromagnetische Felder können neben Muskeln und Nerven auch die Sinnesrezeptoren des menschlichen Körpers inadäquat erregen und damit eine ungewollte oder sogar störende Wahrnehmung auslösen. Diese Erregung der Sinnesrezeptoren soll mit wesentlich geringeren Stromdichten erfolgen, als beispielsweise bei Muskeln.

Elektro- und Magnetophosphene, Lichterscheinungen durch eine inadäquate Reizung des visuellen Kanals mittels elektrischer bzw. magnetischer Felder, sollen dabei Stromdichteschwellen von etwa  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  am Orte der Erregungsauslösung, der Retina, aufweisen: Abbildung 2.7. Dieser grob geschätzte, sehr niedrige Wert wird als Basis für allgemeine Betrachtungen der elektrischen Sicherheit herangezogen und muss deshalb genau überprüft werden.

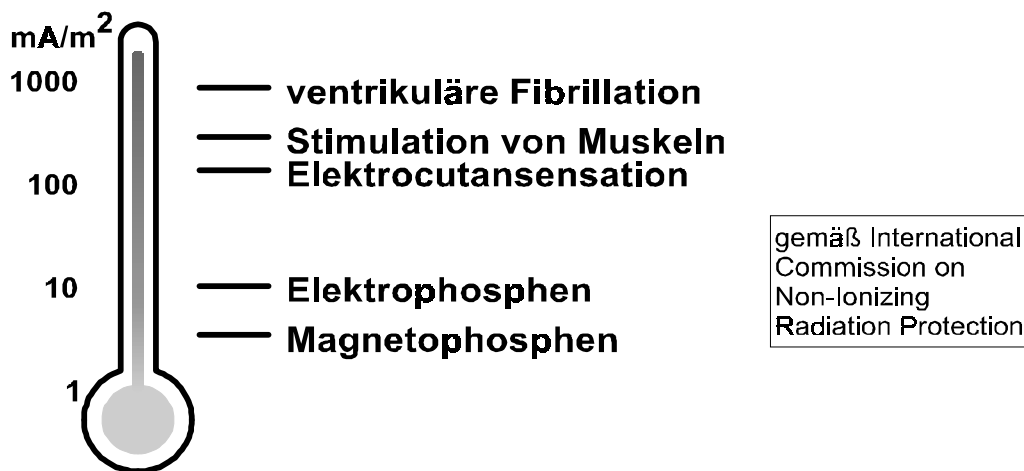


Abbildung 2.7: Stromdichten zur Auslösung verschiedene Effekte

Die Modellierung des Auges als inhomogener elektrischer Volumenleiter wurde bereits im letzten Jahresbericht beschrieben. Hier stehen die überprüfenden Untersuchungen mit Probanden im Vordergrund.

Nach *in-vitro*-Messungen der elektrischen und dielektrischen Eigenschaften aller Augengewebe und -flüssigkeiten und der numerischen Modellierung des Auges wurde eine Stromdichteüberhöhung in den Bereichen der Durchgänge der Blutgefäße in den Augapfel gefunden, die zwei Größenordnungen über den bisher allgemein angenommenen Werten liegt: für 60 Hz ergab sich eine phosphenauslösende Stromdichte von  $1.95 \text{ A/m}^2$  statt bisher in der Literatur angegebenen  $0.01 \text{ A/m}^2$ . Dieses rechnerische Ergebnis galt es im Probandenversuch zu belegen. Eine direkte Messung der Stromdichte am Erregungsort ist jedoch nicht praktikabel, die Ergebnisse der Modellierung werden indirekt bei Probanden über die Abhängigkeit der Reizschwelle von dem Strompfad überprüft.

## Probandenuntersuchungen

Die Variablen, von denen die Wahrnehmbarkeit eines Elektrophosphens abhängt, können in drei Gruppen aufgeteilt werden:

- technische Variablen
  - Stärke und Frequenz des injizierten Stromes
  - Ort der Injektion
  - Pfad der Durchströmung im Körper
- Umweltvariablen
  - Hintergrundhelligkeit
  - Betrachtungsgegenstand bzw. -muster
  - Adaptationsgrad des Auges
- mentale Variablen
  - Konzentration
  - Voreingenommenheit
  - Entscheidungstendenz

Diese Variablen wurden bei den in der Literatur gegebenen, meist phäno-

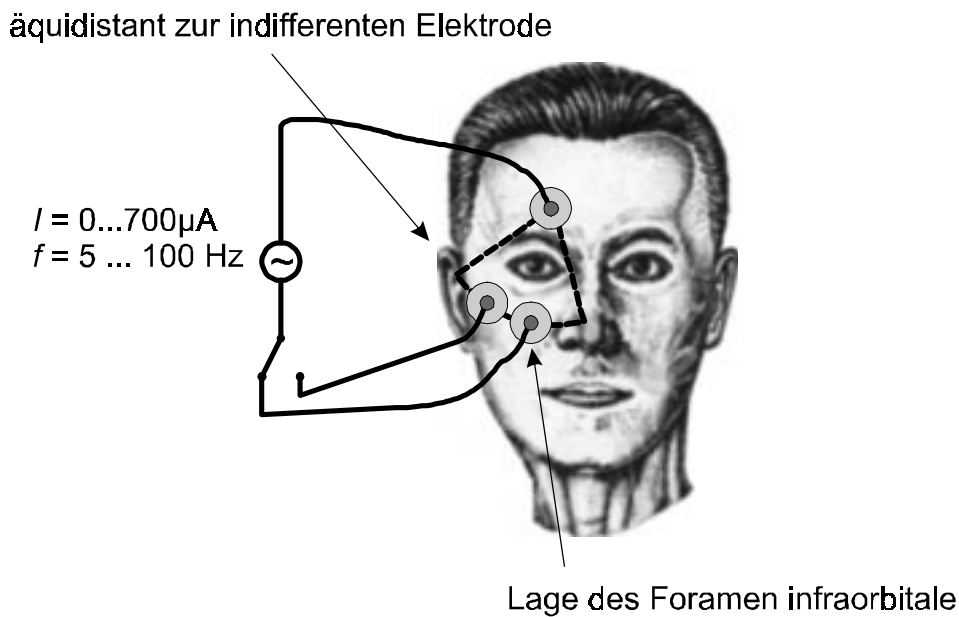


Abbildung 2.8: Zur Lage der Elektroden beim Probandenexperiment. Für die Lage der aktiven Elektrode auf dem Foramen infraorbitale ergeben sich niedrigere Stromschwellen. Dies ist ein indirekter Nachweis für die Stromdichteüberhöhung aufgrund der hohen Leitfähigkeit der Blutgefäße.

menologisch ausgerichteten Arbeiten jedoch nicht ausreichend berücksichtigt. Eigene Versuche mit Probanden wurden daher durchgeführt.

Der in der Modellierung gefundene Effekt der „Kanalisationwirkung“ der Blutgefäße kann indirekt im Probandenversuch nachvollzogen werden. Dazu wurden verschiedene Stromeinprägungspunkte gewählt. Der Aufbau ist in Abbildung 2.8 gegeben. Die indifferente Elektrode wird oberhalb des Auges im Bereich der Incisura supraorbitalis aufgeklebt. Die differente Elektrode auf einem gedachten Kreisbogen unterhalb des Auges, entweder direkt auf dem Foramen infraorbitale oder seitlich davon im Bereich des Os zygomaticum mehr distal. Bleiben die Blutbahnen bei der Leitfähigkeitsverteilung unberücksichtigt (bisherige Modelle), so ändern sich die entstehenden Stromdichten im retinalen Bereich nicht; die Stromschwelle müsste daher unverändert bleiben. Gemäß des neuen, detailgetreuen Modells müssten sich aber Unterschiede erkennen lassen.

## Ergebnisse und Interpretation

Elektrophosphene lassen sich durch Ströme zwischen  $15 \mu\text{A}$  und  $200 \mu\text{A}$  in einem Frequenzbereich zwischen 5 Hz und 100 Hz auslösen, indem ein Strom über Elektroden in der Nähe des Auges oder über Elektroden, die direkt auf dem Augapfel aufsitzen (z.B. Cornea-Kontakt-Elektroden), eingepägt wird.

Die hier bei 20 Hz, dem in vorhergehenden Versuchen gefundenen Empfindlichkeitsmaximum für Phosphene, durchgeführten Versuche ergaben eine Erniedrigung der Stromschwelle beim Aufbringen der differentiellen Elektrode auf das Foramen infraorbitale, vgl. Tabelle 2.3.

Tabelle 2.3: Beispiele für die Änderung der Stromschwelle in Abhängigkeit von Strompfad

Messung	Erregungsschwelle $I_{0.5}$		rel. Änderung
	Foramen infr.	Os zyg.	
1	$44 \mu\text{A}$	$51 \mu\text{A}$	15.9%
2	$37 \mu\text{A}$	$43 \mu\text{A}$	16.2%
3	$40 \mu\text{A}$	$49 \mu\text{A}$	22.5%

Dies kann wie folgt erklärt werden: der eingepägte Strom tritt durch das Foramen infraorbitale hindurch und folgt der Arteria infraorbitalis. Diese durchläuft die untere Region der Orbita und hat eine Vielzahl von Konnexionen zu den dortigen Blutgefäßen, welche im Allgemeinen eine hohe Leitfähigkeit aufweisen. Der eingepägte Strom folgt daher den Blutgefäßen, die u.a. den retinalen Bereich, den Entstehungsort der Phosphene, versorgen, um dann vor allem über die Vena ophthalmica superior zur Stirn und damit zur indifferenten Elektrode zurückzufinden. Ergebnisse mit gleicher Aussage fanden sich für andere Elektrodenanordnungen mit komplexeren Strompfaden.

Hauptschwierigkeit bei dieser Versuchsreihe war, dass die Schwellen der Phosphene z.B. infolge Konzentrationsänderung schwanken (s.o., mentale Faktoren). Die Untersuchungen wurden daher mit einer eigens entwickelten Intervallmaximierungsmethode, die sich an die Konstantreizmethode anlehnt, diese jedoch in den Testzeiten unterbietet, durchgeführt. Diese Methode liefert neben dem Schwellwert (Wert mit 50%iger Wahrnehmungswahrscheinlichkeit) den gesamten Schwellenverlauf zwischen 0% und 100% Wahrnehmungswahrscheinlichkeit sowie eine statistische Aussage über die Zuverlässigkeit der gefundenen

Schwelle. Die statistische Unsicherheit lag bei 3% (für LogEC50 gemäß Dose-Response-Modell), also unter den oben gefundenen Abweichungen für unterschiedliche Strompfade; die Steigung (Schwellenverlauf) änderte sich hingegen nicht.

## 2.6 Wahrnehmung elektrischer Ströme durch die Sinnesrezeptoren der Haut

G. Lindenblatt, J. Silny

### Motivation

Die Wahrnehmung eines elektrischen Ladungsflusses durch die Haut, manifestiert als ein Kribbeln, Vibrieren oder Brennen bis hin zum Schmerz in dem durchströmten Gebiet, gehört zu den bekanntesten Alltagserscheinungen der Sinneseindrücke verursacht durch niederfrequente elektrische Ströme. Diese Ströme sind nicht nur unangenehm: bei unerwartetem Auftauchen (z.B. durch Spontanentladungen) können sie Sekundärufälle verursachen (etwa durch Erschrecken). Eine wiederholte Wahrnehmung kann eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens nach sich ziehen und soll daher vermieden werden.

Für den Praktiker relevant, werden anhand der inadäquaten Erregbarkeit der Haut-Sinnesrezeptoren u.a. maximal zulässige Berührungsspannungen bzw. Entladungsströme definiert, durch die z.B. von einem elektrisch betriebenen Gerät Ströme auf einen Benutzer übergehen können. Diese unmittelbar einsichtige und auch leicht zu bestimmende Größe ist jedoch nur bedingt sinnvoll, denn sie beschreibt nicht das tatsächliche Feld innerhalb des Körpers am Sinnesrezeptor, welches zur Erregung und damit zur Wahrnehmung führt.

Die physiologisch relevante Größe der gewebeinternen, am Rezeptor wirkenden Stromdichte ist messtechnisch nicht direkt zugänglich. Es bietet sich daher ein Vorgehen in zwei Schritten an:

1. experimentelle Bestimmung einer „externen“ Stromschwelle
2. daraus Bestimmung der „internen“ Stromdichteschwelle im Modell

An dieser Stelle soll auf den ersten Schritt eingegangen werden.

Es gibt eine Anzahl an Untersuchungen zum Themenkreis Elektrocutansensationen, jedoch werden nicht alle Abhängigkeiten berücksichtigt oder klar definiert. Insbesondere wurde die Adaptation auf den inadäquaten Reiz außer Acht gelassen.



## Probandenuntersuchungen

In den Probandenuntersuchungen soll die Abhängigkeit der Schwelle von

1. Stromstärke und -form,
2. Frequenz,
3. Einwirkdauer,
4. Temperatur,
5. Hautfeuchtigkeit,
6. Elektrodenfläche und -lage sowie
7. durchströmtes Hautareal

berücksichtigt werden.

Die Probandenuntersuchungen zur Ermittlung der Stromschwelle für die Erregung einer Elektrocutansensation gliedern sich in zwei Bereiche, zum einen die Bestimmung des Einflusses der gefundenen Adaptation (vgl. *femu-*Forschungsbericht 2000) auf einen elektrischen Reiz auf die (aktuelle, zeitabhängige) Schwelle, zum anderen auf eine definierte Wahrnehmungsgrenze, die auch bei optimalen Bedingungen nicht unterschritten werden kann.

### Bestimmung der Adaptation

Eine Adaptation auf die inadäquate Erregung ist unerwünscht, denn sie erhöht die Wahrnehmungsschwelle. Gesucht ist jedoch die niedrigere Ruheschwelle.

Bei einer Stromform wie in Abbildung 2.9 wird — dem wahrnehmungsphysiologischen Sprachgebrauch folgend — jede Amplitude  $> 0$  als „Signal“ bezeichnet. Die Frage ist, ob unter den gewählten Versuchsbedingungen ein Signal der Stärke  $I_T$  (und beliebiger zeitlicher Ausdehnung) durch den Probanden wahrgenommen werden kann oder nicht. Dies hängt bei einer vorhandenen Adaptation von allen zuvor gegebenen Signalen (im Zeitintervall  $t_A$ ) sowie dem zeitlichen Abstand  $t_P$  zu ihnen ab.

Im idealen Falle sollte diese Pausenzeit so lange ausgedehnt werden, bis eine Beeinflussung der Wahrnehmungsschwelle durch Adaptation ausgeschlossen

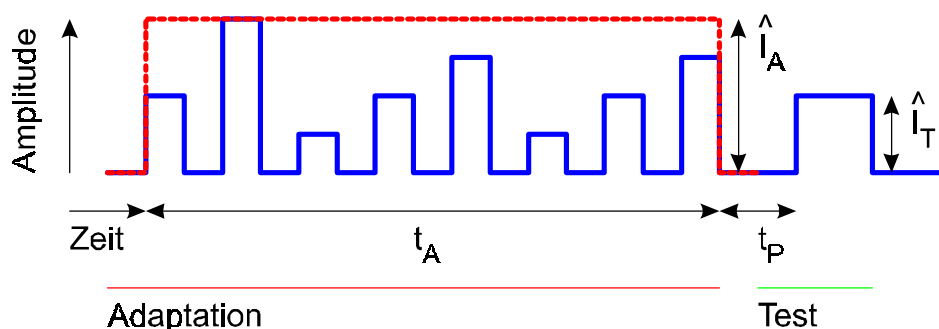


Abbildung 2.9: Signalfolge bei einem Adaptationsversuch. Die gestrichelte Linie stellt eine „worst case“-Abschätzung eines beliebigen Testsignals dar.

werden kann, d.h. die Testsignalhöhe  $I_T$  ist minimal. Untersuchungen zeigten hierbei sowohl ein Kurzzeit- als auch ein Langzeitverhalten, letzteres mit Zeitkonstanten im Minutenbereich, welche beim Einhalten der Pausen die Versuchszeit über ein akzeptables Maß hin ausgedehnt hätten.

Betrachtet man jedoch ein einzelnes Signal einer fortgeführten Untersuchung (mit nur kurzen Pausen zwischen den Testsignalen), so kann man alle vorausgegangenen Signale zu einem einzigen anhaltenden „worst case“-Adaptationssignal zusammengefasst werden: gestrichelte Linie in Abbildung 2.9. Untersuchungen mit solchen Signalfolgen zeigten eine relative Schwellenänderung, die schließlich in eine Sättigung übergeht.

### Schwellenbestimmung

Bereits während der Adaptationsuntersuchungen zeigte sich, dass die subjektiv angegebenen Schwellen der einzelnen Probanden in einem viel stärkeren Maße von dem aktuellen Befinden des Probanden abhing als etwa bei den Phosphen-Untersuchungen. Es wurde daher eine Methode gesucht, die von einer subjektiven, individuellen Bewertung unabhängig ist bzw. diese Bewertung eliminiert. Hierfür wurde die in der Psychologie entwickelte Signalerkennungstheorie (signal detection theory, SDT), welche ursprünglich für adäquate Reize entwickelt wurde, auf die inadäquate Reizung übertragen.

