Aus dem Institut für Pharmakologie, Toxikologie und Pharmazie der Tierärztlichen Hochschule Hannover (Direktor Prof. Dr. W. Löscher)

Die Auswirkungen elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere: Eine Bestandsaufnahme

W. Löscher

Praktischer Tierarzt 84: 11, (2003); © Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG; ISSN 0032-681 X

DER PRAKTISCHE TIERARZT

ZUSAMMENFASSUNG:

››› Das mögliche Risikopotential hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunknetzes wird seit Jahren kontrovers und emotional diskutiert. Da Mobilfunksendeanlagen häufig auf landwirtschaftlich genutzen Flächen errichtet werden, stellt sich aus tiermedizinischer Sicht die Frage, ob an landwirtschaftlichen Nutztieren in unmittelbarer Umgebung solcher Sendeanlagen Veränderungen in Gesundheit, Leistung oder Verhalten auftreten. Diese Übersichtsarbeit stellt eine Bestandsaufnahme dieses Themas dar. Neben einer Reihe von Fallbeschreibungen bei Milchrindern, Schweinen und Geflügel wird die bayerische Rinderstudie diskutiert, die trotz zum Teil gravierender Mängel einige besorgniserregende Unterschiede zwischen hoch und niedrig exponierten Betrieben zeigte, so eine Erhöhung von Missgeburten und Verhaltensänderungen, die zu einem Rückgang der Milchleistung führen können. Aufgrund dieser Beobachtungen planen einige Arbeitsgruppen der Tierärztlichen Hochschule Hannover eine epidemiologische Studie zur Auswirkung elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von Rindern. Wir erwarten von dieser Studie eine weiterführende Klärung der Frage, ob und unter welchen Bedingungen eine Exposition in derartigen Feldern ein Risiko für landwirtschaftliche Nutztiere darstellt und zu ökonomischen Verlusten führen kann.

SCHLÜSSELWÖRTER: *Rinder, Milchleistung, Fruchtbarkeit, Verhalten, Elektrosmog*

Survey of effects of radiofrequency electromagnetic fields on production, health and behaviour of farm animals

SUMMARY:

››› The risk potential, if any, of radiofrequency (RF) electromagnetic fields as used for cellular radio systems is an ongoing topic for controversial discussion. Base stations and base station antennas transmitting RF fields are often located on or near to farms, leading to the question whether farm animals in the vicinity of such stations exhibit alterations in health, productivity or behaviour. This review surveys the available informations on this topic. In addition to several case reports in dairy cattle, swine and poultry, the Bavarian cow study is discussed. Despite several logistical problems of the latter study, some alarming differences evolved between farms with high and low RF field exposure, including an increase in birth defects and behavioural alterations in exposed cows which could lead to a reduction in milk production. Based on these data, scientists of the Hannover School of Veterinary Medicine plan a large epidemiological study on the effects of RF field exposure on milk production, behaviour and health of dairy cows. We expect that this study will help to answer the question if and under which circumstances enhanced RF field exposure poses a risk for farm animals.

KEY WORDS: *cattle, milk production, fertility, behaviour, melatonin*

Einleitung

Über die möglichen Gesundheitsgefahren durch elektromagnetische Felder wird kontrovers und emotional diskutiert (Ahlbom et al. 2001, Krewski et al. 2001, Repacholi 2001). In den hochindustrialisierten Ländern sind Mensch und Tier heute durch die ubiquitäre Verwendung elektrischen Stroms und die zunehmende Verbreitung von Hochfrequenzsendern für mobile Kommunikation und Fernseh- und Rundfunkübertragung elektrischen und magnetischen Feldern in einem Umfang ausgesetzt, der sich erheblich von der Belastung durch natürlich vorkommende Felder, z. B. dem statischen Erdmagnetfeld, unterscheidet und damit eine in der Evolutionsgeschichte von Mensch und Tier neue Einflussgröße darstellt. In diesem Zusammenhang wurde der wenig präzise Begriff **„Elektrosmog"** eingeführt, der die Überlagerung künst-

lich erzeugter elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder unterschiedlicher Frequenz und Intensität in unserer Umwelt umschreibt und in Analogie zur klassischen Smogbelastung durch die Anreicherung von Luftschadstoffen geprägt wurde.

Lange Zeit wurde die Möglichkeit eines Einflusses elektrischer und magnetischer Felder auf die Gesundheit von Mensch und Tiere schlichtweg ignoriert. Die Grenzwerte orientierten sich lediglich an akuten Gesundheitsschäden, wie sie bei extrem hohen Belastungen am Arbeitsplatz auftreten können. Die zunehmende Kenntnis über die biologischen Wirkungen auch schwacher elektrischer oder magnetischer Felder und zahlreiche epidemiologische Studien über eine mögliche Erhöhung des Krebsrisikos durch Magnetfeldexposition haben jedoch in den letzten Jahren zu einer veränderten Diskussion des möglichen Risikopotentials derartiger Felder geführt (Krewski et al. 2001, Mathes et al. 1997, Portier u. Wolfe 1998, Repacholi 2001, WHO 2002). Hierbei konzentrierte sich die wissenschaftliche Untersuchung und Betrachtung zunächst auf niederfrequente Felder, wie sie v. a. durch die Verwendung von elektrischem Strom entstehen, hat sich in letzter Zeit aber zunehmend auf die z. B. für Mobilfunk verwendeten hochfrequenten elektromagnetischen Felder verschoben. Im Vordergrund der Betrachtung stand zunächst der Mensch, Tiere spielten nur als Versuchstiere zur Untersuchung möglicher Risiken durch elektromagnetische Felder eine Rolle.

Da große Mobilfunksendeanlagen häufig auf landwirtschaftlich genutzen Flächen errichtet werden, weil bei Standorten von Sendemasten auf relativ freien Flächen ein größerer Bereich mit Mobilfunk versorgt werden kann, stellte sich aus tiermedizinischer Sicht die Frage, ob an landwirtschaftliche Nutztiere in unmittelbarer Umgebung solcher Sendeanlagen Veränderungen in Gesundheit, Leistung oder Verhalten auftreten. Diese Übersichtsarbeit stellt eine Bestandsaufnahme dieses Themas dar. Zunächst sollen jedoch zum besseren Verständnis der Thematik einige technische und biologische Grundlagen erläutert werden.

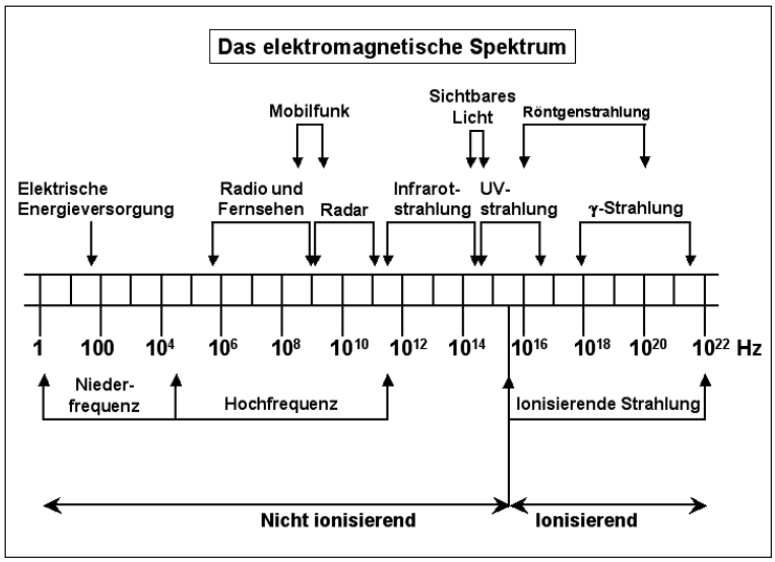

ABBILDUNG 1: *Das elektromagnetische Spektrum (modifiziert nach Repacholi, 1996). Das elektromagnetische Spektrum wird in Frequenzbereiche mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften und biologischen Wirkungen unterteilt. Zu den statischen Feldern (0 Hertz) gehört z. B. das natürliche Erdmagnetfeld. Künstlich erzeugte statische Magnetfelder werden u. a. zur Kernspintomographie verwendet. Der Bereich der niederfrequenten Felder enthält u. a. elektrische oder magnetische Felder im extrem niedrigen Frequenzbereich von > 0 bis 300 Hertz. In diesem Frequenzbereich liegt z. B. der Wechselstrom mit 50 oder 60 Hertz. Hochfrequente elektromagnetische Felder (im Englischen auch als „Radiofrequency [RF] fields" bezeichnet) haben Frequenzen zwischen 30 000 Hertz und 300 Giga-Hertz. Wie bei statischen oder niederfrequenten Feldern gilt die Energie dieser Felder i. G. zu UV-Licht und ionisierender Strahlung als zu schwach, um Moleküle zu ionisieren oder chemische Bindungen zu brechen und damit direkte DNS-Schädigungen hervorzurufen. RF-Felder werden für alle Arten von Informationsübertragung, also Radio (AM, FM), Fernsehen, Mobilfunk und Radar verwendet. Erst oberhalb dieses Hochfrequenzbereiches spricht man von Strahlung. Immer noch im nicht-ionisierenden Bereich (von ~ 10^{12}–10^{17} Hertz) liegt die optische Strahlung, zu der Infrarot, sichtbares Licht und UV-Strahlung gehören. Im Frequenzbereich von > 10^{15}–10^{22} liegt die ionisierende Strahlung (Röntgen- und Gamma-Strahlung).*

Physikalische Grundlagen und biologische Wirkung

Alle elektrischen Einrichtungen, Geräte oder Leitungen (z. B. Haushaltsgeräte, Hochspannungsleitungen, Rundfunk- und TV-Sender, Mobilfunkgeräte und Mobilfunksendeanlagen) sind von elektrischen und magnetischen Feldern umgeben und/oder senden elektromagnetische Wellen aus (Repacholi 1996). Unter **„elektromagnetischer Umwelt"** versteht man die Gesamtheit aller zivilisatorisch bedingten elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder, aber auch der natürlichen elektrischen und magnetischen Felder, die auf Mensch und Tier einwirken. Der Mensch nimmt diese in seiner Entwicklungsgeschichte neuen Einwirkungen oder Belastungen nicht bewusst wahr. Die Tatsache, dass einige Tierarten, z. B. Vögel, sich am natürlichen Erdmagnetfeld orientieren können (Walker et al. 2002), und dabei wahrscheinlich das Pinealorgan eine Rolle spielt (Reiter u. Richardson 1990, Reiter 1992, 1993), zeigt aber zweifelsfrei, dass selbst sehr schwache magnetische Felder biologische Wirkungen haben können. Es wäre deshalb naiv anzunehmen, dass eine Veränderung der elektromagnetischen Umwelt keine Auswirkungen auf Mensch und Tier hat.

Elektrische und magnetische Felder werden v. a. nach ihrer Frequenz weiter differenziert. Die Gesamtheit aller elektromagnetischen Felder, Wellen oder Strahlen wird als **elektromagnetisches Spektrum** bezeichnet (Abb. 1). Es überdeckt die statischen Felder (0 Hertz), die niederfrequenten Felder (> 0–30 000 Hertz), die hochfrequenten Felder oder Wellen (> 30 000 Hz–300 Giga-Hertz), die infrarote Strahlung (~ 10^{12}–10^{14} Hertz), das Licht (> 10^{14} Hertz) bis hin zur ionisierenden Strahlung (Röntgen- und Gammastrahlung). Die gesundheitsschädlichen Wirkungen extrem hochfrequenter Strahlung (UV-Licht, radioaktive Strahlung) sind unumstritten, ob auch weniger hochfrequente, nicht ionisierende Strahlung bzw. elektromagnetische Wellen oder Felder gesundheitsschädigend wirken können, ist nach wie vor wissenschaftlich umstritten.

▸▸

Zwischen elektrischen und magnetischen Feldern besteht ein enger, physikalischer Zusammenhang. Ruhende (statische) elektrische Ladungen besitzen nur ein elektrisches Feld, bewegte elektrische Ladungen erzeugen darüber hinaus ein magnetisches Feld. Bei hohen Frequenzen (> 30 000 Hertz) können sich diese Felder von der verursachenden Quelle lösen und im Raum ausbreiten, man spricht dann von elektromagnetischen Feldern (oder Wellen). Felder im Niederfrequenzbereich (also z. B. die durch Haushaltsstrom erzeugten 50 Hertz-Felder) sind objektgebunden bzw. leitungsgeführt, d. h. die elektrischen oder magnetischen Felder befinden sich in der Nähe des Gerätes oder einer Leitung und nehmen mit der Entfernung schnell ab. Da niederfrequente **elektrische Felder** im Gegensatz zu niederfrequenten magnetischen Feldern gut abgeschirmt werden können, sind ihre gesundheitlichen Auswirkungen nur noch selten Gegenstand der wissenschaftlichen Forschung. Dagegen durchdringen niederfrequente **magnetische Felder** biologische Gewebe und können dadurch im Organismus Effekte hervorrufen, die mit gesundheitlichen Risiken verbunden sein können (Repacholi 1996).

Eine plausible Erklärung für biologischen Effekte und gesundheitliche Risiken durch Exposition in **niederfrequenten Magnetfeldern** stellt die sog. **„Melatoninhypothese“** dar (Stevens et al. 1997). Nach dieser Hypothese senken sowohl elektrische als auch magnetische Wechselfelder bei sehr niedrigen Frequenzen (z. B. 50 Hertz) die Produktion des Hormons Melatonin im Pinealorgan (Zirbeldrüse). Die gesenkte Melatoninproduktion führt zu einer Erniedrigung der im Körper mit dem Blut zirkulierenden Melatoninkonzentration. Damit wird der hemmende Effekt von Melatonin auf die Produktion einiger Hormone (Estrogene, Prolaktin) reduziert. Die daraus resultierende erhöhte Konzentration von Estrogenen und Prolaktin stimuliert die Stammzellproliferation in der weiblichen Brustdrüse und erhöht dadurch das Brustkrebsrisiko (Stevens et al. 1997). Diese Hypothese, die erstmals von Richard Stevens aufgestellt wurde (1987), konnte von der Arbeitsgruppe Löscher in einem Brustkrebsmodell an Ratten bestätigt werden (Löscher 2001). Die Stärke (Flussdichte; gemessen in Tesla) der niederfrequenten (50 Hertz) magnetischen Felder, die im Rattenmodell ko-kanzerogen wirkte, lag bei 50–100 µTesla, d. h. im Bereich des in Deutschland mit der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgelegten Grenzwertes (100 µTesla) für 50 Hertz-Magnetfelder. In Analogie zu unseren Untersuchungen an Versuchstieren ließen mehrere epidemiologische Studien in den USA und in Schweden einen Zusammenhang zwischen erhöhtem Brustkrebsrisiko und Magnetfeldexposition im µTesla-Bereich erkennen (Erren 2001).

Melatonin, das bei allen Säugetieren v. a. in der Nacht gebildet wird, spielt aber auch eine wichtige Rolle als endogener Radikalfänger und als Immunmodulator, so dass eine reduzierte Melatoninproduktion auch für andere Krebstypen und andere Erkrankungen relevant sein könnte (Bartsch et al. 2001). Eine sehr große Anzahl epidemiologischer Untersuchungen zeigte in den letzten rund 20 Jahren einen Zusammenhang zwischen erhöhter Exposition (> 0,3 µTesla) in niederfrequenten Magnetfeldern (z. B. in der Nähe von Hochspannungsmasten) und kindlichen Leukämien (Ahlbom et al. 2001, Portier u. Wolfe 1998). Diese besorgniserregenden Befunde führten dazu, dass zunächst die Gesundheitsbehörde der U.S.A., später auch die „International Agency for Research on Cancer (IARC)“ der Weltgesundheitsorganisation (WHO) niederfrequente (50 oder 60 Hertz) Magnetfelder als „mögliches Karzinogen“ für den Menschen einstuften (Portier u. Wolfe 1998, WHO 2002). Bisher sind jedoch weder diese tierexperimentellen noch epidemiologischen Befunde bei der Grenzwertfestlegung in Deutschland berücksichtigt worden.

Neben einem möglichen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und Krebsrisiken gibt es umfangreiche Hinweise auf Interaktionen von Magnetfeldern mit dem Hormonhaushalt (s. o.), dem Biorhythmus, dem Immunsystem, dem Nervensystem, dem Verhalten und psychischen Funktionen, die zu Beeinträchtigungen der Gesundheit führen können (Adey 1993, Blank 1995, Frey 1993, Löscher u. Liburdy 1998, Portier u. Wolfe 1998, WHO 2002). Hierbei wird häufig vergessen, dass nicht nur der Mensch, sondern auch exponierte Haus- und Nutztiere solchen gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Feldexposition, z. B. in der Nähe von Hochspannungsmasten, ausgesetzt sein können (Marks et al. 1995). So war ähnlich zu epidemiologischen Studien an Menschen auch bei weiblichen Hunden, die in Wohnräumen in der Nähe von Hochspannungsmasten gehalten wurden, das Brustkrebsrisiko signifikant (um das siebenfache) gegenüber nicht-exponierten Tieren erhöht (Reif et al. 1995). Untersuchungen an Rindern mit erhöhter Exposition in niederfrequenten Magnetfeldern, die entweder als Feldbeobachtung oder mit kontrollierter Stallexposition durchgeführt wurden, zeigten Veränderungen von Leistung und Gesundheit wie Rückgang der Milchleistung, veränderter Milchzusammensetzung und Fertilitätsprobleme, die jedoch zum Teil in anderen Untersuchungen nicht bestätigt wurden (Algers u. Hultgren 1985 a, b, 1987, Amstutz u. Miller 1980, Anderson 2000, Angell et al. 1990, Broucek et al. 2001, 2002, Burchard et al. 1996, 1998, Marks et al. 1995, Martin et al. 1986, Rodriguez et al. 2002, 2003). Auch Untersuchungen an anderen landwirtschaftlichen Nutztieren kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen (Anderson 2000). Generell ist die Reproduzierbarkeit von biologischen Effekten niederfrequenter elektromagnetischer Felder ein Problem, da die beobachteteten Effekte häufig moderat und variabel sind (Anderson et al. 2000). Dies ist aber nicht nur ein Problem bei der Untersuchung der „elektromagnetischen Veträglichkeit“, sondern auch bei anderen potentiell risiko-belasteten aber nur schwach wirksamen physikalischen oder chemischen Agentien in der Toxikologie (Hayes 1994). Deshalb ist die Kenntnis der Einflussgrößen, die die Variabilität eines Effektes bestimmen, von größter Bedeutung für die Risikoabschätzung elektromagnetischer Felder (Anderson et al. 2000). Neuere Untersuchungen der Arbeitsgruppe Löscher weisen darauf hin, dass die gesundheitlichen Auswirkungen niederfrequenter magnetischer Felder von genetischen Faktoren abhängen, die die Variabilität der Ergebnisse zwischen ver-

schiedenen Untersuchungen zumindest zum Teil erklären könnten (Anderson et al. 2000). Die Bedeutung genetischer Faktoren für Magnetfeldeffekte wurde auch für landwirtschaftliche Nutztiere diskutiert (Di Carlo u. Litovitz 1999).