Eine mittels des confidence rating-Verfahrens durchgeführte Untersuchung ist exemplarisch in den Bildern 2.10 bis 2.12 skizziert. Grob gesagt ist es das vorrangige Ziel der SDT nicht, „eine Schwelle“ zu finden, sondern eine Reiz-

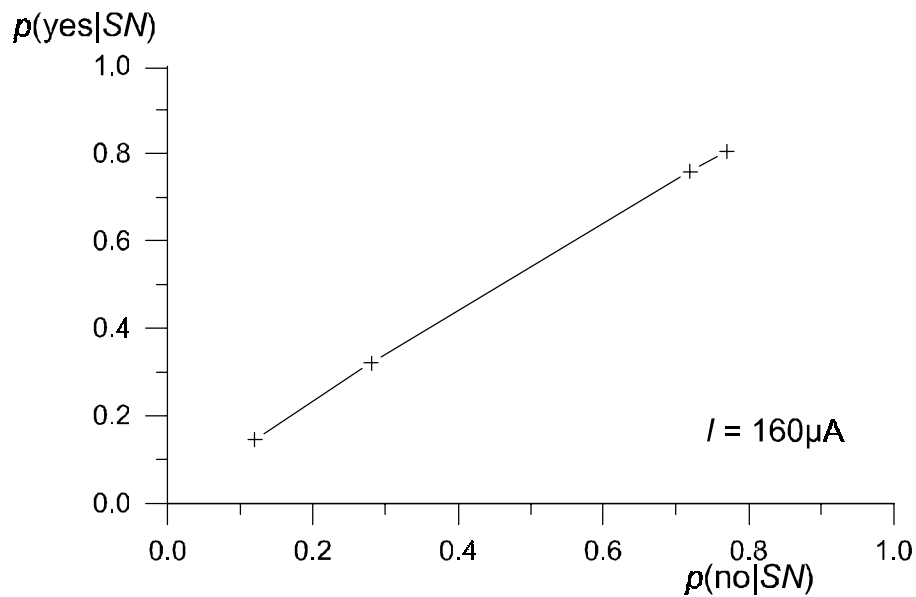


Abbildung 2.10: Receiver operating characteristic-Diagramm eines Probanden bei einer Reizstärke von  $I = 160 \mu\text{A}$  (rms) bei  $f = 50 \text{ Hz}$ . Die Winkelhalbierende bedeutet, daß der Proband nicht zwischen Signal und Blindversuch unterscheiden kann.

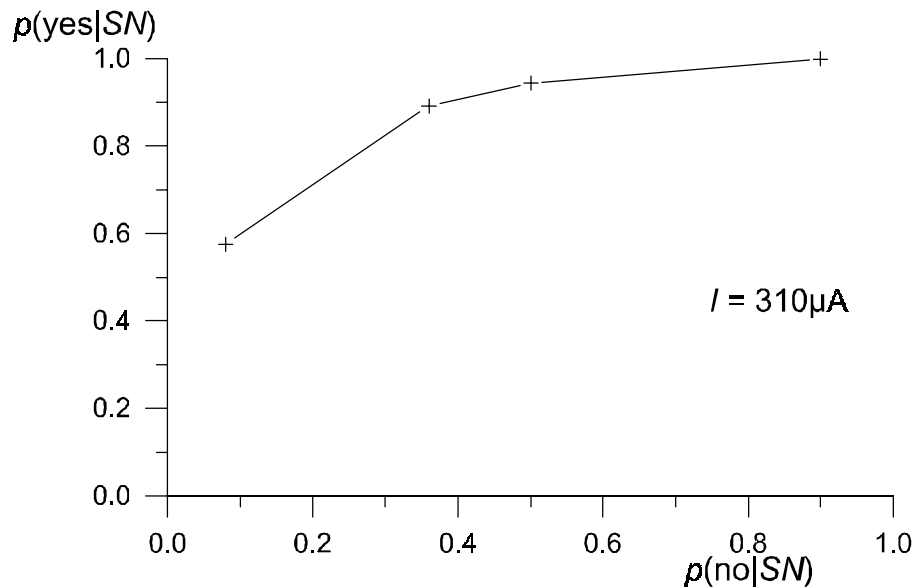


Abbildung 2.11: Receiver operating characteristic-Diagramm des selben Probanden, jedoch bei der Reizstärke  $I = 310 \mu\text{A}$  (rms).

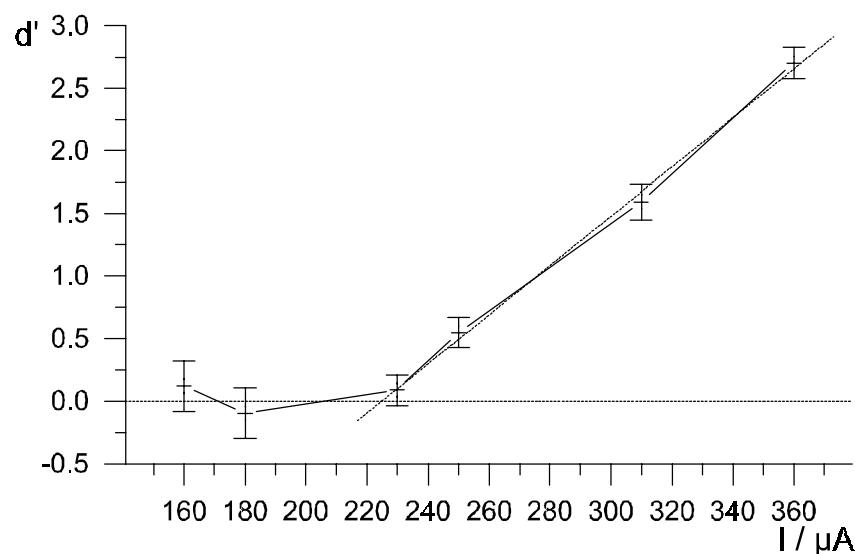


Abbildung 2.12: Auswertung des Detektierbarkeitsmaßes  $d'$  aus den obigen und weiteren Messungen.

stärke, bei der sich das Antwortverhalten des Probanden statistisch ändert. Aus den einzelnen receiver operating characteristic-Kurven (kurz ROC-Kurven) kann dann eine von dem Antwortverhalten des Probanden unabhängige, kriteriumsfreie Größe ermittelt werden, das Detektierbarkeitsmaß  $d'$ . Es ergibt sich aus der experimentell bestimmten Wahrscheinlichkeit  $p(\text{yes}|SN)$ , dass der Proband ein Signal wahrnehmen konnte, und der Wahrscheinlichkeit  $p(\text{no}|SN)$ , dass er kein Signal wahrnehmen konnte. Kann der Proband kein Signal erkennen, so ergibt sich im ROC-Diagramm eine Ursprungsgerade (Abbildung 2.10); ein hohes, deutlich merkbares Signal hingegen kann sicher bemerkt werden (Abbildung 2.11).

Hier interessiert die Reizstärke (Stromstärke), für welche die Wahrnehmbarkeit, also das Detektierbarkeitsmaß  $d'$ , gerade zu Null wird (Abbildung 2.12). Unter den im Experiment gewählten Bedingungen kann unterhalb dieser Stärke der Proband nicht unterscheiden, ob ein Strom fließt oder nicht. Dies ist aber genau die gesuchte Eingangsgröße für die Stromdichtebestimmung.

Die Vorteile der SDT sind

- Trennung von subjektiven und objektiven Variablen bei der Schwellsuche und

- ein vom Probanden nicht beeinflussbares Ergebnis.

Die in der SDT verwendeten Methoden besitzen jedoch auch Nachteile, so ist

- eine aufwendige, rechenintensive Auswertung notwendig, die eine Kontrolle unmittelbar nach der Messung (Erfolgskontrolle) vereitelt, und
- das gesamte Verfahren ist, da es zur statistischen Auswertung einer Vielzahl von Probandenantworten bedarf, sehr zeitintensiv.

## Ergebnisse

Die hier angewandte Signalerkennungstheorie liefert eine Wahrnehmbarkeitsgrenze für den Strom statt einer subjektiv gewählten Schwelle, bei der noch eine Wahrnehmung vorhanden ist. Dieser Wert liegt, je nach Proband, 20 – 80% niedriger als die klassisch bestimmte Schwelle. Für die Einspeisung eines Stromes am Zeigefinger auf einer Elektrodenfläche von  $1 \text{ cm}^2$  fand sich beispielsweise eine Wahrnehmbarkeitsgrenze von  $170 \mu\text{A}$  (rms) bei 50 Hz sinus. Wie oben beschrieben, ist diese durch eine während des Versuchs einsetzende Adaptation höher als die unadaptierte Schwelle. Gemäß Adaptationsmessungen kann diese „unbelastete“ Schwelle zu  $120 \mu\text{A}$  (rms) rechnerisch korrigiert werden. Dieser Wert dient als Eingangsgröße für die numerische Bestimmung der am Rezeptor wirkenden Stromdichte. Er liegt deutlich unter den zurzeit gesetzlich geltenden Vorschriften von  $500 \mu\text{A}$  im NF-Bereich, die allgemein als Grenze einer Wahrnehmbarkeit gelten.

## 2.7 Herzschrittmacher in niederfrequenten magnetischen Feldern des Alltags

A. Scholten, J. Silny; C. Stellbrink<sup>1</sup>

### Problematik

Träger elektronischer Implantate wie z.B. Herzschrittmacher treffen in ihrem Alltag und z.T. auch im beruflichen Umfeld auf elektrische, magnetische oder kombinierte elektromagnetische Felder, die weder sichtbar noch fühlbar sind. Beispiele für Quellen solcher Felder sind Hochspannungsfreileitungen (elektromagnetisch), Diebstahlsicherungsanlagen (magnetisch) oder Oberleitungen der Deutschen Bahn (magnetisch). Die elektrischen und magnetischen Komponenten können dabei sehr unterschiedlich ausfallen. Aus diesem Grunde werden bei unserer Vorgehensweise die elektrischen und magnetischen Felder zunächst getrennt voneinander betrachtet, um sie in einem weiteren Schritt nach tatsächlichen Gegebenheiten zu Feldern mit unterschiedlich starker elektrischer und magnetischer Komponente zusammenzuführen. Diese Vorgehensweise ist nötig und vorteilhaft, da im Niederfrequenzbereich die Einkopplung in den menschlichen Körper im Falle des elektrischen und des magnetischen Feldes sehr unterschiedlich sind und unabhängig voneinander stattfinden. Zur Abschätzung des Gefahrenpotenzials von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern des Alltags für Herzschrittmacherpatienten wurden bereits im Forschungsbericht 2000 die Ergebnisse bezüglich des elektrischen Wechselfeldes präsentiert. Wie im Falle der niederfrequenten elektrischen Felder ist auch bei der Einschätzung des Störpotenzials der niederfrequenten Magnetfelder kein allgemein akzeptierter Wissensstand vorhanden. Zum Beispiel wird das Herzschrittmachersystem nur als eine geschlossene Leiterschleife angesehen, was bei genauer Betrachtung der Anordnung im Oberkörper falsch ist.

### Induktion von Störspannungen im Körper

Abbildung 2.13a zeigt schematisch einen menschlichen Oberkörper, der homogen mit einem auf seiner Oberfläche senkrecht stehenden niederfrequenten Ma-

---

<sup>1</sup>Medizinische Klinik I des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

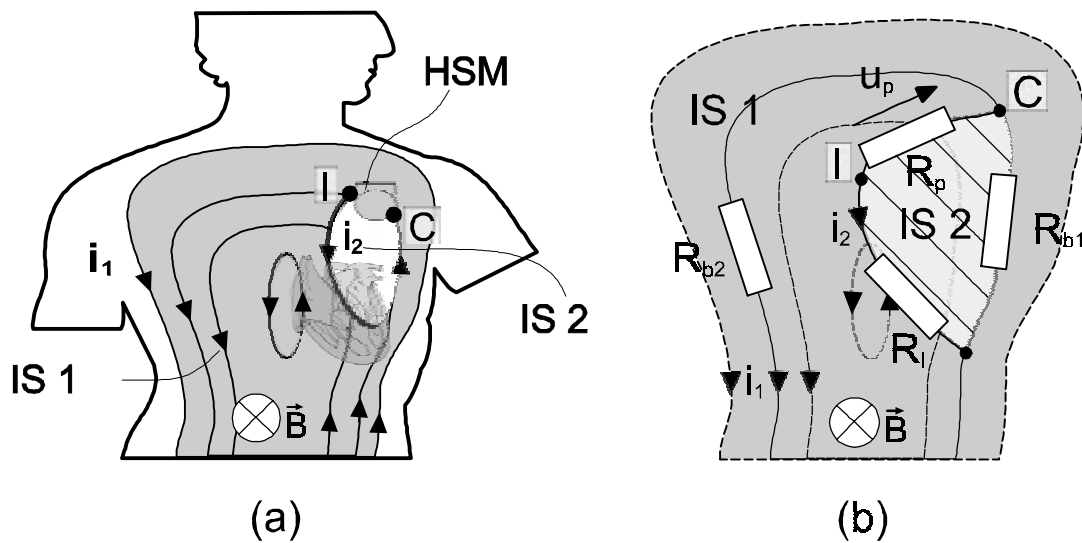


Abbildung 2.13: Induktionsmechanismus in einem Thorax mit einem unipolaren, linkspektoral implantierten Herzschrittachersystem: (a) Induktionsschleife IS 1 repräsentiert die Körperschleife; die HSM-Elektrode-Gewebe-Schleife ist als IS 2 gekennzeichnet. (b) Zeichnung eines vereinfachten Ersatzschaltbildes. Die Markierungen „I“ und „C“ bezeichnen korrespondierende Positionen in (a) und (b)

gnetfeld durchsetzt wird. In Abbildung 2.13b ist ein Ersatzschaltbild (ESB) dargestellt, das die Induktionsschleifen eines implantierten Herzschrittachersystems aus elektrotechnischer Sicht wiedergibt.

Im Oberkörper ist linkspektoral ein unipolares Herzschrittachersystem implantiert. Das Herzschrittachersystem besteht zum einen aus dem Herzschrittacher (HSM) selbst, der in Abbildung 2.13b durch den Widerstand  $R_p$  repräsentiert wird. Zum anderen besteht das HSM-System aus der Elektrode (Widerstand  $R_l$ ), die einerseits die elektrischen Stimulationsimpulse zum Herzen führt und andererseits die elektrische Eigenaktivität des Herzens ableitet. Zusammen mit einem Gewebestück (Widerstand  $R_{b1}$ ) zwischen dem Herzschrittachergehäuse und dem Elektrodenkopf spannt das HSM-System eine Induktionsfläche auf. Sowohl in Abbildung 2.13a als auch in Abbildung 2.13b ist diese Induktionsfläche mit ‘IS 2’ bezeichnet. Eine weitere Induktionsschleife ‘IS 1’ wird durch den elektrisch leitfähigen Oberkörper aufgespannt. Wie aus den Abbildungen 2.13a und 2.13b erkennbar, haben die beiden Induktionsschleifen ‘IS 1’ und ‘IS 2’ ein gemeinsames Leiterstück in Form des Gewebes zwischen Herzschrittachergehäuse und Elektrodenspitze (Widerstand  $R_{b1}$ ). Dieser Umstand

legt die Vermutung nahe, dass beide Schleifen einen Einfluss auf die induzierte Spannung am HSM-Eingang haben. Dadurch wäre die bisherige Betrachtung des HSM-Systems als eine geschlossene Induktionsschleife völlig unzureichend. Eine weitere offene Frage ist die Größenordnung der Induktionsfläche, die durch Herzschrittmachersysteme aufgespannt wird. Zum Teil wird in der Literatur ein Maximalwert von  $570 \text{ cm}^2$  angenommen. Andere Studien legen eine Induktionsfläche von etwa  $200 \text{ cm}^2$  zugrunde. Da zwischen diesen beiden Werten ein Faktor von fast 3 liegt, besteht auch hier ein Klärungsbedarf.

## Experimentelle Überprüfung

Die experimentelle Überprüfung der Störanfälligkeit von Herzschrittmachern in magnetischen Wechselfeldern wird in drei wesentlichen Schritten vorgenommen. Der erste Schritt sind Benchmarktests, die die Störspannung eines Herzschrittmachers für Signale bestimmter Form und Frequenz liefern. In einem weiteren Schritt werden Untersuchungen in anatomisch gerechten Nachbildungen des Körpers mit simulierten HSM-Systemen durchgeführt, um die durch ein äusseres magnetisches Wechselfeld induzierte Spannung am Eingang eines Herzschrittmachers zu bestimmen. Die Untersuchungen mit dem Trogmodell lassen die Ermittlung der äquivalenten Induktionsflächen von HSM-Systemen zu. Ferner lassen sich anhand der Ergebnisse Effekte bei der induktiven Einkopplung in Herzschrittmachersysteme erklären. Die Kombination der Ergebnisse aus Benchmark-Tests und Trogmodelluntersuchungen schließlich liefert Störschwellen für implantierte Herzschrittmacher in niederfrequenten Magnetfeldern, die in einem abschließenden dritten Schritt an Probanden überprüft werden müssen.

Zur Bestimmung der induzierten Spannung am Eingang eines implantierten Herzschrittmachers und der Induktionsfläche von HSM-Systemen wird ein Trogmodell dem magnetischen 50 Hz-Feld einer Helmholtzspulen-Anordnung ausgesetzt. Das Trogmodell ist ein Abguss eines Probandenoberkörpers und wird mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt (vgl. Abbildung 2.14). Zwei unterschiedliche Herzschrittmachersysteme werden simuliert: ein linkspectorales und ein rechtspectorales unipolares Zweikammersystem. Die anatomisch richtige Position des Herzschrittmachers und der anatomisch richtige Verlauf der Herzschrittmacherelektrode im Körper werden Röntgenbildern entnommen. Es stehen Röntgenbilder der frontalen und der sagittalen Ebene zur Verfügung,



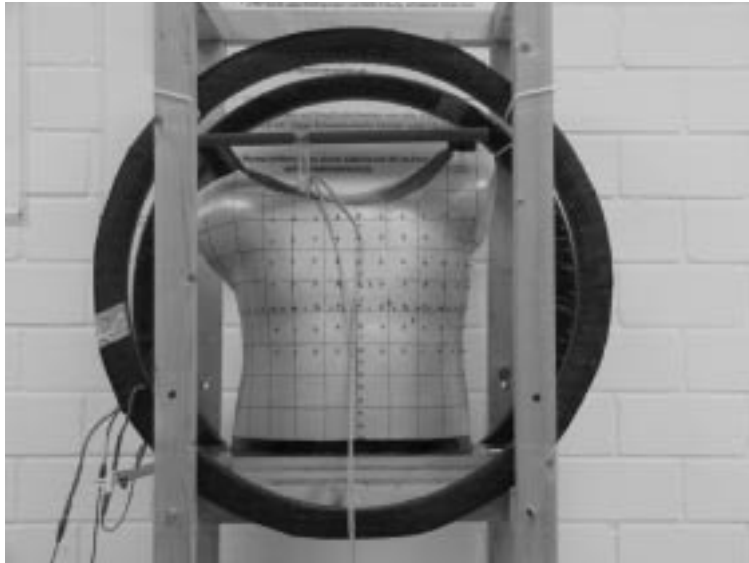


Abbildung 2.14: Das Trogmodell, positioniert im Zentrum der Helmholtzspulenordnung.

wodurch eine dreidimensionale Nachbildung im Modell möglich ist. Anhand der Röntgenbilder werden vier Simulationsanordnungen konstruiert: jeweils eine für das linkspektoral und das rechtspektoral implantierte atrial und ventrikulär gesteuerte unipolare HSM-System.

Die Simulationsanordnung besteht aus zwei gleichförmigen Induktionsschleifen: einer Referenzschleife und einer HSM-Schleife. Beide Schleifen bestehen aus Kupferlackdraht, wobei die Referenzschleife im Gegensatz zur HSM-Schleife die gleiche dreidimensionale Form wie die HSM-Systeme besitzt.

Das Verbindung zwischen Elektrodenkopf und HSM-Gehäuse wird als der kürzest mögliche Weg ebenfalls durch Kupferlackdraht nachgebildet (vgl. Abbildung 2.15). Die beiden Enden der Referenzschleife werden mit einem typischen Eingangswiderstand  $R_r$  des HSM abgeschlossen. Die Schleife, die das HSM-System simuliert, besteht aus einem HSM-Gehäuse und einer originalen HSM-Elektrode. Die HSM-Schleife ist ebenfalls in dem Gehäuse mit einem Widerstand  $R_p$  abgeschlossen, der den Eingangswiderstand des Eingangsverstärkers des Herzschrittmachers simuliert. Sowohl die HSM-Elektrode als auch das HSM-Gehäuse werden an der Referenzschleife befestigt. Dabei wird die HSM-Elektrode entlang der Referenzschleife geführt, wie in Abbildung 2.15 zu erkennen ist. Das Stück zwischen Herzschrittmachergehäuse und Elektrodenspit-

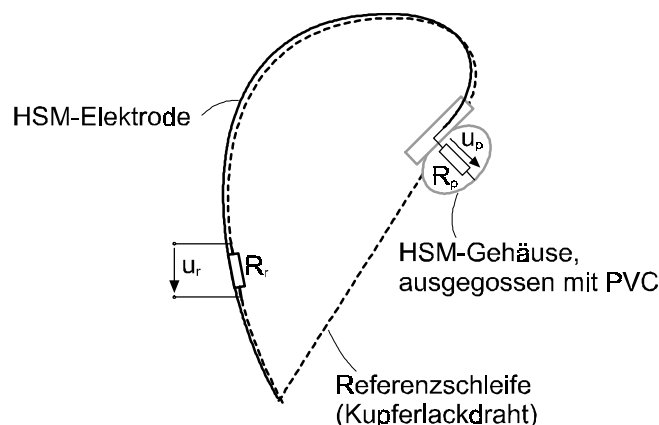


Abbildung 2.15: Die Simulationsanordnung des linkspektoral implantierten, ventrikulär gesteuerten unipolaren HSM-Systems. Die Referenzschleife aus Kupferlackdraht ist durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

ze, das im Falle der Referenzschleife durch Kupferlackdraht nachgebildet wird, bleibt nun wie auch beim realen HSM-System offen.

Die Simulationsanordnung wird in das Trogmodell zunächst so eingebracht, dass sie eine den Röntgenbildern entsprechende realitätsgetreue Position im Körper einnimmt. Währenddessen werden die durch das Magnetfeld in die Schleifen induzierten Spannungen von den Widerständen  $R_p$  und  $R_r$  abgegriffen.

Die in beiden Schleifen induzierten Spannungen werden für verschiedene horizontale Verschiebungen gemessen.

## Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigen, dass die bisherige Betrachtung des Herzschrittmachersystems als eine geschlossene Induktionsschleife nicht die tatsächlichen Gegebenheiten im menschlichen Körper in hinreichender Form wiedergibt. In einer guten Übereinstimmung ergeben die theoretischen Abschätzungen wie auch die Messungen im Modell, dass sich die in die Induktionsschleifen HSM-System und Oberkörper induzierten Spannungen je nach der Position im Körper mehr oder weniger überlagern. Durch diese Superposition wird in Abhängigkeit von der Implantationslage die Störspannung am Eingang des Herzschrittmachers höher oder niedriger ausfallen.

Eine weitere aus den Messungen ersichtliche, wichtige Erkenntnis ist, dass der bisher angenommene und in zahlreichen Untersuchungen zugrunde gelegte Wert

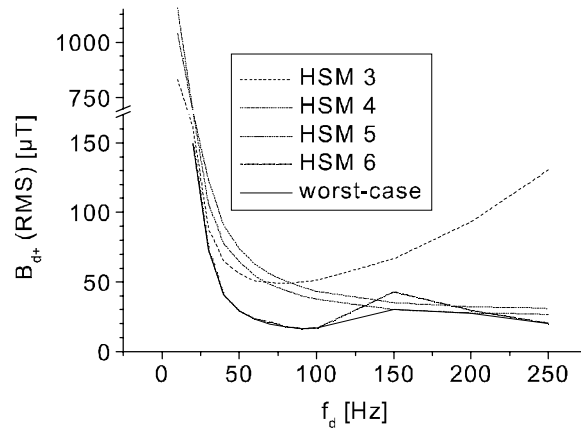


Abbildung 2.16: Störschwellen im magnetischen Wechselfeld in Abhängigkeit von der Frequenz. Zugrunde gelegt ist ein linkspektoral implantiertes, atrial gesteuertes unipolares HSM-System mit einer Empfindlichkeit von 1 mV.

von  $570 \text{ cm}^2$  für das Maximum der resultierenden Induktionsfläche eines HSM-Systems im Körper übertrieben ist und vielmehr im Bereich von  $220$  bis  $250 \text{ cm}^2$  liegt.

Abbildung 2.16 zeigt den Verlauf der durch die Untersuchungen im Modell abgeleiteten Störschwellen am Beispiel von vier linkspektoral implantierten, atrial gesteuerten unipolaren HSM-Systemen mit einer Empfindlichkeit von 1 mV. Es ist zu erkennen, dass der Störschwellenverlauf bei den einzelnen Implantaten sehr unterschiedlich ist. Bei Herzschrittmacher ‘HSM 3’ steigt die Störschwelle nach Erreichen eines Minimums bei etwa 60 Hz mit steigender Frequenz wieder. Bei den anderen Aggregaten sinkt sogar die Störschwelle tendenziell mit steigender Frequenz. Bei der sehr praxisrelevanten Frequenz von 50 Hz liegt der ‘worst-case’-Schwellenwert für die magnetische Induktion bei etwa  $30 \mu\text{T}$  (RMS). Bei einer Störfrequenz von 218 Hz, die häufig bei Diebstahlsicherungsanlagen (EAS-Systemen) anzutreffen ist, liegt die ungünstigste Störschwelle auch in dieser Größenordnung. Eine weitere im Alltag anzutreffende Frequenz ist die der Deutschen Bahn mit  $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ . In diesem Fall liegt die Störschwelle bei etwa  $100 \mu\text{T}$  (RMS) (vgl. Abbildung 2.16). Die Maximalwerte der magnetischen Flussdichte, die von den oben genannten Störquellen ausgehen kann, sind in Tabelle 2.4 aufgelistet.

Der Vergleich mit den erwähnten, aus Abbildung 2.16 entnommenen Stör-

Tabelle 2.4: Maximale Flussdichten von dominierenden niederfrequenten magnetischen Feldern des Alltags.

Quelle	Flussdichte $B_{max}$	Frequenz $f$
Hochspannungsfreileitung	$60 \mu\text{T} (RMS)$	50 Hz
EAS-System	$800 \mu\text{T} (RMS)$	218 Hz
Zug	$55 \mu\text{T} (RMS)$	$16\frac{2}{3}$ Hz

schwelen liefert, dass die Störung eines Herzschrittmachers durch die Felder von Hochspannungsfreileitung und insbesondere von EAS-Systemen durchaus eintreten kann. Im Falle der Felder der Deutschen Bahn AG scheint der HSM-Patient hinreichend sicher zu sein. Diese Erkenntnisse unterliegen jedoch auch Einschränkungen, die im Folgenden aufgeführt sind. Die beispielhaft vorgestellten Ergebnisse für das linkspektorale, atrial gesteuerte HSM-System stellen bei unseren Untersuchungen den „worst-case“ dar, der selten vorkommt. Die untersuchten Systeme sind unipolar. Gerade im Falle der vorhofgesteuerten Systeme geht der Trend eher zu bipolaren Elektroden, bei denen sich die Störschwellen im Vergleich zu unipolar betriebenen Systemen deutlich erhöhen. Daher sollten bipolare Elektroden grundsätzlich dann implantiert werden, wenn der Implantatträger z.B. in seinem Beruf starken elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist. Eine Reihe von Herzschrittmachern, was auch aus Abbildung 2.16 zu erkennen ist, weisen im Gegensatz zum hier zugrunde gelegten „worst-case“ eine gute Störfestigkeit auf und können z.T. durch kontinuierliche sinusförmige Signale nicht inhibiert werden. Diese Typen sollen bei Gleichwertigkeit anderer Eigenschaften bevorzugt implantiert werden. Trotz dieser Einschränkungen bleibt die Erkenntnis, dass Herzschrittmacherimplantate durch niederfrequente magnetische Felder des heutigen Alltags beeinflusst werden können. Dies ist umso wichtiger, wenn bedacht wird, dass bei den bisherigen Ergebnissen das gleichzeitige Einwirken eines elektrischen und eines magnetischen Feldes oder der gleichzeitige Betrieb mehrerer Quellen noch nicht berücksichtigt ist. Zur Klärung dieser Fragen besteht weiterer Forschungsbedarf.

## **2.8 Störung medizinischer Implantate durch mehrere unabhängige hochfrequente Felder**

J. Silny; K. Martin, V. Hombach<sup>1</sup>

### **Problematik**

Mit der rapiden Verbreitung des Mobilfunks steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass an einigen Orten, z.B. im Zug, mehrere Handys oder andere Quellen niederfrequenter und hochfrequenter elektromagnetischer Felder in naher Umgebung eines Implantatträgers gleichzeitig betrieben werden. Es ist bekannt, dass bereits einzelne Handys elektronische Implantate, wie z.B. Herzschrittmacher oder Insulinpumpen, stören können, wenn der gegenseitige Abstand unter 20 cm liegt. Dagegen ist völlig unklar, wie sich die Beiträge mehrerer unabhängiger hochfrequenter und niederfrequenter Quellen bezüglich der Störschwelle eines Implantats addieren und welche Sicherheitsabstände bei örtlicher Häufung der Quellen elektromagnetischer Felder zur Vermeidung einer Störung von Implantaten nötig sind. Zur Klärung der Superposition mehrerer unabhängiger hochfrequenter Felder in der Elektronik des Implantats, die zum Erreichen der Störschwelle führt, werden hier als ein Aspekt der Problematik exemplarische Benchmark-Test-Untersuchungen mit Herzschrittmachern vorgestellt.

### **Verhalten der Implantat-Elektronik im starken hochfrequenten Feld**

Eine Reihe von Implantaten ist mit elektronischen Schaltkreisen ausgestattet, die die elektrischen Signale von Sensoren verschiedener vitaler Charakteristika verstärken, verarbeiten und/oder die Applikation elektrischer Reize im Körper ermöglichen. Dabei ist die Elektronik an das niederfrequente Spektrum der Körper-Signale angepasst, im Idealfall soll sie nicht auf hochfrequente Signale reagieren. Experimente zeigen jedoch, dass sie insbesondere für starke hochfrequente Signale eine Nichtlinearität und ein starkes Tiefpassverhalten

---

<sup>1</sup>DeTeMobil Deutsche Telekom MobilNet GmbH, Darmstadt

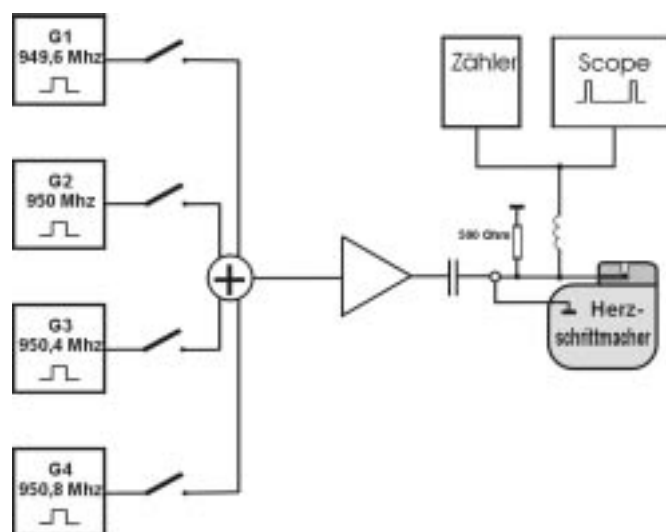


Abbildung 2.17: Testanordnung der Herzschrittmarker-Benchmarktests

aufweisen. Mit diesem nichtlinearen Verhalten werden in dem Implantat die niederfrequente Umhüllende des hochfrequenten Signals hervorgehoben und die hochfrequenten Anteile stark gedämpft. Auf diese Weise können in der Elektronik des Implantats, z.B. beim Betrieb eines Handys in der nahen Umgebung, Störkomponenten von 2 Hz, 8 Hz oder 217 Hz entstehen, die bei einer entsprechenden Amplitude einen Herzschrittmarker sogar inhibieren können. Bei einem gleichzeitigen Betrieb mehrerer Handys in der unmittelbaren Umgebung des Implantatträgers werden in der Implantat-Elektronik nicht nur die niederfrequente Umhüllende einzelner hochfrequenter Signale, sondern auch ihre Produkte und ihre Schwebungen wirksam. Dabei stellt sich die Frage, welchen Anteil einzelne hochfrequente Signale und insbesondere ihre Demodulationsprodukte zu einer Störschwelle des jeweiligen Implantats beitragen.

## Benchmark-Tests mit Herzschrittmachern

Die Testanordnung ist in Abb. 2.17 skizziert. Der mit einem den Körper repräsentierenden 500  $\Omega$ -Widerstand abgeschlossenen Herzschrittmarker-Eingang wird alternativ von einem, zwei, drei oder vier Generatoren mit hochfrequentem Signal angesteuert. Die Frequenzen der einzelnen hochfrequenten Signale sind versetzt, die Generatoren 2, 3 und 4 werden gleichzeitig alternativ mit 2 Hz, 8 Hz und 217 Hz pulsmoduliert oder ohne Modulation betrieben. Die Am-

plituden aller Generatoren sind gleich, wobei sie in der Summe verstärkt oder gedämpft werden können. Das Ergebnis der Messung ist die Amplitude der jeweiligen hochfrequenten Störsignale bei einer gegebenen Modulation, die zu einer Störung des Herzschrittmachers führt.

Mehr als 50 ältere und moderne Herzschrittmacher wurden nach diesem Verfahren getestet. Die Resultate zeigen übereinstimmend, dass einzelne oder zusammengesetzte hochfrequente Felder im Herzschrittmacher alle bekannten Störungen, von Umschalten auf den festfrequenten Betrieb über temporäre bis zu vollständiger Inhibition, verursachen können. Die Störschwelle ist stark typenabhängig, wobei auch einige neue Implantate eine relativ hohe Störanfälligkeit auf elektromagnetische Felder aufweisen. Die Beiträge zur Störschwelle mehrerer unabhängiger hochfrequenter Quellen addieren sich mit ihrer Leistungsdichte und nicht, wie zunächst angenommen, mit ihren Feldstärkenamplituden. Diese Feststellung ist wesentlich für die Festlegung der zulässigen Leistungen mehrerer unabhängiger hochfrequenter Quellen, die an einem Ort betrieben werden. Auf diese Weise kann die nachfolgend erforderliche Überprüfung des Eindringens der unterschiedlichen Quellen hochfrequenter und niederfrequenter Felder in den Körper und in Implantate anhand von Modellen sowie in Untersuchungen mit Probanden und Patienten durchgeführt werden. Der Störpegel bzw. die vorhandenen Sicherheitsabstände können für eine beliebige Anzahl unabhängiger hochfrequenter Quellen aus dem quadratischen Mittelwert der im Implantat einzeln erzeugten Beiträge der elektrischen Feldstärke ermittelt werden.