Hochfrequente elektromagnetische Wellen breiten sich, im Gegensatz zu niederfrequenten Feldern, im freien Raum völlig ungehindert über große Entfernungen aus, haben jedoch im Gegensatz zu niederfrequenten Magnetfeldern eine begrenzte Eindringtiefe in biologisches Gewebe (Mathes 1996). Die absorbierte Energie wird im Körperinneren hauptsächlich in Wärme umgewandelt. Ein Maß dafür ist die spezifische Absorptionsrate (SAR) in Watt pro Kilogramm, die die Energie beschreibt, die pro Kilogramm Körpergewicht in einer bestimmten Zeit aufgenommen wird. Die Eindringtiefe von elektromagnetischen Feldern ist generell bei hohen Frequenzen geringer als bei niedrigen Frequenzen. Während der so genannte thermische Effekt starker hochfrequenter elektromagnetischer Felder unstrittig ist und zu Schädigungen führen kann, werden nichtthermische Wirkungen schwacher hochfrequenter elektromagnetischer Felder kontrovers diskutiert (Bernhardt et al. 1997, Juutilainen u. de Seze 1998, Krewski et al. 2001, Repacholi 2001). Diskutiert werden besonders athermische Wirkungen auf die Entstehung von Krebs, auf die Embryonalentwicklung oder auf das neuronale oder endokrine System (Bernhardt et al. 1997, Krewski et al. 2001). Auch Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Reizbarkeit, Ermüdungserscheinungen und Augenreizungen werden von einigen Wissenschaftlern auf nichtthermische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder zurückgeführt. Befindlichkeitsstörungen sind aber ohne entsprechende Kontrolluntersuchungen schwer wissenschaftlich zu beurteilen, da der Mensch durch Medienberichte über „Elektrosmog“ verunsichert wird, und es allein dadurch zu derartigen, psychosomatisch ausgelösten Störungen kommen kann. Derartige subjektive Faktoren können bei tierexperimentellen Untersuchungen oder Felduntersuchungen an landwirtschaftlichen Nutztieren ausgeschlossen werden.

Neben der Frequenz spielt die Feldstärkeamplitude eine entscheidende Rolle für die Induktion biologischer oder gesundheitlicher Effekte elektromagnetischer Felder. Auch bei hochfrequenten Feldern muss dabei zwischen der elektrischen Feldstärke (E) in Volt pro Meter und der magnetischen Feldstärke (H) in Ampere pro Meter unterschieden werden. Als Maß für eine Immission oder Exposition in hochfrequenten Feldern wird häufig die Leistungsflussdichte (S) verwendet , die (stark vereinfacht) das Produkt aus der elektrischen und der magnetischen Feldstärke darstellt. Zum Schutz vor niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern im nicht-ionisierenden Bereich (s. Abb. 1) wurden in Deutschland mit der 26. BlmSchV Grenzwerte festgelegt, die sich bei hochfrequenten Feldern jedoch an den thermischen Effekten der Felder orientieren und athermische Wirkungen unberücksichtigt lassen.

Zum mobilen Telefonieren wurde in der Bundesrepublik Deutschland nach den Vorgänger-Netzen A (1958) und B (1972) 1984 das technisch verbesserte C-Netz (450-465 MHz) eingeführt, dessen Kapazität jedoch ab etwa 1992 ausgeschöpft war. Seitdem wurde mit den D- (890–960 MHz) und E-Netzen (1760–1865 MHz) das GSM (Global System for Mobile Communication) eingeführt, der europaweit gängige genormte Mobilfunkstandard. Zur Zeit wird mit UMTS (Universal Mobile Telephone Services, 1900–2170 MHz) die flächendeckende Mobilfunknutzung auch für Fotos, Musik und Drucktexte ausgebaut.

Der Teil des elektromagnetischen Spektrums, der vom Mobilfunk genutzt wird, gehört zu den hochfrequenten Feldern. Dabei kann Information (z. B. Sprache) auf unterschiedliche Weise transportiert werden:

Beim analogen Rundfunk wird die Information der hochfrequenten Trägerwelle aufmoduliert, indem ihre Amplitude (AM-Rundfunk im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich) bzw. ihre Frequenz (FM-Rundfunk im Ultrakurzwellen[UKW)]-Bereich, analoge Mobiltelefone, C-Netz) verändert wird. Der Zugriff am Empfänger auf die verschiedenen Signale erfolgt dann durch Abstimmung auf die jeweilige Trägerfrequenz.

Dagegen nutzen die modernen Mobilfunk-Kommunikationssysteme ausschließlich digitale Modulationsverfahren, bei denen die analoge Information zunächst in einen Signalstrom einzelner „Bits“ der Amplitude „0“ oder „1“ umgewandelt und in einen digitalen Code verpackt wird (sog. „Quellencodierung“). Die Aufbereitung dieser Digitalsignale zur Übertragung mit einem hochfrequenten Träger geschieht nach systemspezifischen Regeln in der sog. „Kanalcodierung“, bei der meist eine digitale Phasenmodulation des Trägers verwendet wird.

Ein Spezifikum der unterschiedlichen Mobilfunksysteme ist außerdem das sog. Zugriffsverfahren, d. h. die Methode, nach der aus der Vielzahl der auf der Luftschnittstelle vorhandenen Signale das für den jeweiligen Empfänger bestimmte Signal herausgefiltert wird. Man unterscheidet nach Zugriffszeiten (time domain multiple access[TDMA]), Zugriffsfrequenzen (frequency domain multiple access[FDMA]) und Zugriffscodes (code domain multiple access[CDMA]).

- TDMA – Bei diesem Verfahren stehen einem Teilnehmerkanal nur kurze, periodisch wiederkehrende Zeitintervalle zur Verfügung, in denen die zugeordnete Information übertragen werden kann. Nachbarkanäle werden zeitversetzt abgearbeitet. Beim GSM-System führt diese Zeitschlitzstruktur beispielsweise auf die typische 217 Hz-Pulsung des Hochfrequenzträgers.
- FDMA – Bei dieser Zugriffsart werden unterschiedlichen Kanälen unterschiedliche Trägerfrequenzen zugewiesen. Häufig sind FDMA und TDMA in einem System kombiniert. Bei GSM werden beispielsweise grundsätzlich auch „uplink“ (Verbindung Handy-Basisstation) und „downlink“ (Verbindung Basisstation-Handy) frequenzmäßig voneinander getrennt.
- CDMA – Bei diesem Zugriffsverfahren werden die mit derselben Trägerfrequenz übertragenen Kanäle dadurch unterschieden, dass jeder mit einem eigenen digitalen Code belegt ist, den nur der berechtigte Empfänger entschlüsseln kann. Bei UMTS werden (neben FDMA und teilweise TDMA) für dieses ▸▸

Verfahren Codes von 5 MHz Bandbreite verwendet, was den „rauschähnlichen" Charakter der Zeitverläufe von UMTS-Signalen bedingt. Erwähnt werden soll noch die obligatorische schnelle Leistungsregelung bei UMTS, die zu zusätzlichen 1,5 kHz-Schwankungen der Hochfrequenzleistung führt.

Das Mobilfunknetz wird von fest installierten Sendern, den Basisstationen (Sende- und Empfangsstation für den Funkverkehr einer Region) gebildet. Eine Basisstation versorgt je nach abgestrahlter Leistung und Nutzerdichte ein Gebiet mit bis zu 30 km Ausdehnung. Die drahtlose Informationsübertragung geschieht mit Hochfrequenzfeldern, die von den Sendeantennen abgestrahlt werden. Um die Anzahl der Mobilfunkstandorte auf ein Mindestmaß zu beschränken, werden die Antennenträger (z. B. Sendetürme) oft von mehreren Mobilfunkbetreibern gemeinsam benutzt. Zum Betreiben eines Senders benötigt der Betreiber eine Standortbescheinigung der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, in der Sicherheitsabstände zu Wohngebieten geregelt werden.

Elektromagnetische Felder (oder Wellen), die ein Sendeturm abstrahlt, breiten sich in Lichtgeschwindigkeit aus und werden von den Antennen der Mobiltelefone empfangen und abgestrahlt. Für die Exposition von Mensch und Tier ist einerseits die Leistungsflussdichte der hochfrequenten elektromagnetischen Felder (Funkwellen) von Bedeutung, andererseits kommt der Pulsung des hochfrequenten Feldes möglicherweise eine erhebliche Rolle für biologische Effekte zu (s. u.). Eine Exposition kann einerseits durch die Abstrahlung der Felder von Sendeanlagen erfolgen, andererseits beim Menschen natürlich durch die Handybenutzung selbst. Für die Exposition in der Nähe von Basisstationen/Sendeanlagen ist außerdem die Versorgung der Station mit Strom, also das dadurch entstehende 50-Hertz Magnetfeld, zu beachten.

Art und Größe der Immission in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage (Basistation) hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, die nicht voneinander isoliert betrachtet werden dürfen (Mathes 1996). So wird die Immission stark von der Größe bzw. Leistung der Anlage, von den verwendeten Sendeantennen und ihrer Ausrichtung, vom Abstand zur Basisstation sowie von umliegenden Gebäuden oder der Vegetation beeinflusst. Deswegen ist im allgemeinen zur exakten Immissionsermittlung an einem bestimmten Ort eine Messung der Felder unumgänglich. Typischerweise liegen die dabei ermittelten Leistungsdichten (in Watt pro Quadratmeter) oder Feldstärken (in V/m oder A/m) hochfrequenter elektromagnetischer Felder weit unter den Grenzwerten der 26. BImSchV, also im niedrigen athermischen Bereich, was aber nicht bedeutet, dass diese Felder keine biologischen oder gesundheitlichen Effekte ausüben.

Zu möglichen Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gesundheit, Leistung oder Verhalten von landwirtschaftlichen Nutztieren lagen i. G. zu Untersuchungen mit niederfrequenten Feldern (s. o.) bis vor kurzem kaum Untersuchungen vor. Balode (1996) fand im Blut von Rindern einer Farm in der Nähe einer Radarsendeanlage eine signifikante Erhöhung von Mikronuklei in Erythrozyten, ein Hinweis auf einen erbgutschädigenden (genotoxischen) Effekt der Exposition. Mikronuklei entstehen infolge der Einwirkung klastogener Agenzien, z. B. ionisierender Strahlung, auf die Zelle während der Mitose oder durch Interferenz des Spindelapparates und werden nach einer speziellen Anfärbung histologisch als kleine Körperchen in Erythrozyten sichtbar (Almassy et al. 1987). Mikronuklei sind ein Indiz für Chromosomenbrüche und Chromosomenaberrationen. Ein Anstieg der Häufigkeit von Mikronuklei ist daher ein Indikator für morphologische, d. h. klastogene oder numerische Chromosomenanomalien (Almassy et al. 1987). Die normale Häufigkeit von Mikronuklei in Erythrozyten ist sehr niedrig und liegt beim Rind bei etwa 0,1 Mikronukleus/1000 Erythrozyten (Balode 1996). Aufgrund der Befunde von Balode (1996) wurde die Häufigkeit der Mikronuklei in Erythrozyten von Rindern deshalb auch in der Nähe von Mobilfunksendeanlagen untersucht (s. u.).