## 2.9 Ausbau und Pflege der Wissensbasierten Literaturdatenbank (WBLDB)

F. Klubertz, R. Wienert, Th. Göttgens, M. Vassileva, Th. Marquardt, J. Silny sowie externe Experten

### Einleitung

Die „Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder mit dem Organismus“ stellt den Versuch dar, mittels moderner Datenbank- und Internet-Technologien den aktuellen Wissensstand der wissenschaftlichen Literatur zu dem interdisziplinären Themenkomplex biologischer Wirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) fortlaufend zu erfassen. Dies dient sowohl als Grundlage für die Formulierung und Beantwortung aktueller Fragestellungen als auch für die Beurteilung des aktuellen Status Quo auf diesem Forschungsgebiet. Dabei werden die folgenden Zielsetzungen verfolgt:

- möglichst vollständige Erfassung der publizierten wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der Wirkungen hoch- und niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Organismus
- Extraktion der relevanten physikalischen, biologischen und medizinischen Inhalte nach einheitlichen Kriterien durch Fachleute
- Experten-Bewertung der Qualität der Publikationen sowohl einzeln als auch im Kontext ihres Themas („Rating“)
- öffentliche und kostenlose Bereitstellung der gewonnenen Informationen über das Internet für Fachleute
- vollständige inhaltliche Unabhängigkeit, d.h. keine thematischen Vorgaben oder Beschränkung auf bestimmte Zeitschriften, soweit qualitative Mindestvoraussetzungen erfüllt sind
- größtmögliche Transparenz im Auswahl- wie auch im Auswertungsprozess der Publikationen
- möglichst zeitnahe Aufnahme aktueller Artikel sowie die schrittweise Einarbeitung älterer Publikationen



## Verfahren

Um den aktuellen Wissenstand auf diesem Gebiet effektiv erfassen und abbilden zu können, ist eine Reihe von Arbeitsschritten erforderlich, die auf Grund der gewonnenen Erfahrungen laufend angepasst und verbessert werden:

- Recherche nach themenspezifischen Publikationen über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus, Implantate und Körperhilfen in Bibliotheken, Online-Katalogen und Datenbanken. Auswertung der Literaturangaben bereits vorhandener Artikel, um noch nicht erfasste Publikationen auf zu finden sowie Aufbau und Abfolge der zuvor durchgeführten Experimente nachvollziehbar zu halten
- Beschaffung von für relevant befundenen, bereits publizierten Artikeln aus wissenschaftlichen Zeitschriften (bevorzugt „peer-reviewed“) und detaillierten Arbeitsberichten als Papier- oder elektronische Kopie sowie ihre Archivierung in der lokalen *femu*-Bibliothek. Gesammelt werden ebenfalls Übersichtsartikel („reviews“) und wissenschaftliche Korrespondenz („comments, letters, replies“), nicht aber Abstracts, verschriftete Vorträge, Kongress-Berichte, Zusammenfassungen aus Poster-Sessions etc.
- Vorsortierung der Artikel in eine der drei Hauptkategorien „medizinisch-biologische“, „technisch-dosimetrische“ oder „epidemiologische“ Publikationen
- weitere Unterteilung nach inhaltlichen Gesichtspunkten innerhalb der Hauptkategorien „medizinisch-biologisch“, d.h. Zusammenfassung von Arbeiten über Blut-Hirn-Schranke, Biomembranen, Zentralnervensystem, Krebsgeschehen in vivo oder in vitro, Enzymaktivität, Hormonhaushalt etc.
- Kennzeichnung der erfassten Artikel und Import mit ihren bibliografischen Angaben als Datensätze in die WBLDB, wo sie den Nutzern online zur Verfügung stehen
- Extraktion der Expositionscharakteristika der einzelnen Artikel, die den bestehenden Datensätzen hinzugefügt werden

- Zusammenfassung einer Anzahl von Artikeln aus einem Themenbereich, Export als Datenpaket und Versand an Experten für dieses Fachgebiet
- Extraktion der Inhalte der Artikel in strukturierter Form und Bewertung der Qualität der einzelnen Artikel durch die Experten
- Re-Import der bearbeiteten Artikel in die WBLDB und Bereitstellung der „Online-Reports“ im Internet. Zur Nutzung des gesamten Umfangs der WBLDB ist eine einmalige, kostenlose Anmeldung erforderlich. Die angegebenen Daten dienen ebenso wie zwei online durchgeführte Umfragen der besseren Einschätzung der unterschiedlichen Nutzerkreise und der laufenden Anpassung des Angebots an deren Bedürfnisse

## Status

### Literatur

Bei Redaktionsschluss dieses Beitrags (ca. ein Monat vor Ende des Berichtszeitraums), sind in der WBLDB ca. 5.470 Publikationen datentechnisch erfasst; davon sind 5.252 bereits nach ihren inhaltlichen Schwerpunkten kategorisiert, auf die zutreffenden Profile verteilt und somit für den Nutzer verwendbar. Mit ca. 1.100 neu hinzu gekommenen Artikeln ist der für Ende 2001 geplante Stand erreicht; von ihnen stammen etwa 350 Arbeiten aus dem HF-Bereich (1 MHz - 300 GHz) und ca. 500 aus dem NF-Bereich (0 - 1 MHz). Weitere 210 bereits recherchierte Artikel befinden sich derzeit im Beschaffungs- bzw. Kategorisierungsprozess.

Die 5.252 zum jetzigen Zeitpunkt verfügbaren Publikationen sind unterhalb der Hauptkategorien den vorhandenen Profilen, wie aus Abbildung 2.18 ersichtlich, zugeordnet.

Der derzeitige Bestand, geordnet nach Jahrgängen, wird in Abbildung 2.19 angezeigt. Hier ist anzumerken, dass von den genannten 210 Publikationen, die derzeit kategorisiert werden, ca. 70 aus dem laufenden Jahr stammen. Damit liegt der tatsächliche Bestand an Publikationen aus dem Jahr 2001 bei etwa 260 Stück.

Die Anzahl der Zeitschriften, in denen relevante Artikel zur Thematik gefunden wurden, hat sich im vergangenen Jahr auf jetzt 845 (124 mehr als im Vorjahr) erhöht. Die Zeitschrift „Bioelectromagnetics“, in der die meisten und

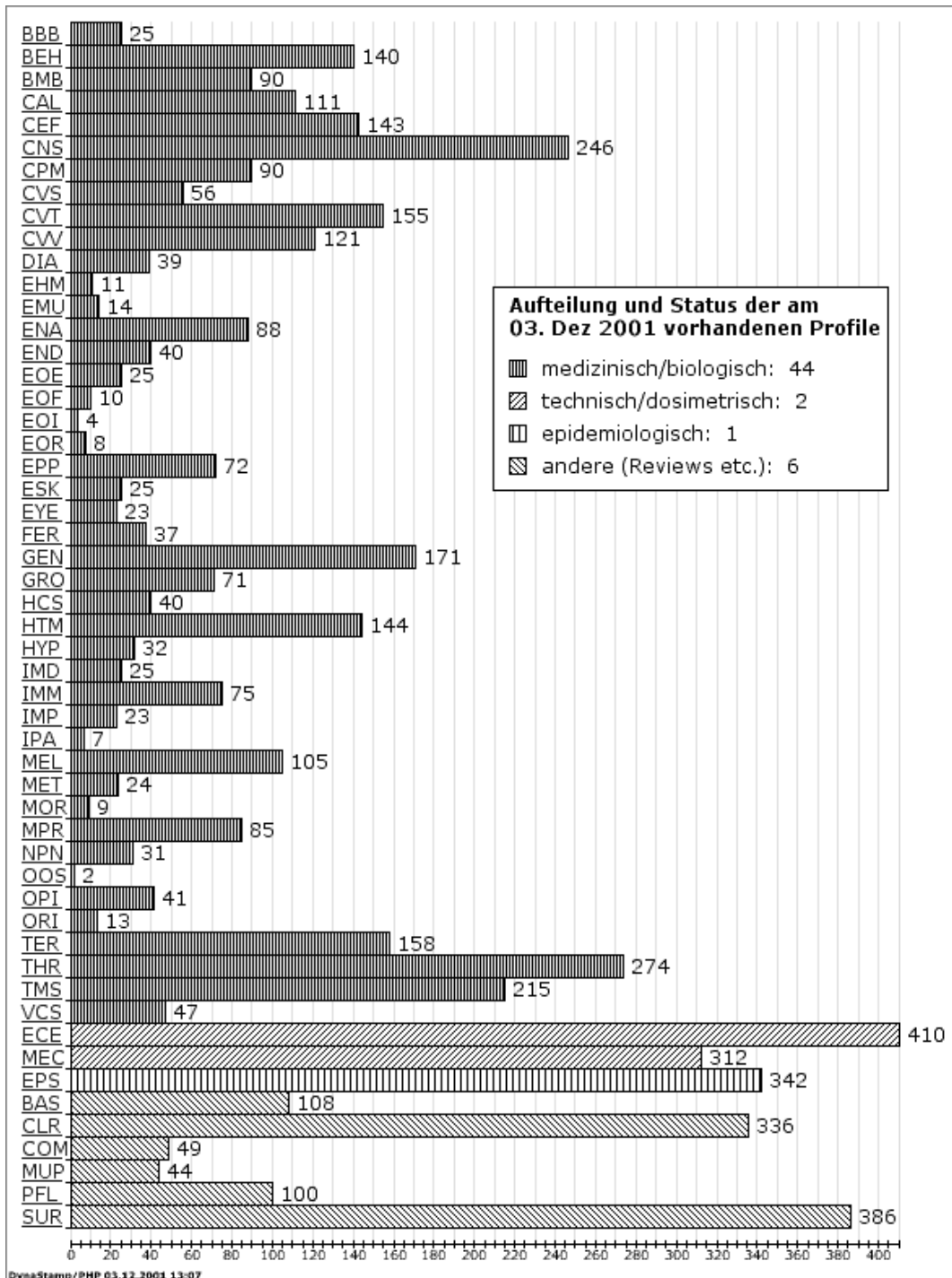


Abbildung 2.18: Profile der WBLDB und ihr aktueller Füllstand

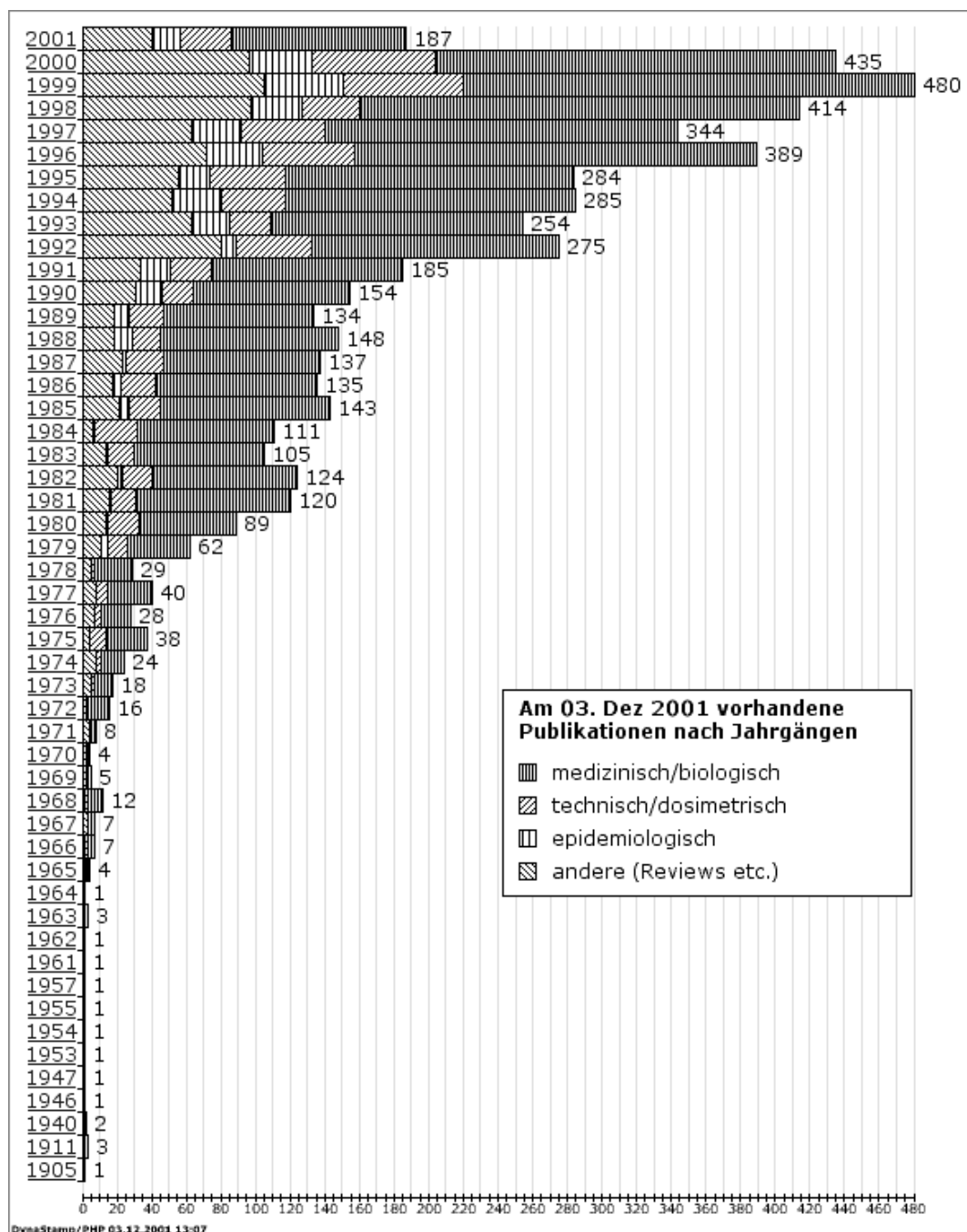


Abbildung 2.19: Bestand an gespeicherten Publikationen nach Jahrgängen

wichtigsten themenspezifischen Beiträge veröffentlicht werden, ist mit einem Bestand von 1.120 Publikationen praktisch vollständig in der WBLDB erfasst. Erwartungsgemäß führt „Bioelectromagnetics“ weiterhin die Liste der 20 wichtigsten Journals an, die mit zusammen rund 2.550 Artikeln (Vorjahr 2.000) über 50% der bisher erfassten Publikationen enthalten. Mehr als die Hälfte der in diesem Jahr neu erfassten Artikel stammt aus 20 Journals.

In der WBLDB werden nun insgesamt etwa 10.300 Autoren (Vorjahr 8.100) geführt, von denen 3.255 als Erstautoren Artikel verfasst haben. Die ersten 40 dieser Erstautoren haben zusammen genommen etwa 730 eigene Artikel verfasst und waren an ca. 1.600 weiteren Publikationen als Co-Autoren beteiligt. Dies bedeutet, dass fast 50 Prozent aller bisher gesammelten Arbeiten von weniger als einem Prozent der Autoren verfasst wurde.

Am Bewertungsprozeß der Publikationen haben sich im Jahr 2001 sechs neu gewonnene Experten beteiligt. Sie haben knapp über 100 Publikationen nur aus dem Hochfrequenzbereich fertig gestellt, so dass auch hier das gesteckte Ziel erreicht werden konnte. Damit liegen zur Zeit rund 700 Bewertungen mit über 1.000 Untersuchungen in der Datenbank vor und stehen als Online-Reports zur Verfügung. Der Abschluß von rund 80 zur Zeit in Bearbeitung befindlichen Bewertungen steht noch aus.

## **Nutzung**

Die Anzahl der freiwillig registrierten Nutzer, die häufig mit der WBLDB arbeiten, hat sich im vergangenen Jahr auf 516 (Vorjahr: 250) verdoppelt; die Zahl der Teilnehmer an der Online-Umfrage nach beruflicher Herkunft bzw. Selbsteinschätzung des Vorwissens ist auf rund 1.850 Personen (Vorjahr: 870) angestiegen.

Aus der Auswertung der Zugriffsstatistiken ergibt sich, dass die Inanspruchnahme des Online-Angebots der WBLDB weiterhin kontinuierlich steigt: mit einem Spitzenwert von 38.000 (Vorjahr 28.000) und einem Durchschnitt von rund 26.000 (Vorjahr 12.000) Zugriffen pro Woche hat sich die Zahl gegenüber dem Vorjahr etwa verdoppelt (siehe Abbildung 2.20).

Voraussetzung für diese umfängliche Nutzung der WBLDB war die kontinuierliche Pflege aller Hard- und Software-Komponenten (einschließlich regelmäßiger Updates aller System-, Backup- und Sicherheits-Software). Da die Menge

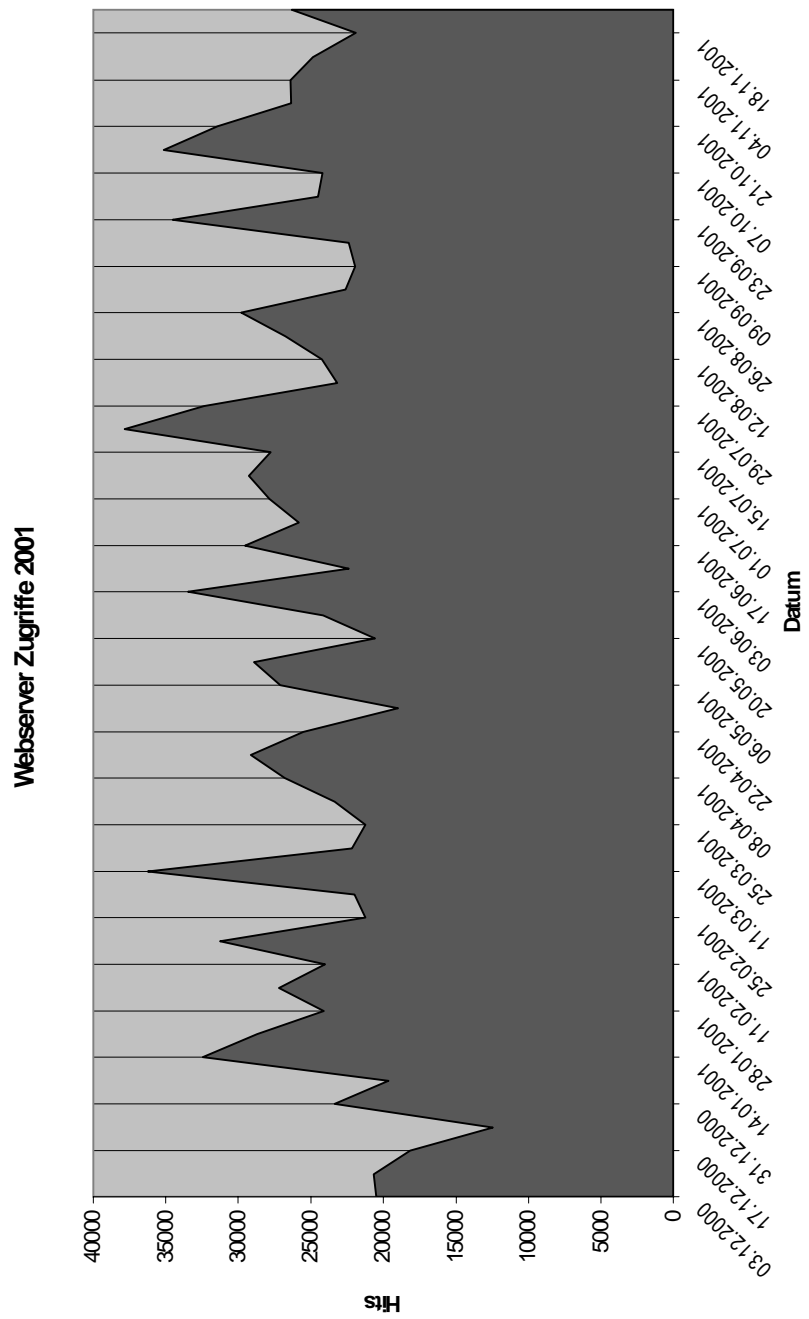


Abbildung 2.20: Jahresverlauf der Zugriffe auf den Webserver

der über den *femu*-Server übertragenen Daten im vergangenen Jahr auf fast 9 GigaByte angewachsen ist (das entspricht ca. 2.700 gefüllten Aktenordnern oder ca. 1,5 Mio. A4-Seiten), brachte die erfolgte Geschwindigkeitsoptimierung der Datenübertragung eine wesentliche Verbesserung der Zugriffszeiten mit sich.

## 2.10 Erarbeitung und Implementierung eines neuen Zweiges der WBLDB für „Epidemiologische Studien“

R. Wienert; J. Schütz<sup>1</sup>; J. Silny

### Struktur der WBLDB

In der „Wissensbasierten Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus (WBLDB)“ soll die wissenschaftliche Literatur über Wirkungen elektromagnetischer Felder auf Gesunde und auf Patienten erfasst werden. Dabei muss der unterschiedlichen Struktur verschiedener Veröffentlichungstypen Rechnung getragen werden. Der Aufbau der Datenbank ist modular und erlaubt das Hinzufügen neuer „Untersuchungs-Zweige“ (siehe Abbildung 2.21).

Bislang waren die Zweige medizinisch/biologische und technisch/dosimetrische Untersuchungen implementiert. Der Zweig für epidemiologische Studien wurde dieses Jahr in Zusammenarbeit mit dem „Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz“ neu konzeptioniert, entwickelt, getestet und schließlich auch eingesetzt.

Die gemeinsamen Merkmale aller Publikationen (bibliographische Angaben und Expositionscharakteristika — d.h. Angaben über die Befeldung) werden bei allen Arbeiten in den gleichen Datenstrukturen (Tabellen) aufgenommen. Je nach Art der in der Publikation beschriebenen Untersuchung werden die Untersuchungsangaben und -informationen in speziell dafür entwickelte Datenbankstrukturen eingetragen.

### Vorgehen bei der Erstellung eines neuen „Datenbankzweiges“

Um den Aufwand und die Komplexität bei der Neuimplementierung eines Untersuchungszweiges nachvollziehen zu können, werden im folgenden die einzelnen

---

<sup>1</sup>Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation  
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz



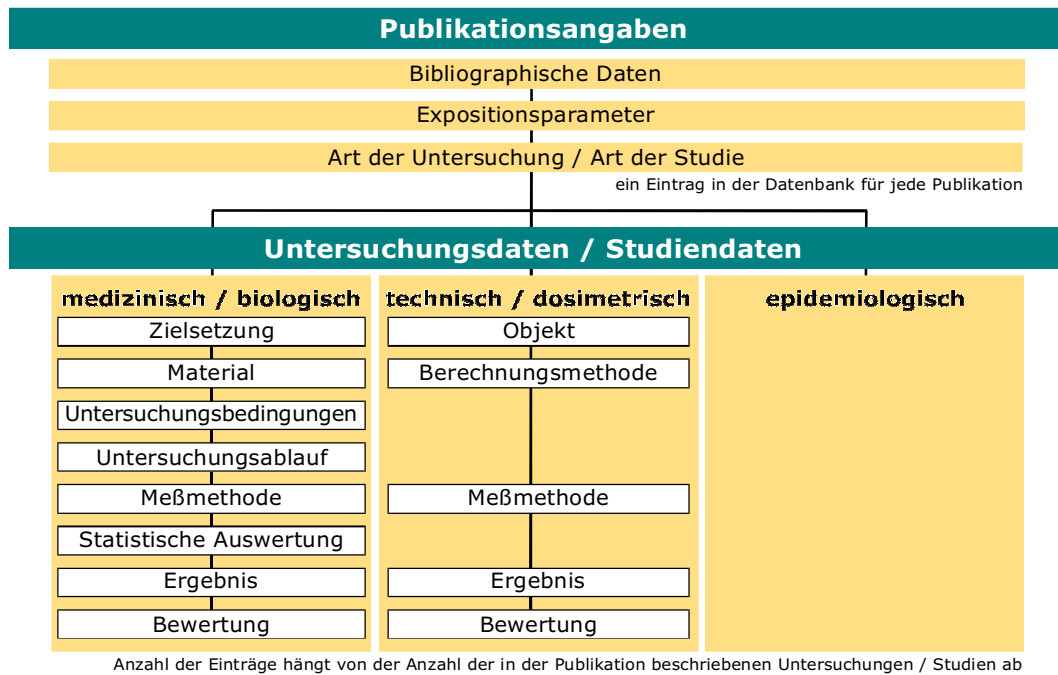


Abbildung 2.21: Bisherige Struktur der WBLDB — der Zweig „epidemiologische Studien“ war vorgesehen, aber noch nicht implementiert

Schritte von der Konzeption bis zum Einsatz des fertigen Programms aufgezählt und erläutert.

### 1. Auswahl eines Experten

Zunächst muss ein ausgewiesener Experte gefunden werden, der einen umfassenden Überblick über die Thematik hat und bereit ist, bei der Erstellung mitzuarbeiten.

### 2. Konzeptionierung

Die Erstellung eines Konzeptes ist die wohl schwierigste Aufgabe bei der Erstellung eines neuen Zweiges. Hier muss evaluiert werden, welche verschiedenen Studienarten im betreffenden Themenkomplex vorkommen können und welche Informationen innerhalb dieser Studienarten wiederum später dediziert in die Datenbank eingetragen werden sollen. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, einen idealen Kompromiss zwischen Detailgrad und Übersichtlichkeit zu finden. Je höher der Detailgrad, desto präziser werden später die Berichte über die Publikationen; mit dem De-

tailgrad steigt jedoch auch die Komplexität des zu erstellenden und bedienenden Programmes; dies wiederum wirkt sich negativ auf die Bereitschaft von Experten aus, sich mit in das Auswertungsprogramm einzuarbeiten.

Weiterhin ist die gezielte Suche in einer zu detaillierten Datenbankstruktur nicht nur aufwendig und schwierig, sondern erzielt auch mitunter nicht die gewünschten Ergebnisse, da oftmals vom Anwender in den falschen (Detail-)Feldern gesucht wird.

### 3. Softwareimplementierung

Zur Programmierung gehört nicht nur die Erstellung des eigentlichen Dateneingabeprogrammes, sondern auch die Schaffung entsprechender Datenstrukturen zur Aufnahme der Extraktionen und Bewertungen.

Zunächst wird eine lokale Datenbank erstellt, die alle denkbar möglichen Daten des formulierten Konzeptes aufnehmen kann. Anschließend wird auf der Grundlage der Datenbank eine Eingabeschnittstelle programmiert, die verschiedene Funktionalitäten aufweisen muss: Eingabevalidierungen, konditionale Eingabemasken (z.B. wenn Studienart „X“ ausgewählt, sollen nur Eingabemasken „A“, „F“ und „T“ zur Verfügung stehen), Kopierfunktionen von Datenbankeinträgen etc. Nach ersten bestandenen Funktionstests muss schließlich noch eine Setup-Routine entwickelt werden, die die lokale Datenbank und das Eingabeprogramm auf den Anwendungsrechner kopiert und einrichtet. Diese Installationsroutine ist nötig, um Datenbanklinks und -pfade in der Systemkonfiguration des Expertenrechners zu konfigurieren.

### 4. Testphase

Der Experte überprüft die Funktionalität und die Übereinstimmung zwischen seiner Konzeption und der programmiertechnischen Umsetzung. Zusätzlich werden erste Publikationen testevaluiert; hierbei ergeben sich zu meist noch Strukturveränderungen und -verbesserungen.

### 5. Revision

Die in der Testphase auftretenden Probleme werden behoben und die letzten Veränderungen an Struktur und Programm werden vorgenommen, bevor das Evaluierungswerkzeug ein letztes Mal getestet wird.

## 6. Erstellung von Import-/Exporttools und eines Reportgenerators

Nachdem die Datenbankstruktur in ihrer endgültigen Version vorliegt, muss schließlich noch die Möglichkeit geschaffen werden, die vom Experten lokal eingegebenen Daten in die von uns eingesetzte Oracle-Datenbank zu importieren. Zudem müssen die eingegebenen bzw. importierten Daten auch für den Internet-Nutzer sichtbar gemacht werden. Dies geschieht mit Hilfe von Skripten, welche die in der Datenbank enthaltenen Informationen dynamisch (d.h. auf Anforderung) in einen verständlichen Report umsetzen.

Nach Durchführung aller genannten Schritte kann das Programm bei ausgewählten Experten eingesetzt werden. Es kann schließlich mit der Extraktion und Bewertung von Studien und Untersuchungen im entsprechenden Themenkomplex begonnen werden.

## **Entwicklung des Zweiges „Epidemiologische Studien“**

Die Oberfläche zur Dateneingabe des epidemiologische Zweiges wurde, um auch Epidemiologen im internationalen Bereich zu einer Zusammenarbeit motivieren zu können, ausschließlich in englischer Sprache entwickelt.

Die Datenbankstruktur besteht aus 29 Tabellen mit bis zu 35 verschiedenen Datenbankfeldern. Je nach Studientyp werden mit Hilfe von Registerblättern verschiedene Formulare zur Dateneingabe eingeblendet. In einem Studientyp nicht benötigte Formulare werden zur besseren Übersichtlichkeit ausgeblendet (Abbildung 2.23).

Für jede Studienart werden die Hauptcharakteristika („study characteristics“ — Abbildung 2.22) angegeben. Je nach Studientyp („study type“ — Abbildung 2.23) werden dann die zugehörigen Formulare angezeigt.

Um die Komplexität auch nur ansatzweise verständlich machen zu können, werden im folgenden die in der Implementierung möglichen Studientypen und Formulare aufgezählt.

Studientypen:

- feasibility study (Machbarkeitsstudie)
- hypothesis (Hypothese)

**Epidemiological Studies**  
 Funch DP, Pothman KJ, Loughlin JE, Dreyer NA. in: Epidemiology 1996; 7 (3): 299 - 302  
 Utility of Telephone Company Records for Epidemiologic Studies of Cellular Telephones  
 (Brief reports)

EPS-00004-PN

study character | study parts | study type

area(s) of research / endpoint(s)

Carcinogenicity

childhood leukemia and lymphoma  
 childhood brain tumor  
 other childhood cancer  
 adult leukemia and lymphoma  
 adult brain tumor  
 adult breast cancer  
 other adult cancer  
 all cancers

non-cancer health effects

neurodegenerative diseases  
 cardiovascular diseases  
 suicide and depression  
 reproductive effects and pregnancy outcomes  
 other, please specify

disorders

symptoms of discomfort  
 sleep disturbances  
 mood disturbances  
 hypersensitivity  
 other, please specify

methodological-epidemiological research - on the association of EMF with

socio-economic factors  environmental factors  different methods of exposure assessment

area(s) of exposure

residential/environmental  occupational  personal (individual)  
 other, please specify

study setting

study population: 10,000 cellular phone users

study location: country/countries: USA; region(s): California

observation period: 1994-1995

study period: 2 year

Abbildung 2.22: Bildschirmansicht der Programmoberfläche zur Eingabe der Extraktionen und Bewertungen von epidemiologischen Studien

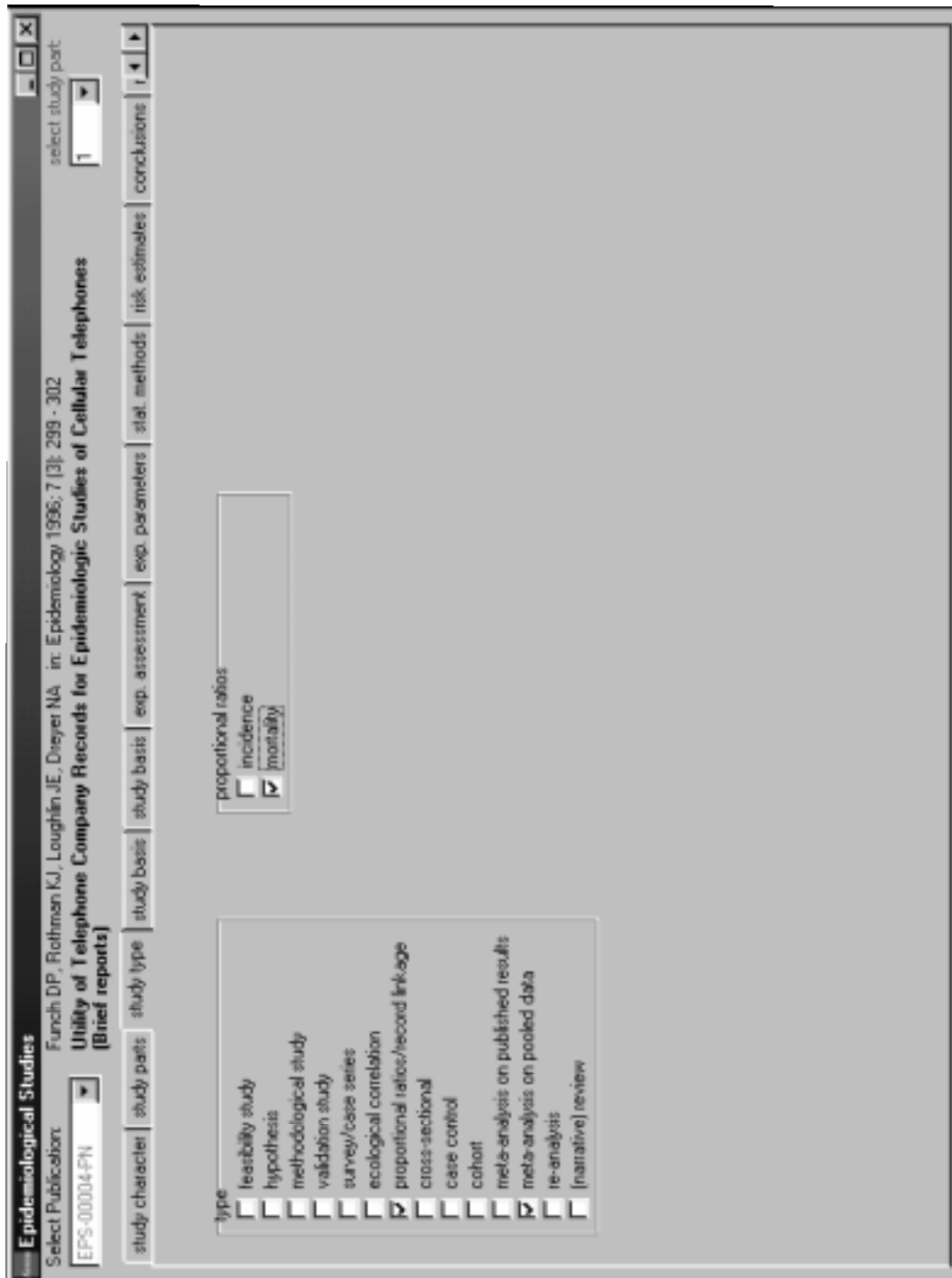


Abbildung 2.23: Bildschirmansicht der Programmoberfläche zur Eingabe der Extraktionen und Bewertungen von epidemiologischen Studien: Auswahl der verschiedenen Studientypen — je nach Auswahl erscheinen verschiedene Registerblätter

- exposure study (Expositionsstudie)
- validation study (Validierungsstudie)
- survey/case series (Survey-/Fallstudie)
- correlation study (Korrelationsstudie)
- proportional ratios/linkage (Record Linkage-Studie)
- cross-sectional (Querschnittsstudie)
- case control (Fallkontrollstudie)
- cohort (Kohortenstudie)
- meta-analysis on published results (Literaturbasierte Meta-Analyse)
- meta-analysis on pooled data (auf Originaldaten basierende Meta-Analyse)
- re-analysis (Re-Analyse)
- (narrative) review (Review/Übersichtsartikel)

Je nach Studientyp zur Verfügung stehende Formulare:

- rational/objectives (Rational/Ziele)
- reasons for reanalysis (Gründe für eine wiederholte Analyse)
- study basis (I–IV) (Studiengrundlage 6 verschiedene Formulare)
- exposure assessment (I–II) (Expositionsbewertung 2 verschiedene Formulare)
- exposure parameters (Expositionsparameter)
- statistical methods (Statistische Methoden)
- results: risk estimates (Ergebnisse: Risikoabschätzung)
- results: narrative (Ergebnisse: Bericht)

- conclusions (Folgerungen)
- ratings (I–VIII) (Bewertung 8 verschiedene Formulare)
- rating (Gesamtbewertung)

Durch die erfolgte Implementierung kann nun mit der Extraktion und Bewertung der wichtigsten epidemiologischen Studien über die Wirkung hoch- und niederfrequenter Felder begonnen werden. Weiterhin konnten durch die Entwicklung des Zweiges über „Epidemiologische Studien“ wichtige Erfahrung für die Erstellung weiterer Zweige gesammelt werden. Beispielsweise wäre es wünschenswert, einen Zweig über die „Störbeeinflussung von Implantaten“ zu erstellen.