Fallbeschreibungen der Auswirkung elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von Rindern

Der erste und wohl bekannteste Fall eines möglichen Zusammenhangs zwischen Feldexposition und Leistung, Gesundheit und Verhalten von Rindern ist der Fall Altenweger in Schnaitsee, Bayern. Seit Herbst 1995 bemerkte der Landwirt Altenweger erhebliche Verhaltensänderungen, Gesundheitsbeeinträchtigungen (u. a. Entzündungen der Augen), Fertilitätsprobleme, Fehl- oder Missgeburten, vermehrte Zwillingsgeburten und Minderungen der Milchleistung und des Milchfettgehaltes seiner Kühe. Vor diesen Problemen war der Bestand mehrfach für die hohe Milchleistung seiner Kühe prämiert worden. Ein Tierarzt des zuständigen Veterinäramtes vermutete nach Ausschluss zahlreicher anderer Ursachen am ehesten die elektromagnetische Hochfrequenzimmission nahegelegener Fernseh- und Mobilfunksendetürme als Ursache. Auf den Sendetürmen, die sich in 300–500 m Entfernung vom Bestand befinden, sind mehrere Fernseh-, Rundfunk-, Richtfunk- und Mobilfunksendeanlagen installiert (s. Löscher u. Käs 1998). Der Fernsehturm war schon vor Installation von Mobilfunksendern in Betrieb, ohne dass es zu einer erkennbaren Beeinträchtigung von Gesundheit oder Leistung der in der Nähe gehaltenen Milchkühe des Bestandes Altenweger kam. Erst nach der Installation der Mobilfunksender ab 1995 traten diese Beeinträchtigungen auf. Eine vom Veterinäramt veranlasste Umstallung zweier Kühe in einen 20 km entfernten Betrieb mit gleicher Aufstallung führte zu einer Besserung bzw. zu einem Verschwinden der Symptome. Nach Zurückverbringen in den Bestand traten die Verhaltensauffälligkeiten der Tiere wieder auf. Dieser Fall wurde ausführlich von Löscher und Käs 1998 auf der Basis der Untersuchungen des Amtstierarztes beschrieben. Löscher und Käs (1998) vermuteten aufgrund experimenteller Befunde, dass hochfrequente elektromagnetische Felder als Stressor wirken, der bei Hochleistungskühen, die auf jede stressbedingte Veränderung ihrer Umwelt oder Haltung sensibler reagieren als Tiere, die nicht diese extreme Milchleistung erbringen, zu den aufgetretenen Veränderungen führen kann. Ziel der Veröffentlichung war, die tierärztliche Öffentlichkeit und die Landwirtschaft auf die Möglichkeit von Effekten von Mobilfunksendeanla-

gen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von Rindern aufmerksam zu machen. Mit ähnlichem Ziel wurde der Fall auch in der landwirtschaftlichen Presse beschrieben. Auf die Veröffentlichungen meldeten sich mehrere Landwirte und Tierärzte aus Bayern und anderen Bundesländern mit ähnlichen Fallberichten. Auffällig war immer wieder das Auftreten von Fertilitätsstörungen, Zunahme von Fehl-, Zwillings- oder Missgeburten und Reduktion der Milchleistung, die von mehreren Milchviehbetrieben nach Inbetriebnahme nahegelegener Mobilfunksendeanlagen berichtet und von unabhängiger Seite dokumentiert wurden (s. z. B. Schweinberger 1998). Diese Probleme traten vor allem bei Hochleistungskühen, also Tieren mit sehr hoher Milchleistung, auf. Sowohl das Bundesamt für Strahlenschutz als auch das bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (BStMLU) wiesen jeden möglichen kausalen Zusammenhang zwischen Exposition von Kühen in der Nähe von Mobilfunksendern und Beeinträchtigungen von Leistung und Gesundheit kategorisch zurück, da die in Beständen gemessenen Feldstärken weit unter den Grenzwerten der BImSchV lagen. Um eine Klärung herbeizuführen, beschloss jedoch das bayerische Umweltministerium die Durchführung einer prospektiven Feldstudie („Rinderstudie"), in der untersucht werden sollte, ob sich in mobilfunksendeanlagen-nahen Bauernhöfen vermehrt Fehlgeburten, Leistungsminderungen oder Verhaltensänderungen nachweisen lassen (BStMLU 2001). Diese Klärung schien aus mehreren Gründen notwendig.

- Die Leistungseinbussen und damit verbundenen Einkommensverluste im Bestand Altenweger und einigen anderen mobilfunkexponierten Beständen waren so hoch, dass sich andere Landwirte zunehmend weigerten, der Aufstellung eines Mobilfunksenders auf ihrem Gelände zuzustimmen, was für die Telekommunikationsindustrie v. a. in Hinblick auf den geplanten Ausbau des UMTS-Netzes erhebliche Konsequenzen hat.
- Wenn Kühe auf athermische elektromagnetische Felder deutlich unterhalb der bestehenden Grenzwerte reagieren, wären auch Risiken für den Menschen nicht länger auszuschließen. Damit wäre das derzeitige Grenzwertkonzept, welches nur akute thermische Wirkungen berücksichtigt, nicht länger haltbar.
- Damit stehen staatliche Stellen, die bisher alle unspezifischen Beschwerden von Menschen in der Nähe von Mobilfunksendern mit dem Hinweis auf Grenzwerte als psychosomatisch abtaten, vor einem erheblichen Glaubwürdigkeitsproblem, was für das Vertrauen und die Akzeptanz des Bürgers hinsichtlich des Vorsorgeprinzips staatlicher Entscheidungen im Rahmen des Risikomanagements nicht gerade förderlich ist.

Erste Feldstudie zur Untersuchung der Auswirkung elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von Rindern

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern" wurden im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (BStMLU) in den Jahren 1998 bis 2000 umfangreiche Untersuchungen in landwirtschaftlichen Betrieben mit Rinderhaltung durchgeführt (BStMLU 2001). Zwei Universitätsinstitute wurden vom BStMLU mit den Untersuchungen beauftragt: das Institut für Tierhygiene, Verhaltenskunde und Tierschutz (Prof. J. Unshelm) der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München und das Fachgebiet Veterinärmedizinische Genetik und Zytogenetik (Prof. A. Herzog) der Justus-Liebig-Universität Gießen. Die Messung der elektromagnetischen Exposition in den einzelnen Betrieben erfolgte durch die Ingenieurgemeinschaft für Geowissenschaften und Umwelttechnik (Dr. M. Wuschek), München. Dabei sollten sowohl die Feldstärken in den Stallgebäuden als auch auf der Weise gemessen werden, da die Exposition auf der Weide durch die fehlende Gebäudedämpfung deutlich höher als im Stall sein kann. Außerdem sollten auch hochfrequente Felder durch Rundfunk- und TV-Sender miterfasst werden, die aufgrund der flächendendeckenden Versorgung an jedem Ort vorhanden sind und in ihrer Stärke im Vergleich zum Mobilfunk häufig stark unterschätzt werden.

Die Untersuchung wurde durch Mittel von Mobilfunkbetreiberfirmen (Mannesmann Mobilfunk, E-plus, VIAG Interkom) finanziell unterstützt. Die Betreiberfirmen schlugen auch aufgrund ihrer Daten zu Standorten von Mobilfunksendeanlagen einen Teil (14) der exponierten Betriebe vor. Fünf Betriebe, in denen sich Probleme nach Installation von Mobilfunksendeanlagen entwickelt hatten, so auch der Betrieb Altenweger, wurden auf Vorschlag des BStMLU in die Untersuchungen mit einbezogen. Außerdem wurden 19 weitere Betriebe durch Haustierärzte, die untersuchenden Wissenschaftler sowie auf Selbstvorschlag der Betriebe für die Untersuchung, ausgewählt. Insgesamt nahmen 38 Rinderbestände mit zusammen etwa 1 000 Kühen in Bayern und Hessen an der Untersuchung teil. Die Betriebe befanden sich zu etwa gleichen Teilen in unmittelbarer Nähe oder in sehr weiter Entfernung zu Mobilfunksendeanlagen des D- und E-Netzes. Mit dieser Auswahl sollte erreicht werden, dass die Rinderhaltungen in zwei Gruppen mit möglichst stark unterschiedlicher Feldexposition unterteilt werden können (BStMLU 2001). Nach Abschluss der Untersuchungen wurde vom BStMLU in München am 29. November 2000 ein Abschlusskolloquium mit einem Expertengremium aus den Untersuchern, Vertretern der Mobilfunkunternehmen und des Ministeriums sowie einigen eingeladenen Wissenschaftlern durchgeführt, an dem auch W. Löscher teilnahm. Auf diesem Abschlusskolloqium wurden von den beteiligten Gruppen Untersuchungsergebnisse gezeigt und diskutiert, die nur zum Teil Eingang in den vom BStMLU publizierten Abschlussbericht fanden (BStMLU 2001). Die im Folgenden zusammengefassten Untersuchungsergebnisse und ihre Bewertung beruhen deshalb auf den Informationen des Abschlussberichtes und des Abschlusskolloqiums sowie der persönlichen Einschätzung der Ergebnisse durch W. Löscher, die zum Teil erheblich von der Einschätzung des BStMLU abweichen, aber auf den gleichen Ergebnissen basieren. Leider wurden bei der Planung der Untersuchung einige gravierende Fehler gemacht (s. u.), sodass die Untersuchung nur sehr begrenzte Aussagen erlaubt.