## 2.11 Informationsportal über die Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen — basierend auf der WBLDB

R. Wienert, F. Klubertz, M. Dobel, T. Göttgens; C. Spreckelsen<sup>1</sup>; J. Silny

### Problematik

Die WBLDB besteht derzeit aus den Extraktionen und Bewertungen von Publikationen, die von Experten der entsprechenden Wissensgebiete vorgenommen wurden. In erster Linie decken diese Daten den Informationsbedarf von Wissenschaftlern und Fachleuten, die gerade die Detailtreue und -tiefe der zur Verfügung gestellten Informationen schätzen. Über das Internet haben zwar alle Interessierten Zugriff auf sämtliche Daten der WBLDB, aufgrund der hohen Komplexität und vielen technischen und medizinischen Sachbegriffe kann aber nicht jeder Nutzer die Inhalte und Aussagen der wissenschaftlichen Publikationen nachvollziehen und richtig interpretieren. Um gewünschte und genaue Suchergebnisse zu erhalten, müssen zudem die Abfragen an die Datenbank bisher nicht nur sehr gezielt gestellt werden, sondern setzen ebenfalls Fachkenntnisse voraus. Bei der Suche wird häufig nach sehr allgemeinen Begriffen (z.B. „Krebs“) gefragt, die zugrunde liegenden Publikationen verwenden jedoch detaillierte Fachbegriffe („Karzinom“, „Leukämie“, „Tumor“ etc.). Aus diesen Gründen sind die Datenbankinhalte ohne zusätzliche Hilfsmittel für Nichtfachleute nur sehr schwer zu erschließen.

Eine weitere Schwierigkeit in der Nutzung der Datenbank liegt in der Interdisziplinarität des behandelten Themas. Selbst Fachleute kommen meist entweder aus dem Gebiet der Medizin/Biologie oder der Technik/Dosimetrie und haben oft Verständnisprobleme des jeweils anderen Sachgebiets.

Schließlich wird die Wissensbasierte Literaturdatenbank derzeit ausschließlich in englischer Sprache entwickelt und betrieben, da nahezu die gesamte Fachliteratur in Englisch publiziert wird und in deutschsprachigem Gebiet nicht ausreichend Experten für die Extraktion und Bewertung zur Verfügung stehen;

---

<sup>1</sup>Institut für Medizinische Informatik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen



dies führt zu einem weiteren Verständnisproblem für den nicht versierten Nutzer.

## Umfrage

Um ein Wissensportal für heterogene Nutzergruppen aufbauen und die Benutzerfreundlichkeit der Such- und Präsentationstechniken optimieren zu können, müssen der Informationsbedarf und das Kompetenzniveau der verschiedenen Nutzergruppen bekannt sein. Zur Erhebung dieser Daten wird der Nutzer der Datenbank auf der Webseite ermutigt, an einer Umfrage teilzunehmen und entsprechende Fragebögen auszufüllen. Nach erfolgter Teilnahme kann anschließend das Umfrageergebnis eingesehen werden.

Mittels des allgemeineren Fragebogens wird das Interesse des Besuchers und seine Motivation für die Benutzung der Datenbank erfasst; des weiteren wird er gefragt, wie er von der Datenbank erfahren und wie er die Webseite gefunden hat. Der zweite, speziellere Fragebogen nimmt verschiedene Informationen über die angesprochenen Zielgruppen auf. In 32 Fragen geht es um die Korrelation zwischen Akzeptanz von elektromagnetischen Feldern (z.B. „Würde es Ihnen etwas ausmachen, in der unmittelbaren Nähe einer Basisstation für Mobilfunk zu leben?“) und der Benutzung Feld emittierender Geräte (z.B. „Benutzen Sie ein Handy?“), das Verständnis der Fachterminologie (z.B. „Wofür steht die Abkürzung SAR?“) und personenbezogene Daten.

Die aus diesen Umfragen zusammengetragenen Informationen sind entscheidend für die zielgruppengerechte Weiterentwicklung der Benutzerschnittstelle, da ohne die erhobenen Daten keine angepasste Hilfestellung des Informationsportals möglich ist.

Erste Auswertungen der Umfrageergebnisse zeigen, dass viele grundsätzliche Fachbegriffe nicht vorausgesetzt werden können, die für das Verständnis von Fachliteratur zwingend notwendig sind. Und obwohl die Nutzerstruktur aufzeigt, dass ein Großteil der Besucher sich beruflich mit dem Themenkomplex „Elektromagnetische Umweltverträglichkeit“ auseinandersetzt, werden aufgrund der Interdisziplinarität viele Termini nicht richtig verstanden oder interpretiert.

Durch Auswertung der Umfrage hat sich schließlich gezeigt, dass der Informationszugang zwingend erleichtert und das Informationsangebot erweitert

werden muss, um eine breitere Nutzergruppe anzusprechen.

## Das Informationsportal

Aus der Webseite der WDLDB soll eine zentrale Anlaufstelle zum Thema „Elektromagnetische Umweltverträglichkeit“ auch für Nichtfachleute entwickelt werden; aus diesem Grund muss der Internet-Auftritt der Datenbank um ergänzende Angebote und Hilfestellungen erweitert werden (siehe Umfrage). Der Nutzer soll sich mit Hilfe des Datenbankportals die EMVU-Problematik, aus verschiedenen (Interessens-) Richtungen kommend, erschließen können.

Mit der Hilfe des Informationssystems sollen Juristen und Politiker sich z.B. über die Einhaltung von Grenzwerten informieren können, für Mediziner werden nachvollziehbare Informationen über potenzielle Gesundheitsgefährdungen durch elektromagnetische Felder angeboten und für Laien werden verständliche Zusammenfassungen über den Stand der Forschung präsentiert.

Die Auswertung der Umfrageergebnisse hat gezeigt, dass durch eine Filterung der Datenbankinhalte nicht das Ziel erreicht werden kann, eine allgemein verständliche Informationsbasis bereit stellen zu können; selbst die auf ein Minimum reduzierte Kern-Information einer Publikation kann ohne entsprechende Hilfestellung kaum für Nichtfachleute adäquat dargestellt werden.

Im Folgenden wird eine Übersicht über geplante und teilweise schon realisierte Hilfsangebote für die in der WDLDB enthaltenen Informationen gegeben (siehe auch Abbildung 2.24).

## Glossar

Mit dem Glossar wird ein Lexikon über die Fachbegriffe aus dem Gebiet der „elektromagnetischen Umweltverträglichkeit“ eingeführt. Für jeden Terminus und seine Beschreibung existieren Einträge in Deutsch und Englisch. Zudem kann jedes Wort eine Gruppenzugehörigkeit aufweisen, die im Endzustand einer sog. Baumstruktur gleichen kann (Beispiel: „Leukämie“ gehört zur Gruppe „Krebs“, was wiederum zur Gruppe „Krankheit“ gehört).

Mit Hilfe des Glossars kann sich der Laie das wichtigste Hintergrundwissen auf dem Gebiet der biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder aneignen. Diese Datensammlung soll sowohl „stand-alone“ als Lexikon zur Verfügung stehen, als auch die Bewertungen und Extraktionen (Reports) der Publikatio-

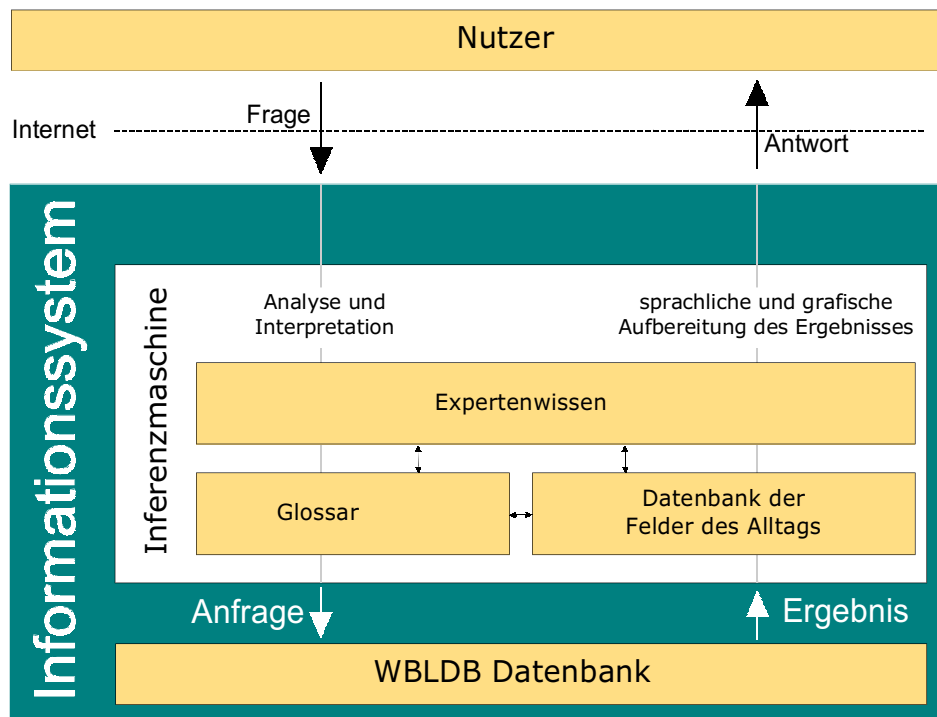


Abbildung 2.24: Das Informationssystem

nen aus der WBLDB erläutern und erklären; dazu sollen alle Fachbegriffe in den Reports mit den Begriffen im Glossar per Hyperlink verknüpft werden.

### Datenbank der im Alltag auftretenden Felder

Wie in der Literatur üblich werden in der WBLDB nur die in der Untersuchung verwendeten Felder charakterisiert, der Bezug zu den Expositionsbedingungen im Alltag bleibt meist unklar. Nichtexperten können diesen Zusammenhang nicht herstellen, was zu einer falschen Einschätzung und Interpretation der Publikationsergebnisse führen kann. Es gibt derzeit keine öffentliche Informationsquelle, in der nach einem einheitlichen Schema mindestens die wichtigsten im Alltag auftretenden Expositionsquellen charakterisiert sind. Daher soll die WBLDB um diese Quelle erweitert werden. Ebenfalls soll eine Zusammenstellung internationaler Grenzwerte und deren Bezug zu existierenden Expositionsquellen realisiert werden.

In der Datenbank sollen Quellen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder des Alltags kategorisiert und beschrieben werden. Es sollen

## Datenbank der Expositionsquellen

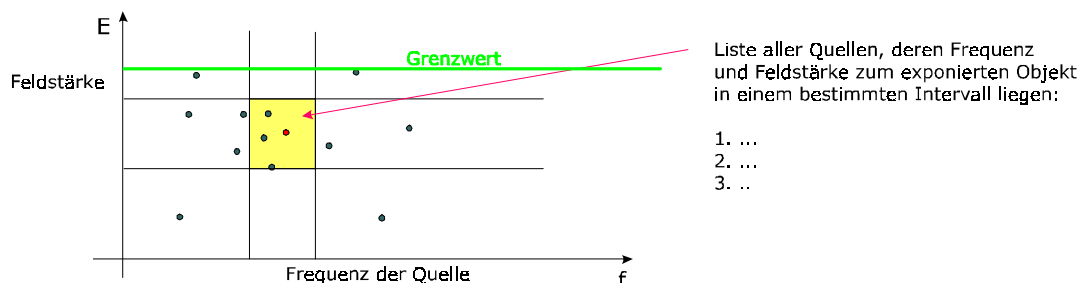


Abbildung 2.25: Beispieldiagramm „Datenbank der im Alltag auftretenden Felder“

sowohl die Art der Exposition auf die Umwelt (geschätzte Distanz der Quelle zum exponierten Objekt), exponiertes Objekt (Mensch, Tier, bestimmte Körperteile etc.), Leistungsabstrahlung der Quelle, geschätzte Expositionszeit etc. als auch die technischen Charakteristika (z.B. Art, Zeitabhängigkeit, Polarisati-on, Frequenz, Modulation der Felder) in die Datenbank aufgenommen werden.

Nach erfolgter Charakterisierung der wichtigsten Expositionsquellen kann die Datenbank über die Merkmale und technischen Parameter der Felder einzelner oder in einem Frequenzband vorhandener Quellen informieren. Die Parameter der Expositionsquellen können grafisch aufbereitet werden, um die Zusammenhänge und Unterschiede der verschiedenen Quellen verständlich zu machen. Es können z.B. dynamisch generierte zwei- und dreidimensionale Diagramme zur Verdeutlichung von Abhängigkeiten der Expositionsquellen bereit gestellt werden (Abbildung 2.25).

### Fragenkatalog

Aus einer Aufstellung der am häufigsten gestellten Fragen („FAQs“ — „Frequently Asked Questions“) werden themenspezifische Fragestellungen und die daraus resultierenden Abfragen schon im Vorfeld erstellt, dokumentiert und dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Beispiel: Ein technisch interessierter Nutzer könnte das Thema Mobilfunk auswählen und würde alle Publikationen angezeigt bekommen, die sich mit dem Thema Mobilfunk befassen. In weiteren Schritten könnten Studien zum Krebs mit nachgewiesenem Effekt und Studien, in denen kein Effekt nachgewiesen werden konnte, getrennt dargestellt werden.

Nach diesen ersten Darstellungsschritten kann die Abfrage verfeinert werden, es kann z.B. nach dem Untersuchungsobjekt oder der Übertragbarkeit der Studien auf den Menschen gefragt werden. Im Unterschied zu einer normalen (Text-) Suchabfrage, in die der Nutzer „Mobilfunk“ eingegeben hätte, wird durch den Themenkatalog erheblich besser, gezielter und genauer gesucht, weil die schon vorformulierte Abfrage auch Begriffe im Umfeld von Mobilfunk („Handy“, „900 MHz“, „1800 MHz“, „GSM“ etc.) sucht. Ein medizinisch interessierter Benutzer hingegen könnte nur durch Auswählen des Begriffs z.B. „Krebs“ nach Publikationen zu allen Formen des Krebses suchen, ohne die Fachbegriffe der verschiedenen Arten überhaupt zu kennen.

### **Inferenzmaschine**

Die erwähnten Hilfestellungen sind in ihrer eigenständigen Form zunächst nur direkt und separat nutzbar. Um diese Angebote zu verknüpfen und einen direkten Bezug zu der Datenbank WBLDB herzustellen, ist die Entwicklung einer sog. „Inferenzmaschine“ geplant. Wie in Abbildung 2.24 dargestellt, entsteht aus den Zusatzangeboten und der Inferenzmaschine das auf der Datenbank basierende Informationssystem.

Die Funktionsweise der Inferenzmaschine läßt sich anhand eines konkreten Beispiels erklären. Der Nutzer fragt sich „Kann Bahnfahren Krebs erzeugen?“ und gibt diese Frage an die Inferenzmaschine weiter (Abbildung 2.26).

Eine Fragestellung setzt sich normalerweise aus einem technischen (hier: „Bahnfahren“) und einem medizinisch/biologischen (hier: „Krebs“) Anteil zusammen. Die Inferenzmaschine erkennt im Terminus „Bahnfahren“ eine Expositionsquelle und ermittelt mit Hilfe der „Datenbank der im Alltag auftretenden Felder“ sämtliche relevanten Expositionsparameter der Oberleitung. Das Glossar wird nach dem Begriff „Krebs“ befragt — es liefert daraufhin alle Arten des Krebsgeschehens. Auf diese Weise kann die Inferenzmaschine mit Hilfe der ermittelten Zusatzdaten eine exakte Datenbankabfrage erstellen, die alle relevanten Publikationen in der Datenbank findet.

Zur Generierung der Antwort (Abbildung 2.27) werden alle gefundenen Publikationen und deren Reports herangezogen und aufbereitet. Es ist nicht nur möglich, sich die mit Hilfe des Glossars erklärten Reports anzeigen zu lassen, es können auch automatisch Statistiken generiert werden. Sachverhalte können

## Inferenzmaschine (Bsp. Fragestellung)

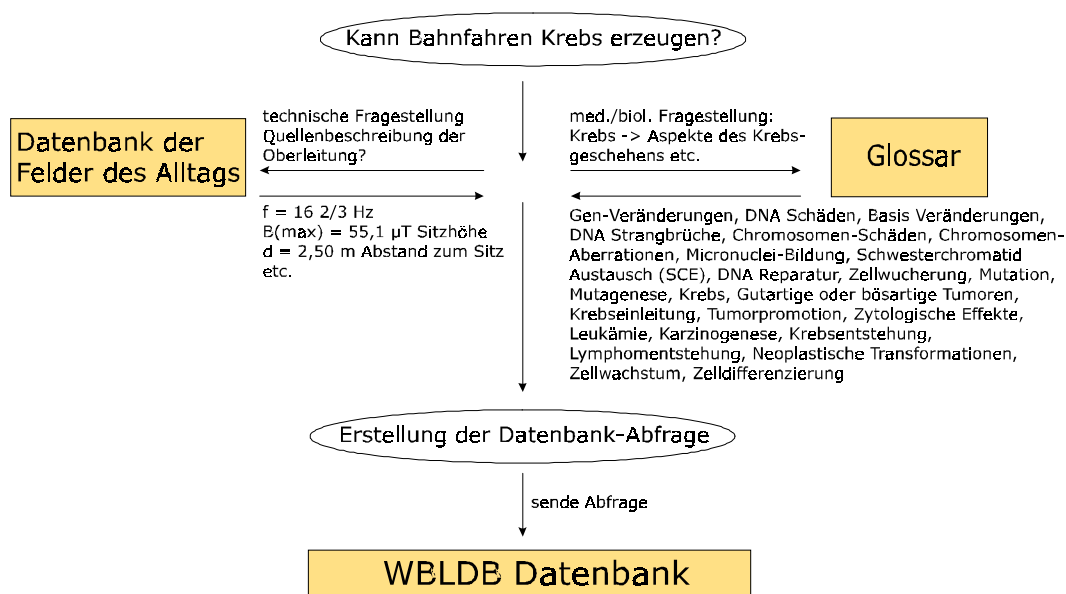


Abbildung 2.26: Fragestellung — Beispiel

## Inferenzmaschine (Bsp. Antwort)

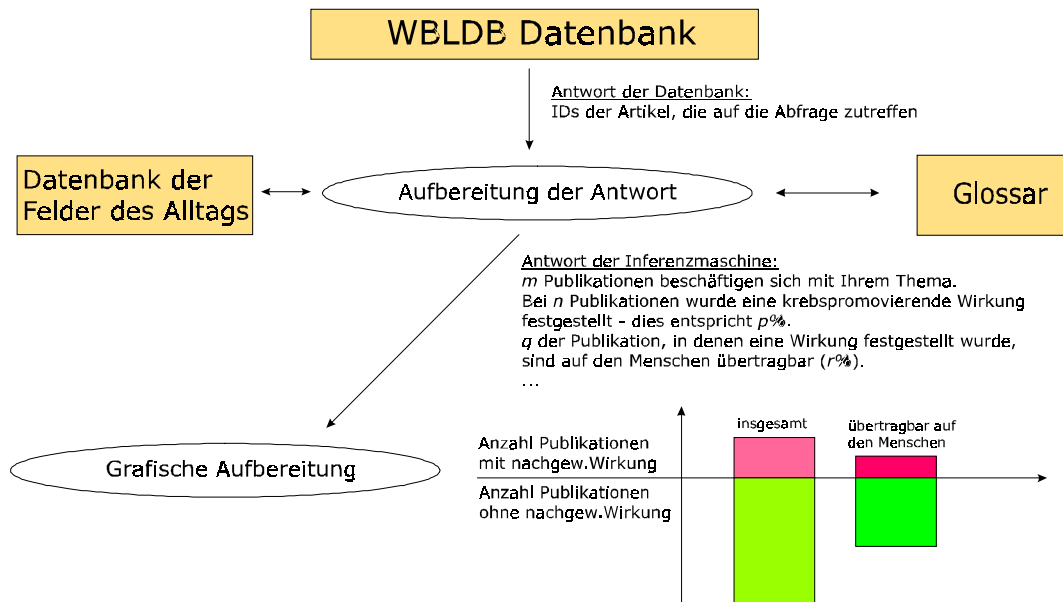


Abbildung 2.27: Antwort — Beispiel

dadurch besser verständlich gemacht werden und einzelne Publikation können in ihren richtigen Kontext gesetzt werden.

## **2.12 Elektrische Messungen des Nahrungs- transportes im Gastrointestinaltrakt (GIT)**

### **2.12.1 Impedanzverfahren zur hochauflösenden Erfas- sung der Motilität im GIT**

J. Silny

#### **Problematik**

Das Gebiet der gastrointestinalen Motilität bzw. Peristaltik umfasst eine Reihe von grundlegenden medizinischen Fragestellungen, die von pathophysiologischen Funktionen einzelner Muskelzellen über ihre komplexe Interaktion mit dem Gehirn bis zum Endpunkt der gesamten Aktivität, dem Transport der Nahrung im weiten Sinne, reichen. Durch die spezifischen Aufgaben der einzelnen funktionellen Einheiten des GIT, wie z.B. des Ösophagus, Magens, Dünn- und Dickdarms, Anorektums und der Sphinkter-Regionen treten in diesen Organen unterschiedliche physiologische und pathologische Motilitätsmuster auf. Das Mosaik des Wissens über die Motilität im GIT ist insgesamt noch sehr lückenhaft, es besteht ein hoher Forschungsbedarf zur Aufklärung physiologischer wie auch pathologischer Motilitätsabläufe. Bei allen Bemühungen zur Aufklärung der Ursachen von Erkrankungen und insbesondere bei der Suche nach einer geeigneten Therapie steht die Diagnose der fehlerhaften Motilität im Vordergrund.

Die herkömmlichen semi-invasiven intraluminalen Untersuchungsmethoden der Azidität, Alkalität oder Kontraktibilität im GIT gewährleisten nur einen kleinen und dazu indirekten Einblick in den erfolgten Nahrungstransport. Die nichtinvasiven bildgebenden Verfahren sind nur zur Darstellung des Nahrungstransportes bei langsameren Motilitätsabläufen geeignet. Schnelle Vorgänge, wie sie z.B. im proximalen Ösophagus auftreten, können sie nicht ausreichend auflösen, sehr langsame Motilitätsmuster, z.B. im unteren GIT, können wegen erforderlicher Langzeituntersuchungen mit zu hoher Bestrahlungsdosis beim Roentgen oder auch wegen der zu hohen Kosten nicht durchgeführt werden.

Die Suche nach neuen, vorteilhaften Diagnoseverfahren, die für den Patienten schonend sind und gleichzeitig möglichst viele wichtige Motilitäts-



Charakteristika auch in der klinischen Routine liefern, ist nach wie vor aktuell.

Einen neuen Ansatz zur Erfassung der Motilität des GIT stellt die intraluminale multiple Messung der elektrischen Eigenschaften im GIT dar, die eine räumlich hochauflösende Registrierung schneller wie auch sehr langsamer Vorgänge über 24 h Dauer ermöglicht. Bei dieser Methode wird das Gewebe mit einem schwachen elektrischen Feld gemessen. Im Gewebe und in der Nahrung wird die elektrische Leitfähigkeit durch positiv und negativ geladene frei bewegliche Ionen ermittelt. Ihre Konzentration und Beweglichkeit geben den entscheidenden Ausschlag für die charakteristischen elektrischen Eigenschaften jedes Gewebes bei einer vorgegebenen Frequenz des Teststromes.

Im Rahmen der klinischen Validierung wurden die postulierten Eigenschaften eines integralen Verfahrens, der so genannten elektrischen Impedanzmessung, bei der Charakterisierung der GIT-Motilität überprüft, bestätigt und in 19 Publikationen veröffentlicht. Das Impedanzverfahren hat inzwischen einen anerkannten Stellenwert in der klinischen Forschung des GIT erlangt. In der laufenden entscheidenden Phase muss in klinischen Untersuchungen ermittelt werden, welche Parameter des Impedanzverfahrens allein oder in Kombination mit anderen Standardverfahren zu klaren und eindeutigen Diagnosen einzelner Erkrankungen des GIT, insbesondere in der klinischen Routine, herangezogen werden sollen.

### **Kennwerte der Motilität aus Standardverfahren und dem Impedanzverfahren**

Die typischen physikalischen Abläufe beim Nahrungstransport im GIT sind in Abb. 2.28 vereinfacht dargestellt. Die Nahrung wird vor und mittels einer fortschreitenden Kontraktionswelle mit einer temporären teilweisen oder vollständigen Okklusion des schlauchförmigen Organs (Segment III) vorwärts (nach links) bewegt. Durch die Reibung zwischen der Wand und dem transportierten Inhalt entsteht eine typische Geometrie (3), die als Bolus bezeichnet wird. Die Bolusform ist ein Ergebnis aus der Geschwindigkeit der Kontraktionswelle, der Compliance und Beschaffenheit der muskulösen Wand sowie der Viskosität der transportierten Inhalte. Über den innerhalb des Bolus befindlichen dünnen Katheter werden elektrische Impedanzen zwischen jedem benachbarten Elektrodenpaar simultan gemessen und geben charakteristische Signale wieder, die

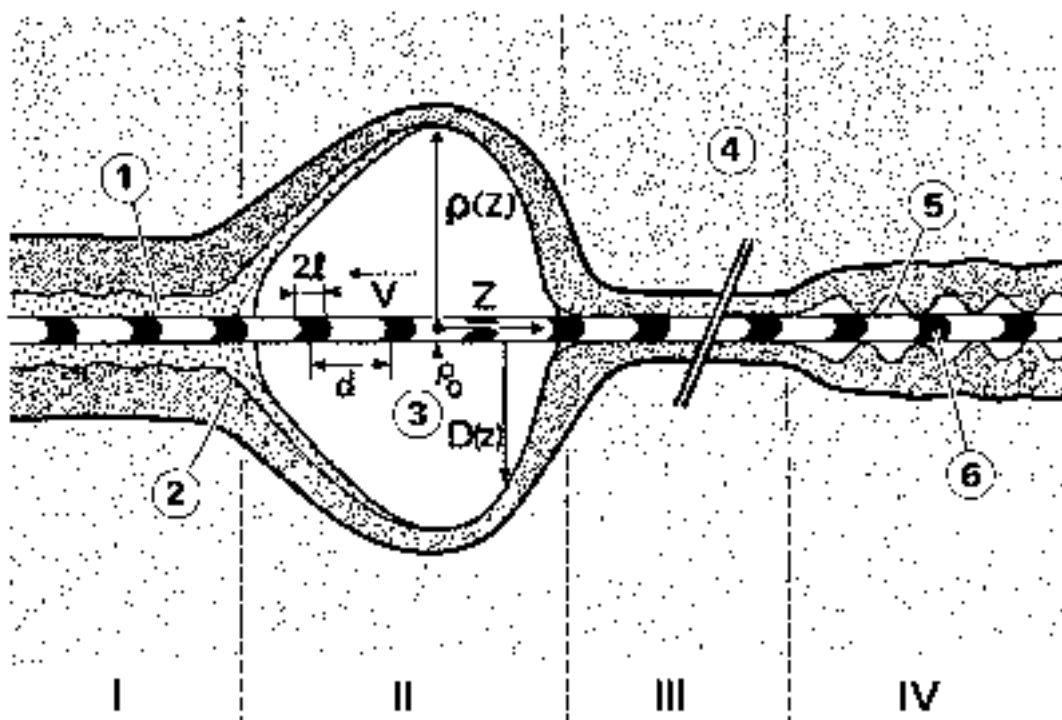


Abbildung 2.28: Die fortschreitende Kontraktion der Muskelwand (2) im Segment III schiebt den Bolus (3) in Richtung des Segmentes I vor sich her. In den Segmenten I und IV ist die Muskulatur erschlafft. An der Spitze des Bolus können z.B. auch Luft oder Speichel (1) transportiert werden. Der Katheter in der Mitte erlaubt eine gleichzeitige elektrische Messung in vielen Messsegmenten zwischen je zwei benachbarten Elektroden (6).

die Unterteilung der Phasen I bis IV ermöglichen. Die aus multiplen Aufzeichnungen der Impedanz zu gewinnenden Kennwerte der Motilität sind in Tab. 2.5 aufgestellt und mit den wichtigsten Standard-Verfahren verglichen.

Tabelle 2.5: Kennwerte der Motilität, aufgenommen mit verschiedenen semi-invasiven und nicht-invasiven bildgebenden Verfahren

	IMPEDANZ	MANO-METRIE	PH-METRIE	DEHNUNGS-MEßSTREIFEN	RÖNTGEN
<b>KONTRAKTIONS-WELLE</b>	✓	✓*		✓	✓
PARTIELLE OKKLUSION	✓			✓	✓
VOLLSTÄNDIGE OKKLUSION	✓	SCHLIEß-DRUCK		✓	✓
RICHTUNG	✓	✓*		✓	✓
GESCHWINDIGKEIT	✓	✓*		✓	✓
LÄNGE	✓	✓*		✓	✓
MUSTER	✓	✓*		✓	✓
<b>BOLUS / TRANSPORT</b>	✓		✓+		✓
GAS	✓				✓
TRANSPORT/ RICHTUNG	✓	✓*			✓
FRONT- GESCHWINDIGKEIT	✓		✓+		✓
GESCHWINDIGKEIT BOLUSENDE	✓	✓*			✓
GEOMETRIE	✓				✓
<b>RESTMASSE</b>	✓		✓+		✓
VERTEILUNG IM ORGAN	✓				✓
ENTLEERUNG	VOLUMEN		CHEMISCH <sup>+</sup>		VOLUMEN
<b>WAND-COMPLIANCE</b>	RELATIV			RELATIV	RELATIV
<b>VISUALISIERUNG</b>	✓				✓
BOLUS TRANSPORT	✓				✓
<b>INVASIVITÄT</b>					
NIEDRIG	✓	✓	✓		
HOCH				✓	✓

\*nur bei vollständiger Okklusion

\* nur bei pH &lt; 4

## 2.12.2 Anwendung des Impedanzverfahrens in der Pädiatrie

T. Wenzl, G. Heimann<sup>1</sup>; Ch. Peter, Ch. Poets<sup>2</sup>; J. Silny

Eine der ersten vorteilhaften klinischen Nutzungen des Impedanzverfahrens zur Diagnostik des kindlichen gastroösophagealen Refluxes (GÖR) und GÖR-Clearance wurde in der Kinderklinik<sup>1</sup> ausgearbeitet und publiziert. Der wichtigste Vorteil wird in der Tatsache gesehen, dass das Impedanzverfahren saure, nichtsaure wie auch alkalische Refluxe registriert, wohingegen die standardmäßig verwendete pH-Metrie nur die sauren Refluxes mit  $\text{pH} < 4$  anzeigt. Da bis über 90% der Refluxes bei Säuglingen einen nichtsauren Charakter aufweisen können, kommt der Registrierung dieser Refluxes eine große Bedeutung zu. Weitere in laufenden Studien bewertete Kennwerte des GÖR sind die Steighöhe des Refluxes und die Dauer der Clearance, die ebenfalls aus den Impedanzkurven abgeleitet werden können. Das Ziel ist die Beschreibung der Physiologie und Pathologie des kindlichen Schluckaktes, des GÖR und der GÖR-Clearance. Bei diesen Untersuchungen wird neben den standardmäßigen pH- und polysomnografischen Aufnahmen das Impedanzverfahren stationär oder ambulant eingesetzt.

In der jüngsten publizierten Studie<sup>1</sup> mit 12 Säuglingen haben sich bei einer Überwachungsphase von 6 h pro Kind 364 GÖR und 165 Apnoen ereignet. Davon sind 22% saure Refluxes, in ca. 30% der sauren und nichtsauren GÖR zeigt sich eine enge zeitliche Korrelation mit Apnoen.

In der Kinderheilkunde<sup>2</sup> wurden mit unserer Unterstützung mittels des Impedanzverfahrens Untersuchungen zum gastroösophagealen Reflux und zur Apnoe von Neugeborenen durchgeführt. Dabei konnte kein zeitlicher Zusammenhang zwischen GÖR und Apnoe belegt werden.

Eine jüngere Studie dieser Gruppe<sup>2</sup> beschäftigt sich mit dem Einfluss eines nasal eingeführten Nahrungs- oder Ernährungskatheters auf die Häufigkeit der gastroösophagealen Refluxes. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Einführung des Katheters durch den unteren Sphinkter bis in den Magen die Wahr-

---

<sup>1</sup>Kinderklinik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

<sup>2</sup>Klinik für Kinderheilkunde-Neonatalogie und pädiatrische Pulmonologie der Universität Hannover

scheinlichkeit eines Refluxes bei Säuglingen um 70 % im Vergleich zur ösophagealen Positionierung des Katheters oberhalb des unteren Sphinkters erhöht.