Anhand der gemessenen Expositionssituation der Bestände wurden die 38 Betriebe in vier Expositionsgruppen (A-D) unterteilt. In allen Betrieben lagen die im Stall gemessenen Feldstärken weit unter den gesetzlichen Grenzwerten. Für die Gesamtimmission wurden wie bereits angesprochen auch hochfrequente Felder durch TV und Radio berücksichtigt:

- Gruppe A: höchste Mobilfunkexposition (Summenexposition durch GSM-Felder über 0,337 Promille des gesetzlichen Grenzwertes; die tatsächlichen Werte lagen zwischen 0,857 und 5,193 Promille. Die GSM-Immission machte mehr als 50 % der Gesamtimmission am Messort aus).
- Gruppe B: höchste Mobilfunkexposition (Summenexposition durch GSM-Felder über 0,337 Promille; die GSM-Immission machte jedoch weniger als 50 % der Gesamtimmission am Messort aus).
- Gruppe C: Niedrige Mobilfunkexposition (Summenexposition durch GSM-Felder unter 0,337 Promille des gesetzlichen Grenzwertes. Die Summenexposition, verursacht durch andere Quellen wie TV und Radiosender lag allerdings über dem Durchschnitt aller Messungen)
- Gruppe D: Niedrige Mobilfunkexposition (Summenexposition durch GSM-Felder unter 0,337 Promille des gesetzlichen Grenzwertes; die tatsächlichen Werte lagen zwischen 0,017 und 0,192 Promille. Die Summenexposition, verursacht durch andere Quellen, lag unter dem Durchschnitt aller Messungen).

Der Wert 0,337 Promille wurde als willkürlicher Schnittwert gewählt; der höchste im Stall gemessene Mobilfunkexpositionswert lag bei 5,2 Promille des Grenzwertes. Nach dieser Einteilung lag die gegensätzlichste Exposition bei Gruppe A (12 Betriebe) und Gruppe D (13 Betriebe) vor; im Durchschnitt waren die Höfe der Gruppe A um den Faktor 50 stärker GSM-exponiert als die Betriebe der Gruppe D. Diese Höfe waren damit besonders gut für die Beurteilung der möglichen Effekte einer Mobilfunkexposition geeignet, da Effekte durch Felder von anderen Funkdiensten (TV, Radio etc.) als dem GSM-Mobilfunk besonders unwahrscheinlich waren. Gleichzeitig muss jedoch beachtet werden, dass nicht auszuschließen ist, dass es gerade bei gleichzeitig hoher Exposition in Feldern unterschiedlicher Funkdienste (Beispiel Altenweger, s. o.) zu Problemen kommt. Die Expositionswerte auf der Weide lagen zum Teil deutlich (bis 22fach) höher als die Werte im Stall, erreichten jedoch maximal auch nur 9 Promille des derzeitigen Grenzwertes.

Alternativ wurde eine einfachere Einteilung in zwei Gruppen nur unter Betrachtung der GSM-Felder vorgeschlagen: zu Gruppe E (Exposition) würden alle Betriebe gehören, bei denen die Mobilfunkexposition über 0,337 Promille des Grenzwertes lag, zu Gruppe K (Kontrolle) alle anderen Betriebe. Gruppe E enthielte die Betriebe der Gruppen A und B, Gruppe K die Betriebe aus C und D. Bei dieser Einteilung in E und K wären die Höfe der Gruppe E um den Faktor 23 stärker GSM-exponiert als die Betriebe der Gruppe K.

Die in jedem Stall zusätzlich durchgeführte Messung der niederfrequenten Magnetfelder ergab in keinem Bestand Werte über 0,3 µTesla, sodass niederfrequente Felder für die weitere Betrachtung möglicher Effekte elektromagnetischer Felder in den untersuchten Beständen vernachlässigt werden konnten (BStMLU 2001).

Der Betrieb Altenweger in Schnaitsee nahm im Vergleich zu allen anderen untersuchten Betrieben eine außergewöhnliche Stellung ein. In diesem Bestand war die Exposition durch Felder im Frequenzbereich des C-Netzes ungewöhnlich hoch (etwa 17-mal größer als der Durchschnitt). Auch die Felder von UKW und TV waren hier, v. a. auf der Weide, durch einen großen Sendeturm der Telekom am stärksten ausgeprägt, während die Exposition durch GSM-Mobilfunk durchschnittlich war (BStMLU 2001).

Bei Betrachtung der Bundesländer (Bayern, Hessen), in denen die Betriebe liegen, fiel bei der Diskussion der Untersuchungen auf, dass der weit überwiegende Teil (17 von 21) der Mobilfunk-exponierten Betriebe der Gruppe E in Bayern lag, während der weitaus überwiegende Teil (13 von 17) der „Kontrollbetriebe" der Gruppe K in Hessen lag. In Bayern und Hessen werden jedoch unterschiedliche Rinderrassen gehalten, und die Haltungsbedingungen unterscheiden sich zum Teil erheblich. So befanden sich Betriebe mit rotbunten und schwarzbunten Rindern ausschließlich in Hessen, Betriebe mit Braunvieh ausschließlich in Bayern, während Fleckvieh in beiden Bundesländern vertreten war. Damit ist z. B. der in den erwähnten Fallbeschreibungen sensible Faktor Milchleistung nicht beurteilbar, da die mittlere Milchleistung der Rinderrassen der überwiegend in Bayern lokalisierten exponierten Betriebe aufgrund von Rasseunterschieden von vorherein deutlich unter der Milchleistung der Kühe der überwiegend hessischen Kontrollbetriebe liegt.

Ein weiteres Problem ergab sich durch das Vorkommen der Bovinen Virusdiarrhoe (BVD) in den Beständen. Leider war eine Untersuchung auf BVD zunächst nicht geplant, sodass sich zahlreiche BVD-positive Betriebe in der Untersuchung befanden, was erst im Verlauf der Untersuchung auffiel. Da BVD in Bayern im Untersuchungszeitraum häufiger vorkam als in Hessen, ergab sich möglicherweise bereits aus der unterschiedlichen Expositionsverteilung zwischen den beiden Bundesländern, dass BVD in exponierten bayerischen Betrieben häufiger vorkam als in den hessischen Kontrollbetrieben. Es fragt sich natürlich, ob die auffällig hohe Infektionsrate mit BVD bei den Mobilfunk-exponierten bayerischen Betrieben auf das häufigere Vorkommen von BVD in Bayern oder zumindestens zum Teil auch auf die Mobilfunkexposition zurückzuführen ist. Trotz dieser aufgrund von Planungsfehlern entstandenen Einschränkungen in der Aussagefähigkeit der Untersuchung ergaben sich einige besorgniserregende Unterschiede zwischen exponierten Betrieben und Kontrollbetrieben, die nicht durch geographische Faktoren oder BVD zu erklären waren.

(1) Der m. E. besorgniserregenste Befund der Studie ist eine dramatisch erhöhte Zahl von missgebildeten Kälbern (Missgeburten mit z. B. Gliedmaßenanomalien) in den exponierten Beständen (38 missgebildete Kälber in den exponierten versus 11 in den Kontrollbeständen) im Untersuchungszeitraum. Da eine BVD-Infektion Miss-

geburten fördern kann, wurde dieser Befund auf die erhöhte Inzidenz von BVD in den exponierten Beständen zurückgeführt. Allerdings traten auch in nicht-BVD-infizierten Beständen mit Mobilfunk-Exposition mehr als doppelt soviel Missgeburten auf (12) wie bei nicht-BVD-infizierten Kontrollbeständen (5).

(2) In den exponierten Betrieben traten vermehrt Erkrankungen (z. B. Augenentzündungen) auf, die auch schon in dem von Löscher und Käs (1998) anekdotisch berichteten Fall in Schnaitsee beobachtet worden waren.

(3) Aufgrund der Publikation zu Mikrokernen in Erythrozyten von Rindern in der Nähe einer Radaranlage (Balode 1996) wurde auch das Vorkommen von Mikrokernen in der bayerischen Rinderstudie untersucht. Mikrokerne, die normalerweise nur sehr selten in Erythrozyten auftreten, sind ein Hinweis auf eine erbgutschädigende Wirkung und werden z. B. durch ionisierende Strahlen oder krebserzeugende Chemikalien hervorgerufen. In der bayerischen Untersuchung an Milchkühen wurde keine Zunahme von Erythrozyten mit Mikrokernen bei mobilfunk-exponierten Kühen festgestellt, allerdings hatten mobilfunk-exponierte Rinder signifikant häufiger als Kontrollrinder zwei Mikrokerne pro Erythrozyt, ein unerwarteter und besorgniserregender Befund. Weitere Hinweise auf genotoxische Wirkungen (z. B. Schwesterchromatidaustausche) gab es jedoch nicht.

(4) Schließlich ergaben sich eindeutige Verhaltensänderungen bei Mobilfunk-exponierten Kühen. So zeigten exponierte Tiere kürzere Liegezeiten und eine erniedrigte Wiederkaudauer und -frequenz (Wenzel et al. 2002), was in der Konsequenz zu einer schlechteren Nahrungsverwertung führt und den von Löscher und Käs (1998) berichteten Rückgang der Milchleistung bei exponierten Kühen erklären könnte. In der bayerischen Studie wurde der Einfluss einer Mobilfunk-Exposition auf die Milchleistung leider nicht eingehend untersucht. Die umfangreichen verhaltensphysiologischen Untersuchungen der Arbeitsgruppe Unshelm sind der bisher einzige Teil der bayerischen Rinderstudie, der ausführlich in einer Fachzeitschrift publiziert wurde (Wenzel et al. 2002). Für die Untersuchungen wurden BVD-erkrankte Tiere ausgeschlossen, um Verhaltensänderungen möglichst eindeutig der Exposition in hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zuordnen zu können. Analog zu Löscher und Käs (1998) führt auch die Gruppe von Unselm die in ihren Untersuchungen beobachteten Befunde an exponierten Kühen auf eine chronische Stressbelastung durch das hochfrequente elektromagnetische Feld zurück, was durch die Messung von Speichelcortisolkonzentrationen im ACTH-Stimulationstest unterstützt wurde (Wenzel et al. 2002).