### 2.12.3 Motilität bei Erwachsenen

R. Winograd, S. Matern<sup>3</sup>; D. Sifrim, K. Janssens<sup>4</sup>; B. Weusten, L. Akkermans<sup>5</sup>; J. Silny

In der Medizinischen Klinik III<sup>3</sup> werden Motilitätsuntersuchungen im Ösophagus und im Dünndarm mit einer simultanen Messung von 3 Manometrie-Kanälen und maximal 16 Impedanz-Kanälen stationär durchgeführt. Bei den durchgeführten Reihenuntersuchungen im ösophagealen Bereich sind Patienten mit Barrett-Ösophagus, Dysphagie und gastroösophagealem Refluxerkrankungen die primäre Zielgruppe. Zur Ermittlung der Unterschiede zwischen den physiologischen und pathologischen Mustern der Motilität werden zusätzlich Untersuchungen mit gesunden Probanden vorgenommen.

Das Ziel ist es, eine ausreichende Datenmenge in homogenen Patientengruppen zu erhalten, damit nicht nur die wichtigsten diagnostischen Merkmale der jeweiligen Erkrankung, sondern auch ihre Variation und Abgrenzung gegenüber der normalen Motilität ermittelt werden können.

In Kooperation mit gastroenterologischen Zentren<sup>4,5</sup> der Nachbarländer wird dem Mechanismus und der Bedeutung der gastro-ösophagealen Refluxen mit sauren oder nichtsauren Flüssigkeiten sowie Gas-Refluxen an einer größeren Population von erwachsenen Patienten mit gastro-ösophagealen Erkrankungen nachgegangen. Zur Beurteilung des Reflux-Geschehens werden ambulante 24 h dauernde simultane Registrierungen von sieben Impedanzen und einem pH-Kanal vorgenommen. In initialen Studien wurden 30 GÖR-Patienten und 28 Probanden untersucht. Die Häufigkeit der Refluxen pro Person ist in beiden Gruppen etwa gleich. Der Anteil der sauren Refluxen ist mit 21,5 pro 24 h bei GÖR-Patienten wesentlich höher gegenüber 13 pro 24 h in der Kontrollgruppe.

---

<sup>3</sup>Medizinische Klinik III des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

<sup>4</sup>Department of Gastroenterology/Faculty of Medicine, University of Leuven, B

<sup>5</sup>Gastrointestinal Research Unit, University Medical Center Utrecht, NL

#### 2.12.4 Prä- und postoperative sowie intensivmedizinische Aspekte

B. Dreuw, N. Ponschek, V. Schumpelick<sup>6</sup>; J. Schnoor, R. Rossaint<sup>7</sup>; J. Silny

Zur Überprüfung des Therapieerfolges im GIT setzt die Chirurgische Klinik<sup>6</sup> prä- und postoperativ das Impedanzverfahren in Kombination mit der pH-Metrie ein. Die pH-Metrie kann dabei nur saure Refluxe anzeigen, wohingegen aus der Impedanzmessung die Schluckvorgänge wie auch saure und nichtsaure Refluxe identifiziert werden können. Die heutige Therapie des gastroesophagealen Refluxes baut im Wesentlichen auf der medikamentösen säuresupprimierenden Behandlung bzw. auf der chirurgischen Antirefluxplastik auf. Epidemiologische Untersuchungen wie auch Tierexperimente deuten darauf hin, dass duodeno-gastro-ösophageale Refluxe die Wahrscheinlichkeit eines Barrett-Ösophagus und eines Adeno-Karzinoms der Cardia wesentlich erhöhen. Bei der säuresupprimierenden Therapie kann nicht ausgeschlossen werden, dass kanzerogene Stoffe bei persistierenden Refluxen trotzdem in den Ösophagus gelangen und dort einwirken. Deshalb wird der ambulanten Aufnahme der nichtsauren Refluxes bei diesen Patienten eine große Bedeutung beigemessen.

Die Klinik für Anästhesiologie<sup>7</sup> untersucht mittels der Impedanztechnik den Einfluss der häufig verwendeten Sedativa und Analgetika auf gastroduodenale Motilität. Im Berichtsjahr wurden initiale Untersuchungen an Schweinen durchgeführt, bei denen zunächst die Basalwerte für die nüchtern-, postprandialen und interdigestiven Phasen an wachen und analgosedierten Tieren ermittelt wurden.

---

<sup>6</sup>Chirurgische Klinik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

<sup>7</sup>Klinik für Anästhesiologie des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

# Kapitel 3

## Präsentationen

### 3.1 Erschienenene Publikationen

1. Lindenblatt G, Silny J (2001): A model of the electrical volume conductor in the region of the eye in the ELF range. *Physics in Medicine and Biology*, pp. 3051-3059, Vol. 46 Issue 11 (ISSN 0031-9155)
2. Scholten A, Silny J (2001): The interference threshold of unipolar cardiac pacemakers in extremely low frequency magnetic fields. *Journal of Medical Engineering and Technology*, pp. 185-194, Vol. 25 Issue 5 (ISSN 0309-1902)
3. Scholten A, Silny J (2001): The interference threshold of cardiac pacemakers in electric 50 Hz fields. *Journal of Medical Engineering and Technology*, pp. 1-11, Vol. 25 Issue 1 (ISSN 0309-1902)
4. Sifrim D, Holloway R, Silny J, Xin Z, Tack J, Lerut A, Janssens J (2001): Acid, Nonacid, and Gas Reflux in Patients With Gastroesophageal Reflux Disease During Ambulatory 24-Hour pH-Impedance Recordings. *Gastroenterology*;120:1588-1598
5. Silny J, Aspacher KG, Dilthey U, Heidrich J, Ahrend M (2001): Elektromagnetische Umweltverträglichkeit von Widerstandspunktschweißanlagen. *Schweißen und Schneiden*.53, Heft 5, S. 264-271 (ISSN 0036-7184)
6. Silny J, Aspacher KG, Dilthey U, Heidrich J, Ahrend M (2001): Electromagnetic environmental compability of resistance spot welding installations. *Welding & Cutting* 53, No. 5:E97-102



7. Wenzl TG, Schenke S, Peschgens Th, Silny J, Heimann G, Skopnik H (2001): Association of Apnea and Nonacid Gastroesophageal Reflux in Infants: Investigations With the Intraluminal Impedance Technique. *Pediatric Pulmonology* 31:144-149

### **3.2 Eingereichte / akzeptierte Publikationen**

1. Kowalski T, Silny J, Buchner H: Current Density Threshold for the Stimulation of Neurons in the Motor Cortex Area. *Bioelectromagnetics*; akzeptiert
2. Lindenblatt G, Silny J: Electrical phosphenes: On the influence of conductivity inhomogeneities and small-scale structures of the orbita on the current density threshold of excitation. *Medical & Biological Engineering & Computing*; eingereicht
3. Menges H, Hoffmann M, Silny J: Elektromagnetische Felder im Alltag. *Berichte der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg*; im Druck
4. Merkelbach-Bruse S, Gärtner A, Baba HA, Rasmussen JC, Gellekum Th, Füzesi L, Silny J, Gehlen J: Exposure of human cells to high frequency electromagnetic fields used by mobile phones: Effects on oncogene transcript levels and genetic stability. *Radiation Research*; eingereicht
5. Peter CS, Sprodowski N, Bohnhorst B, Silny J, Poets CF: Gastroesophageal reflux and apnea of prematurity: No temporal relationship. *Journal of Pediatrics*; akzeptiert
6. Peter CS, Wiechers C, Bohnhorst B, Silny J, Poets CF: Influence of Nasogastric Tube on Gastroesophageal Reflux in Preterm Infants: A Multiple Intraluminal Impedance Study. *Journal of Pediatrics*, eingereicht
7. Schmidt-Rohlfing B, Schneider U, Goost H, Silny J: Mechanically induced electrical potentials of articular cartilage. *J Biomech*; akzeptiert
8. Schmidt-Rohlfing B, Ihme N, Silny, J: Elektrische Felder im Kniegelenk durch externe Magnetfelder: Ergebnisse einer Experimentellen Untersuchung. *Z Orthop*; eingereicht

9. Silny J: Effekte und gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks und anderer Neuer Kommunikationssysteme. Bericht über den aktuellen Wissensstand an die Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE, November 2001; eingereicht
10. Silny J, Martin K, Hombach V: Störschwellen elektronischer Implantate bei Applikation mehrerer Mikrowellen unterschiedlicher Frequenz. Berichtsband Kleinheuerbacher Tagung, 24. - 28. September 2001. Kleinheuerbacher Berichte; im Druck
11. Silny J: Nichtionisierende elektromagnetische Felder und Strahlen. In: Dott, Merk, Neuser, Osieka (Hg.) Lehrbuch der Umweltmedizin, C 5.2.2. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart; im Druck

### **3.3 Konferenz-Beiträge**

1. Aspacher KG, Dommerque R, Silny J: Assessment of induced electric field and current distribution during magnetic stimulation of peripheral nerves and muscles in the upper limbs. Proceedings 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001, pp. 90-9123
2. Lindenblatt G, Silny J: Implications of the Consideration of Small-Scale Structures on Numerical Evaluated Current Density Threshold Values by the Example of Electrical Phosphenes. Proceedings 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001, p. 25
3. Scholten A, Silny J: Interference Assessment of Cardiac Pacemakers in Electric 50 Hz-Fields. Proceedings 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001, p. 35
4. Wienert R, Klubertz F, Silny J: Knowledge-based information system on the effects of electromagnetic fields on the organism. Proceedings 23rd

Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001, P. 90

5. Wienert R, Klubertz F, Silny J: Knowledge-based information system on the effects of electromagnetic fields on the organism. Proceedings 5th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), Helsinki, Finland, September 2001, 6-8, pp. 271-272 (ISBN 951-802-440-5)
6. Wienert R, Klubertz F, Silny J: Wissensbasiertes Informationssystem über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus. Österreichischer Verband für Strahlenschutz und des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., 33. Jahrestagung, Gmunden (Österreich), 17.-21. September 2001, Berichtsband S. 357-360 (ISSN 1013-4506)

### 3.4 Vorträge

1. Aspacher KG, Dommerque R, Silny J: Assessment of induced electric field and current distribution during magnetic stimulation of peripheral nerves and muscles in the upper limbs. Posterpräsentation. 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001 (Student Award)
2. Lindenblatt G, Silny J: Implications of the Consideration of Small-Scale Structures on Numerical Evaluated Current Density Threshold Values by the Example of Electrical Phosphenes. 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001
3. Lindenblatt G, Silny J: Wirkung von Magnetfeldern auf lebende Organismen. IFB-Veranstaltung Nr. 18661 „Leben mit Strahlung, Schall und Magnetfeldern — Gefährdung des Menschen in Arbeit, Medizin und Umwelt“, Speyer, 24. – 25. September 2001
4. Scholten A, Silny J: Interference Assessment of Cardiac Pacemakers in Electric 50 Hz-Fields. 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001

5. Silny J: Macht Mobilfunk krank? Forum: Mobilfunk und elektromagnetische Felder. Veranstalter: Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Kiel, 7. November 2001
6. Silny J, Martin K, Hombach V: Störschwellen elektronischer Implantate bei Applikation mehrerer Mikrowellen unterschiedlicher Frequenz. Kleinhauerbacher Tagung, 24. – 28. September 2001
7. Silny J: Aktueller Wissensstand über athermische und thermische Effekte elektromagnetischer Felder beim Menschen — Schutzkonzept der 26. BImSchV-Verordnung. Deutscher Verwaltungsrichtertag München, 9. Mai 2001
8. Silny J: Summary of the Working Group „Medical Devices“ from the Helsinki-Workshop, Workshop: Possible interference of magnetic field emitting systems with active implanted medical devices, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V., München-Oberschleißheim, March 19-20, 2001
9. Wienert R, Klubertz F, Silny J: Knowledge-based information system on the effects of electromagnetic fields on the organism. 23rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Paul, Minnesota (USA), June 10-14, 2001
10. Wienert R, Klubertz F, Silny J: Wissensbasiertes Informationssystem über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus. Österreichischer Verband für Strahlenschutz und des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., 33. Jahrestagung, Gmunden (Österreich), 17.-21. September 2001
11. Wienert R, Klubertz F, Silny J: Knowledge-based information system on the effects of electromagnetic fields on the organism. Proceedings 5th International Congress of the European BioElectromagnetics Association (EBEA), Helsinki, Finland, 6-8 September 2001

### 3.5 Sonstige Aktivitäten

1. Silny J: Mitglied des Ausschusses „Nichtionisierende Strahlen“ der Strahlenschutzkommission (SSK) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn. Berufung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berufung zum 01.01.1997
2. Silny J: Leitung der Arbeitsgruppe „Neue Technologien und ihre Konsequenzen für die Umwelt“ des Ausschusses „Nichtionisierende Strahlen“ der Strahlenschutzkommission (SSK) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn. Berufung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berufung zum 08.06.2000
3. Silny J: Mitglied der Task Force „Gesundheitliche Risiken in EMF“. Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE
4. Silny J: Mitglied des Arbeitskreises „Diagnostik in der klinischen Umweltmedizin“ des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesärztekammer seit 2000
5. Silny J: Mitglied der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiet der nichtionisierenden Strahlen beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bonn, seit 1997
6. Silny J: Vorlesungen:
  - Technische elektromagnetische Felder in unserer Umwelt — Entstehung, Umweltverträglichkeit und Folgekosten (V2, WS 2001/2002) (Ringvorlesung gemeinsam mit Dott W, Ebel H, Haubrich HJ, Rembold B, Wiesmüller A)
  - Biomedizinische Technik I und II (je V2, WS/SS) (gemeinsam mit Rau, G.) (für Informatiker mit Nebenfach Medizin, seit 1980)
7. Silny J: Gutachtertätigkeit für folgende Fachzeitschriften:

- Bioelectromagnetics (USA)
- Biomedical Engineering (GB)
- Gastrointestinal Motility (GB)
- Neurogastroenterology and Motility (GB)
- Medizinische Physik (D)
- Umweltmedizin in Forschung und Praxis (D)

8. Silny J: Gutachtertätigkeit für

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Deutsche Stiftung Umwelt

9. Silny J: Mitarbeit in der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE)

- AK 764.0.3 Gefährdung von Personen durch elektromagnetische Felder
- UK 764.1 Elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich von 0 – 10 kHz

# Kapitel 4

## Anhang

### 4.1 Mitarbeiter des *femu*

Name	Titel/Grad	Arbeitsgebiet/Funktion
Silny, J.	Prof. Dr.-Ing. habil. med.	Leiter
Kober, R.		Sekretariat
Aspacher, K.-G.	Dipl.-Ing.	Wiss. Mitarbeiter
Bartsch, H.	Dr.	Wiss. Mitarbeiterin – extern
Bartsch, Ch.	PD Dr.	Wiss. Mitarbeiter – extern
Benien, Ch.		Stud. Hilfskraft
Dobel, M.		Stud. Hilfskraft
Faust, G.		Techniker
Frindt, Ch.		Auszubildender
Gierke, G.		Auszubildender
Groten, Th.		Auszubildender
Gulbrandsen, M.		Stud. Hilfskraft
Göttgens, Th.		Stud. Hilfskraft
Holtkamp-Roetzler, E.	Dr.	Wiss. Mitarbeiterin – extern
Klubertz, F.	M.A.	Wiss. Mitarbeiter
Kühn, R.		E-Techniker
Laven, G.		Biologie-Laborant
Lindenblatt, G.	Dipl.-Phys.	Wiss. Mitarbeiter
Marquardt, Th.		Stud. Hilfskraft

Reimertz, P.	Dipl.-Biol.	Wiss. Mitarbeiter
Rütgers, O.		E-Techniker
Schmidt, S.	Dipl.-Biol.	Wiss. Mitarbeiterin
Scholten, A.	Dipl.-Ing.	Wiss. Mitarbeiter
Siegmar, H.	Dipl.-Ing.	Wiss. Hilfskraft
Thalau, P.	Dr.	Wiss. Mitarbeiter – extern
Vassileva, M.		Stud. Hilfskraft
Wermeester, G.		E-Techniker/Ausbilder
Wienert, R.	Dipl.-Ing.	Wiss. Mitarbeiter
Zillekens, A.		E-Techniker



## 4.2 Impressum

*femu*-Forschungsbericht

**ISSN 1439-4812** (Print); **ISSN 1439-9261** (Internet)

aus dem Forschungszentrum

für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)

Universitätsklinikum der Rheinisch-Westfälischen

Technischen Hochschule Aachen (RWTH)

3. Jahrgang 2001

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. habil. med. J. Silny

Redaktion: Dipl.-Phys. med. Phys. G. Lindenblatt

Erscheinungsweise: 1 × jährlich zum Jahresende

Online-Ausgabe zum Download aus dem Internet im pdf-Format

Verlagsort: Aachen, Deutschland

Anschrift:

*femu* – RWTH Aachen

Pauwelsstraße 20

52074 Aachen

E-Mail: [redaktion@femu.rwth-aachen.de](mailto:redaktion@femu.rwth-aachen.de)

Internet: <http://www.femu.rwth-aachen.de>

Telefon: ++49 (0) 241/80-87287

Telefax: ++49 (0) 241/80-82636