Zusammenfassend zeigt die bayerische Untersuchung an Mobilfunk-exponierten Milchkuhbeständen also eine Reihe von Tendenzen, die besorgniserregend sind und dringend der weiteren Abklärung bedürfen. Die bisher vorliegenden Beobachtungen könnten dadurch erklärt werden, dass elektromagnetrische Felder im Sinne eines chronischen Stressors wirken, der zu Leistungs- und gesundheitlichen Veränderungen führt. Diese Annahme wird durch zahlreiche experimentelle Befunde unterstützt (zur Übersicht s. Smith 1996). Dagegen ist die Rolle des in Zusammenhang mit biologischen Effekten elektromagnetischer Felder oft zitierten Hormons Melatonin (s. o.) für die Vermittlung biologischer Effekte einer Exposition in hochfrequenten mobilfunk-relevanten Feldern umstritten (Bortkiewicz et al. 2002, Burch et al. 2002, de Seze et al. 1999). In einer Untersuchung an Personen am Arbeitsplatz führte häufiges Benutzen eines Handys zu einer signifikanten Reduktion der Melatoninkonzentration (gemessen durch die nächtliche Urinausscheidung des Melatoninmetaboliten 6-Hydroxymelatoninsulfat), die durch gleichzeitig erhöhte Exposition in einem niederfrequenten (60 Hertz) Feld verstärkt wurde (Burch et al. 2002). Dagegen zeigten Untersuchungen mit experimenteller (im Labor durchgeführter) Exposition von Freiwilligen keinen Effekt einer Mobilfunkexposition auf die Melatoninkonzentration (Bortkiewicz et al. 2002, de Seze et al. 1999, Radon et al. 2001). Ähnliche Widersprüche zwischen Arbeitsplatz- und Laboruntersuchungen hatte es bereits bei Exposition in niederfrequenten Magnetfeldern gegeben, so dass geschlossen wurde, dass Laboruntersuchungen „Real-Life"-Expositionen nicht adäquat wiedergeben (Burch et al. 1999). Untersuchungen an Milchkühen in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage ergaben keine signifikante Veränderung der Melatoninkonzentrationen im Speichel (Stärk et al. 1997). Auch in der bayerischen Rinderstudie wurden keine Hinweise auf eine Erniedrigung der Melatoninkonzentration im Speichel exponierter Kühe gefunden (BStMLU 2001). Der Nacht-Tag-Rhythmus der Melatoninproduktion, die erhebliche intra- und interindividuelle Varianz der Melatoninkonzentrationen und die bereits für niederfrequenten Magnetfeldern berichtete Variabilität der Effekte von elektromagnetischen Feldern auf die Melatoninkonzentration in Pinealorgan und Plasma (Löscher et al. 1998) erschweren jedoch abschließende Aussagen zu möglichen Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Melatoninproduktion bei Rindern erheblich. Hinzu kommt, dass für niederfrequente magnetische Felder gezeigt wurde, dass unabhängig von der *Konzentration* von Melatonin die *Wirkung* von Melatonin durch Magnetfelder beeinträchtigt wird (Löscher u. Liburdy 1998). Derartige Untersuchungen liegen für hochfrequente elektromagnetische Felder bisher nicht vor, sodass eine Beteilung des Melatonin-Systems an den Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Leistung und Gesundheit von Rindern m. E. nicht ausgeschlossen werden kann.

Epidemiologische Studie zur Auswirkung elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von Rindern

Zur weiteren Abklärung der Auswirkung von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung und Gesundheit von Kühen plant eine Reihe von Arbeitsgruppen der Tierärztlichen Hochschule Hannover eine umfangreiche, prospektive Untersuchung bei Mobilfunk-exponierten Milchviehbeständen und Kontrollbeständen in Niedersachsen. Folgende Institute und Kliniken der TiHo wollen sich an der Untersuchung beteiligen:

◄◄ Koordination/Epidemiologie/Biometrische Auswertung: Prof. L. Kreienbrock, Institut für Biometrie, Epidemiologie und Informationsverarbeitung
Bestandsbetreuung: Prof. M. Hoedemaker, Klinik für Rinder
Milchleistung: Prof. J. Hamann, Zentrumsabteilung Hygiene und Technologie der Milch, Zentrum für Lebensmittelwissenschaften
Stallklima: Prof. J. Hartung, Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie
Wirkungsmechanismen: Prof. W. Löscher, Institut für Pharmakologie, Toxikologie und Pharmazie

Die Expositionsmessung und -bewertung soll von Prof. V. Hansen (Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik der Bergischen Universität Wuppertal) durchgeführt werden.

Zunächst soll in einer ersten Projektphase eine räumliche Erfassung aller Mobilfunksendeanlagen in der Studienregion Weser-Ems vorgenommen werden. Desweiteren ist für die Studienregion ein Verzeichnis aller Milchviehbetriebe zu erstellen, die einer regelmäßigen Milchleistungskontrolle angeschlossen sind, um eine ordnungsgemäße Protokollierung von Milchleistungsdaten auch in der Vergangenheit zu gewährleisten. Die Informationen zu Sendeanlagen und Betrieben stellen die Basis der weiteren Projektphasen dar und erlauben, Betriebe repräsentativ auszuwählen. Außerdem können bereits in dieser Projektphase durch den Vergleich der protokollierten Milchleistung vor und nach Inbetriebnahme einer Mobilfunksendeanlage mögliche Veränderungen der Milchleistung erfasst werden.

In einer zweiten Projektphase sollen 30 Betriebe mit höherer Exposition und 30 Betriebe mit geringer Exposition in hochfrequenten elektromagnetischen GSM-Feldern in die Studie aufgenommen und charakterisiert werden. Die dritte Projektphase sieht eine weitere Expositionsquantifizierung sowie eine Querschnittsuntersuchung an Einzeltieren vor. In Projektphase 2 und 3 werden zahlreiche betriebsspezifische und tierindividuelle Expositions-, Leistungs-, Gesundheits- und Verhaltensparameter erfasst. Die Untersuchung soll nach den Prinzipien Guter Epidemiologischer Praxis (GEP) der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Epidemiologie durchgeführt werden und wird voraussichtlich drei Jahre in Anspruch nehmen. Dabei soll neben Gruppenvergleichen (hoch exponiert zu niedrig exponiert) auch jeder hoch exponierte Bestand mit Auffälligkeiten im Gegensatz zur bayerischen Rinderstudie individuell betrachtet werden. Ziel ist die Identifizierung von Faktoren, die möglicherweise erklären, warum es in Rinderbeständen mit vergleichbarer Mobilfunkexposition in einigen Fällen zu typischen Problemen kommt (Rückgang der Milchleistung, Fruchtbarkeitsstörungen, Missgeburten) und in anderen Fällen nicht. Diese Faktoren können expositionsspezifisch (z. B. Installation mehrer interagierender Mobilfunksendeanlagen oder Interaktion zwischen Mobilfunksendeanlagen und TV-/Radiosendeanlagen) oder bestandsspezifisch sein. Da diese Faktoren bisher nicht bekannt sind, können sie nicht in einem Versuchsstall simuliert werden, so dass die Durchführung einer experimentellen Studie an Kühen in einem Versuchsstall mit definierter Mobilfunkexposition zur Zeit wenig sinnvoll erscheint.

Falls die bisher berichteten Beobachtungen wissenschaftlich bestätigt werden können, hätte dies erhebliche Konsequenzen für die Beurteilung der gesundheitlichen Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder von Mobilfunkanlagen für Tier und Mensch. Leider ist die Finanzierung der geplanten Untersuchung in Niedersachsen vor allem aufgrund von Bedenken des Bundesamtes für Strahlenschutz bisher nicht gesichert, obwohl zunächst vom Bundesumweltministerium eine Finanzierung in Aussicht gestellt worden war.

Fallbeschreibungen der Auswirkung elektromagnetischer Felder von Mobilfunksendeanlagen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von anderen Tierarten

Nach der Beschreibung des Falles in Schnaitsee durch Löscher und Käs (1998) meldeten sich bei den Autoren nicht nur weitere Rinderhalter, sondern auch Landwirte, die nach Aufnahme des Betriebes von Mobilfunksendeanlagen auf oder in der Nähe ihrer Betriebe Probleme bei Leistung und Gesundheit anderer in den Betrieben gehaltener Tierarten beobachteten. Am besten dokumentiert sind dabei zur Zeit die Veränderungen, die nach Inbetriebnahme einer GSM-Mobilfunksendeanlage in einem Zuchtsauenbetrieb in Westoverledingen/Ostfriesland auftraten. Die Sendeanlage befindet sich in ca. 100 m Entfernung zum Betrieb. Immissionmessungen ergaben, dass die Feldstärke der hochfrequenten elektromagnetischen D- und E-Mobilfunkfelder weit unter den zur Zeit geltenden Grenzwerten liegen. Seit Inbetriebnahme der Anlage kam es jedoch zu Fertilitätsproblemen bei den Zuchtsauen und einer dramatischen Zunahme von Fehl- und Missgeburten. Infektionskrankheiten oder andere mögliche Ursachen für diese Probleme wurden durch den betreuenden Tierarzt in umfangreichen Untersuchungen ausgeschlossen. Zurzeit wird der Bestand von Mitarbeitern des Zentrums für Umweltforschung und Umwelttechnologie, Allgemeine und Theoretische Ökologie (Frau Prof. J. Filser), der Universität Bremen wissenschaftlich untersucht. In einem benachbarten Milchviehbetrieb kam es nach Inbetriebnahme der Sendeanlage zu Fertilitätsproblemen.

Ähnliche Probleme wie im Fall des Zuchtsauenbetriebes in Westoverledingen wurden auch von einem Zuchtsauenbetrieb in Rainbach im Innkreis, Österreich, berichtet. Auch nach Bestandssanierung und Anschaffung neuer, gesunder Tiere kam es nach wenigen Wochen wieder zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen, die in dieser Form vor Inbetriebnahme naher gelegener Mobilfunksendeanlagen nicht im Bestand aufgetreten waren. Der Landwirt zeigte darauf hin die Mobilfunkbetreiber an.

Ein weiterer, im letzten Jahr berichteter Fall betrifft eine Gänseherde, die unter einem Sendemast der Telekom in Goch, Niederrhein, gehalten wird, und deren Eier als Bruteier verkauft werden. Seit Inbetriebnahme des Mastes sank die Befruchtungsrate der Bruteier von 85 % auf unter 5 %. Außerdem sind die Tiere seitdem außerordentlich unruhig. Sowohl die Fertilitätsprobleme als auch die Verhaltensänderungen erinnern an die Probleme der Rinderhaltung in Schnaitsee (s. o.). Zwei

weitere Gänseherden, die im Umkreis von 5 km vom Sendemast unter den gleichen Bedingungen gehalten werden und das gleiche Futter bekommen, sind in ihrer Befruchtungsrate unverändert.

Aus der gleichen Region wurden nach Inbetriebnahme der Telekom-Anlage in der Nähe (ca. 30–50 m) des Senders Fertilitätsprobleme und Störungen der Trächtigkeit bei Pferden berichtet. Wiederum ergaben tierärztliche Untersuchungen weder bei der betroffenen Gänseherde noch bei Pferden Erklärungen für die beobachteten Probleme.

Dies ist nur eine Auswahl von Fällen, die dem Autor direkt berichtet wurden und besonders gut dokumentiert sind. Weitere Fälle bei Schweine- und Pferdehaltern liegen dem Autor vor. Dabei muss natürlich beachtet werden, dass sich Tierhalter, bei denen es zu keinen Veränderungen im Bestand nach Inbetriebnahme einer Mobilfunksendeanlage kommt, nicht melden werden. Die bestands- oder expositions-spezifischen Faktoren, die für mögliche Beeinträchtigungen bei Tieren eine Rolle spielen, sind bisher, wie bereits bei den Rinderuntersuchungen angesprochen, nicht bekannt.

Schlussfolgerungen

Abschließend kann die Frage, ob hochfrequente elektromagnetische Felder von Mobilfunksendeanlagen negative Auswirkungen auf Leistung, Gesundheit und Verhalten von landwirtschaftlichen Nutztieren haben, wissenschaftlich zur Zeit nicht eindeutig beantwortet werden. Anekdotische Fallbeschreibungen erlauben keinen sicheren Rückschluss auf einen Kausalzusammenhang zwischen Exposition und den dokumentierten Veränderungen, und die bisher einzige vorliegende großangelegte Untersuchung, die bayerische Rinderstudie, weist erhebliche Planungsmängel auf, die ihre Aussagekraft stark einschränken. Andererseits fallen die Analogien bei den beobachteten Veränderungen bei nieder- und hochfrequenten Feldern sowie bei verschiedenen Tierarten auf. Immer wieder werden Fertilitätsstörungen, Fehl- oder Missgeburten und Verhaltensanomalien beobachtet. Zudem scheinen v. a. Tiere in besonderer Leistungssituation, also trächtige oder zu besonderer Hochleistung gezüchtete Tiere betroffen zu sein. Tiere in besonderer Leistungssituation sind auch besonders empfindlich auf alle Veränderungen in ihrer Umgebung, die mit Stress verbunden sind, so dass die durch Verhaltensbeobachtungen gestützte Vermutung, dass elektromagnetische Felder in Form eines Stressors auf den Organismus einwirken, plausibel erscheinen (Löscher u. Käs 1998, Wenzel et al. 2002).

Aufgrund der Bedeutung des Hormons Melatonin für Fruchtbarkeit und Fortpflanzungsverhalten (Reiter 1992, Reiter u. Richardson 1992) könnte die „Melatoninhypothese" als biologisch plausible Erklärung der Wirkungen niederfrequenter magnetischer Felder auch für die bei mobilfunk-exponierten Nutztieren beobachteten Veränderungen eine Rolle spielen, was durch die vorliegenden Speicheluntersuchungen an Rindern aber bisher nicht gestützt wird. Allerdings haben Melatoninuntersuchungen im Speichel eine Reihe von Nachteilen, sodass die Frage der möglichen Rolle von Melatonin für die bei Rindern beobachteten Veränderungen von Fruchtbarkeit, Fortpflanzungsverhalten und Milchleistung der weiteren Untersuchung bedarf. Hier sollte in Analogie zu Untersuchungen am Menschen (Burch et al. 2002) die nächtliche Urinausscheidung des Melatoninmetaboliten 6-Hydroxymelatoninsulfat bestimmt werden, da diese im Gegensatz zu Speichel- oder Plasmakonzentrationsbestimmungen von Melatonin weniger variabel ist und einen Rückschluss auf das Ausmaß der Melatoninproduktion erlaubt.

Unklar ist bisher, warum es in einigen Tierbeständen in der Nähe von Mobilfunksendeanlagen zu Veränderungen bei exponierten Tieren kommt, in anderen Beständen bei ähnlicher Exposition aber nicht. Die ab und zu in diesem Zusammenhang diskutierten niederfrequenten Kriechströme scheiden nach Ansicht von Experten aus (BStMLU 2001). Dagegen kann die Interaktion zwischen verschiedenen Mobilfunksendern oder zwischen Mobilfunksender(n) und TV- oder Radiosendern eine entscheidende Rolle spielen, die der weiteren Untersuchung bedarf (Löscher u. Käs 1998). Neben expositionsassozierten Faktoren können auch genetische Faktoren der exponierten Tiere für Unterschiede zwischen Tierbeständen eine entscheidende Bedeutung haben (s. o.). Eine wichtige bestandsspezifische Bedeutung hat möglicherweise auch der experimentell belegte Synergismus zwischen elektromagnetischen Feldern und verschiedenen anderen Stressoren, z. B. Hitze (Gutzeit 2001).

Eine offene Frage ist auch, warum die Exposition in viel stärkeren hochfrequenten Feldern von Radio und TV i. G. zu Mobilfunk anscheinend keine Veränderungen bei landwirtschaftlichen Nutztieren hervorruft (s. Beispiel Altenweger). Hier könnte wie wiederholt vermutet der Typ der Modulation, also die niederfrequente Pulsung der hochfrequenten Mobilfunkfelder, eine entscheidende Rolle spielen (Tenforde 1997).

Zusammenfassend bedarf die Frage, ob und unter welchen Umständen die erhöhte Exposition von landwirtschaftlichen Nutztieren in hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunksendeanlagen negative Auswirkungen auf Gesundheit, Leistung oder Verhalten ausübt, der weiteren wissenschaftlichen Untersuchung. Nach Einschätzung des Autors lassen die bisher vorliegenden Fallberichte und Untersuchungen den Schluss zu, dass derartige Auswirkungen wahrscheinlich sind, die expositions- und bestandsspezifischen Faktoren, die derartige Auswirkungen begünstigen, aber bisher weitestgehend unbekannt sind. Die Aufklärung dieser Faktoren könnte dazu beitragen, die möglichen Risiken elektromagnetischer Feldexposition zu minimieren und sollte deshalb sowohl im Interesse der Politik, der Gesundheitsbehörden als auch der Mobilfunkindustrie liegen. ■

Danksagungen: Ich danke Prof. V. Hansen, Dr. J. Streckert und Herrn A. Bitz, Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, für die umfangreichen Hinweise zu den technischen Ausführungen dieser Arbeit und Frau Dr. M. Fedrowitz für die Hilfe bei der Erstellung der Abbildung.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Wolfgang Löscher, Institut für Pharmakologie, Toxikologie und Pharmazie der Tierärztlichen Hochschule Hannover, Bünteweg 17, 30559 Hannover.

Literatur

1. ADEY, W. R.: Biological effects of electromagnetic fields. J. Cell. Biochem. 51, 410–416 (1993).
2. AHLBOM, I. C., E. CARDIS, A. GREEN, M. LINET, D. SAVITZ und A. SWERDLOW: Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. Environ. Health Perspect. 2001. Dec, 109. Suppl. 6, 911–933. 109 Suppl 6, 911–933 (2001).
3. ALGERS, B. und K. HENNICHS: The effects of exposure to 400 kV transmission lines on the fertility of cows. A retrospective cohort study. Prev. Vet. Med. 3, 352–361 (1985).
4. ALGERS, B. und J. HULTGREN: Cows under 400 kV power lines: effects on ovulation and fertility. Svensk Veterinartidning 38, 229–235 (1986).
5. ALGERS, B. und J. HULTGREN: Effects of long-term exposure to 400-kV, 50 Hz transmission line on estrous and fertility in cows. Prev. Vet. Med. 5, 21–27 (1987).
6. ALMASSY, Z., A. B. KREPINSKY, A. BIANCO, und G. J. KOTELES: The present state and perspectives of micronucleus assay in radiation protection. A review. Int. J. Rad. Appl. Instrum. [A]. 38, 241–249 (1987).
7. AMSTUTZ, H. E. und D. B. MILLER:: A study of cattle near 765 kv transmission line. XI. International Congress on diseases of cattle. Reports and Summaries, vol. I 609–1621 (1980).
8. ANDERSON, L. E.: EMF responses in farm animals. In Effects of electromagnetic fields on the living environment, ed. by R. Matthes, J. H. Bernhardt und M. H. Repacholi, pp. 51–56. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Munich, 2000 (2000).
9. ANDERSON, L. E., J. E. MORRIS, L. B. SASSER, und W. LÖSCHER: Effects of 50 or 60 Hertz, 100 mT magnetic field exposure in the DMBA mammary cancer model in Sprague-Dawley rats: possible explanations for different results from two laboratories. Environ. Health Perspect. 108, 797–802 (2000).
10. ANGELL, R. F., M. R. SCHOTT, R. J. RALEIGH und T. D. BRACKEN: Effects of a high-voltage direct-current transmission line on beef cattle production. Bioelectromagnetics 11, 273–282 (1990).
11. BALODE, S.: Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes. Sci. Total Environm. 180, 81–85 (1996).
12. BARTSCH, C., H. BARTSCH, D. E. BLASK, D. P. CARDINALI, W. J. M. HRUSHESKY und D. MECKE: The pineal gland and Cancer. Neuroendocrine mechanisms in malignancy, Springer, Berlin, 2001 (2001).
13. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FüR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (BSTMLU): Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern, StMLU, Munich, 2001 (2001).
14. BERNHARDT, J. H., R. MATTHES und M. H. REPACHOLI: Non-thermal effects of RF electromagnetic fields, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Munich, 1997 (1997).
15. BLANK, M.: Biological effects of environmental electromagnetic fields: Molecular mechanisms. Biosystems 35, 175–178 (1995).
16. BORTKIEWICZ, A., B. PILACIK, E. GADZICKA und W. SZYMCZAK: The excretion of 6-hydroxymelatonin sulfate in healthy young men exposed to electromagnetic fields emitted by cellular phone – an experimental study. Neuroendocrinol. Lett. 23 Suppl 1, 88–91 (2002).
17. BROUCEK, J., A. SANDOR, S. MIHINA, C. W. ARAVE, S. WAIBLINGER, M. UHRINCAT, A. HANUS, V. TANCIN und P. KISAC:. Effect of low magnetic field on dairy cows. Tierärztl. Umschau 56, 364-369 (2001).
18. BROUCEK, J., M. UHRINCAT, A. SANDOR, C. W. ARAVE, S. MIHINA, S. WAIBLINGER, A. HANUS und P. KISAC: Effect of low magnetic field on calves during prenatal development. Tierärztl. Umschau 57, 241–248 (2002).
19. BURCH, J. B., J. S. REIF, M. J. YOST, T. J. KEEFE und C. A. PITRAT: Reduced excretion of a melatonin metabolite in workers exposed to 60 Hz magnetic fields. Am. J. Epidemiol. 150, 27–36 (1999).
20. BURCH, J. B., J. S. REIF, C. W. NOONAN, T. ICHINOSE, A. M. BACHAND, T. L. KOLEBER und M. G. YOST: Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. Int. J. Radiat. Biol. 78, 1029–1036 (2002).
21. BURCHARD, J. F., D. H. NGUYEN, L. RICHARD und E. BLOCK: Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cows. J. Dairy Sci. 79, 1549–1554 (1996).
22. BURCHARD, J. F.,D. H. NGUYEN und E. BLOCK: Progesterone concentrations during estrous cycle of dairy cows exposed to electric and magnetic fields. Bioelectromagnetics 19, 438–443 (1998).
23. DE SEZE, R., J. AYOUB, P. PERAY, L. MIRO und Y. TOUITOU: Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on the circadian patterns of melatonin secretion, a chronobiological rhythm marker. J. Pineal Res. 27, 237–242 (1999).
24. DI CARLO, A. L. und T. A. LITOVITZ: Is genetics the unrecognized confounding factor in bioelectromagnetics? Flock-dependence of field-induced anoxia protection in chick embryos. Bioelectrochem. Bioenerg. 48, 209–215 (1999).
25. ERREN, T. C.: A meta-analysis of epidemiologic studies of electric and magnetic fields and breast cancer in women and men. Bioelectromagnetics Suppl 5, 105–119 (2001).
26. FREY, A.: Electromagnetic field interactions with biological systems. FASEB J. 7, 272–281 (1993).
27. GUTZEIT, H. O.: Interaction of stressors and the limits of cellular homeostasis. Biochem. Biophys. Res. Commun. 283, 721–725 (2001).
28. HAYES, A. W.: Principles and methods of toxicology, Raven Press, New York (1994).
29. JUUTILAINEN, J. und R. DE SEZE: Biological effects of amplitude-modulated radiofrequency radiation. Scand. J. Work. Environ. Health 24, 245–254 (1998).

30. KREWSKI, D., C. V. BYUS, B. W. GLICKMAN, W. G. LOTZ, R. MANDEVILLE, M. L. MCBRIDE, F. S. PRATO und D. F. WEAVER: Recent advances in research on radiofrequency fields and health. J. Toxicol. Environ. Health B. Crit. Rev. 4, 145–159 (2001).
31. LÖSCHER, W., M. MEVISSEN und A. LERCHL: Exposure of female rats to a 100-µT 50 Hz magnetic field does not induce consistent changes in nocturnal levels of melatonin. Radiat. Res. 150, 557–567 (1998).
32. LÖSCHER, W.: Breast cancer and use of electric power: Experimental studies on the melatonin hypothesis. In The pineal gland and cancer: neuroimmunoendocrine mechanisms in malignancy, ed. by C. Bartsch, H. Bartsch, D. E. Blask, D. P. Cardinali, W. J. M. Hrushesky und D. Mecke, pp. 518–533, Springer, Heidelberg, 2001 (2001).
33. LÖSCHER, W. und G. KÄS: Auffällige Verhaltensstörungen bei Rindern im Bereich von Sendeanlagen. Prakt. Tierarzt 79, 437–444 (1998).
34. LÖSCHER, W. und R. P. LIBURDY: Animal and cellular studies on carcinogenic effects of low frequency (50/60-Hz) magnetic fields. Mutation Res. 410, 185–220 (1998).
35. MARKS, T. A., C. C. RATKE und W. O. ENGLISH: Stray voltage and developmental, reproductive and other toxicology problems in dogs, cats and cows: a discussion. Vet. Hum. Toxicol. 37, 163–172 (1995).
36. MARTIN, F. B., A. BENDER, G. STEUERNAGEL, R. A. ROBINSON, R. REVSBECH, D. K. SORENSEN, N. WILLIAMSON und A. WILLIAMS: Epidemiological study of Holstein dairy cow performance and reproduction near a high-voltage direct-current powerline. J. Toxicol. Environment. Health 19, 303–312 (1986).
37. MATTHES, R.: Radiofrequency fields: physical characterisation, sources, dosimetry, and measurement. In Non-ionizing radiation, ed. by R. Matthes, 201–229, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Munich, 1996 (1996).
38. MATTHES, R., J. H. BERNHARDT und M. H. REPACHOLI: Biological effects of static and ELF electric and magnetic fields, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Munich, 1997 (1997).
39. PORTIER, C. J. und M. S. WOLFE: Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIEHS Working Group Report, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. National Institutes of Health, Research Triangle Park, NC, 1998 (1998).
40. RADON, K., D. PARERA, D. M. ROSE, D. JUNG und L. VOLLRATH: No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. Bioelectromagnetics 22, 280–287 (2001).
41. REIF, J. S., K. S. LOWER und G. K. OGILVIE: Residential exposure to magnetic fields and risk of canine lymphoma. Am. J. Epidemiol. 141, 352–359 (1995).
42. REITER, R. J.: Alterations of the circadian melatonin rhythm by the electromagnetic spectrum: A study in environmental toxicology. Regulat. Toxicol. Pharmacol. 15, 226–244 (1992).
43. REITER, R. J.: A review of neuroendocrine and neurochemical changes associated with static and extremely low frequency electromagnetic field exposure. Integr. Physiol. Behav. Sci. 28, 57–75 (1993).
44. REITER, R. J. und B. A. RICHARDSON: Magnetic fields effects on pineal indoleamine metabolism and possible biological consequenses. FASEB J. 6, 2283–2287 (1990).
45. REPACHOLI, M. H.: Introduction to non-ionizing radiation. In Non-ionizing radiation, ed. by R. Matthes, pp. 3–15, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Munich (1996).
46. REPACHOLI, M. H.: Health risks from the use of mobile phones. Toxicol. Lett. 120, 323–331 (2001).
47. RODRIGUEZ, M., D. PETITCLERC, D. H. NGUYEN, E. BLOCK und J. F. BURCHARD: Effect of electric and magnetic fields (60 Hz) on production, and levels of growth hormone and insulin-like growth factor 1, in lactating, pregnant cows subjected to short days. J. Dairy. Sci. 85, 2843–2849 (2002).
48. RODRIGUEZ, M., D. PETITCLERC, J. F. BURCHARD, D. H. NGUYEN, E. BLOCK und B. R. DOWNEY: Responses of the estrous cycle in dairy cows exposed to electric and magnetic fields (60 Hz) during 8-h photoperiods. Anim. Reprod. Sci. 77, 11–20 (2003).
49. SCHWEINBERGER, K.: Ist der Mobilfunk die Ursache? Bayer. Landwirtsch. Wochenbl. 188, 40–41 (1998).
50. SMITH, O.: Cells, stress and EMFs. Nature Med. 2, 23–24 (1996).
51. STÄRK, K. D., T. KREBS, E. ALTPETER, B. MANZ, C. GRIOT und T. ABELIN: Absence of chronic effect of exposure to short-wave radio broadcast signal on salivary melatonin concentrations in dairy cattle. J. Pineal Res. 22, 171–176 (1997).
52. STEVENS, R. G.: Electric power use and breast cancer: a hypothesis. Am. J. Epidemiol. 125, 556–561 (1987).
53. STEVENS, R. G., B. W. WILSON und L. E. ANDERSON: The melatonin hypothesis – Breast cancer and use of electric power, Battelle Press, Columbus, Ohio (1997).
54. TENFORDE, T. S.: Biological interactions of radiofrequency fields. In Non-thermal effects of RF electromagnetic fields, ed. by J. H. Bernhardt, R. Matthes and M. H. Repacholi, pp. 65–78, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Munich (1997).
55. WALKER, M. M., T. E. DENNIS und J. L. KIRSCHVINK: The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. CURR. OPIN. NEUROBIOL. 12, 735–744 (2002).
56. WENZEL, C., A. C. WOHR und J. UNSHELM: Das Verhalten von Milchrindern unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder. Prakt. Tierarzt 83, 260–265 (2002).
57. WORLD HEALTH ORGANIZATION. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER: IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 80. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low frequency (ELF) electric and magnetic fields, IARC Press, Lyon, 2002 (2002).