

Stellungnahme zur Frage möglicher Wirkungen hochfrequenter und niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf Tiere und Pflanzen

An das Bundesamt für Strahlenschutz werden häufig Fragen nach schädlichen Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder – vor allem des Mobilfunks – aber auch niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder auf Tiere und Pflanzen gerichtet. Die Fragen beziehen sich auf einen möglichen Einfluss der elektromagnetischen Felder in der Umwelt auf Nutztiere, aber auch auf Vögel und Fledermäuse sowie auf Bäume.

Für das Bundesamt für Strahlenschutz sind neben möglichen gesundheitlichen Risiken für den Menschen auch die Wirkungen auf die Umwelt von Bedeutung. Nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand gibt es keine wissenschaftlich belastbaren Hinweise auf eine Gefährdung von Tieren und Pflanzen durch elektromagnetische Felder unterhalb der Grenzwerte. Im Rahmen des **Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms** wurden keine Vorhaben zur Auswirkung hochfrequenter Felder auf Nutztiere und Pflanzen durchgeführt, da das Programm primär auf Fragestellungen zu möglichen Wirkungen auf den Menschen ausgerichtet war.

Im Folgenden wird der wissenschaftliche Kenntnisstand zu den möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt zusammengefasst und bewertet:

Wirkungen hochfrequenter Felder

- **Rinder**
- **Vögel**
- **Fledermäuse**
- **Bienen**
- **Insekten allgemein**
- **Pflanzen**

Wirkungen niederfrequenter Felder

- **Meerestiere**
- **Säugetiere**
- **Pflanzen**

Literatur

Hochfrequente Felder

Eine aktuelle Übersichtsarbeit zum Einfluss von Basisstationen des Mobilfunks auf die Umwelt publizierte Balmori (2009). In dieser Arbeit fasst er zunächst eigene Beobachtungen an Vögeln zusammen (s.u.), um dann auf andere Gruppen von Lebewesen im breitesten Sinn einzugehen. Bei den beschriebenen Beobachtungen wird über Einzelfälle berichtet, eine Objektivierung der Beobachtungen fehlt und somit ist eine Systematik nicht erkennbar. Weiterhin werden experimentelle Arbeiten über den Einfluss nieder- und hochfrequenter elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf diverse Organismen zitiert ohne die aufgeführten Arbeiten einer wissenschaftlichen Diskussion zu unterziehen. Eine Beurteilung der Qualität der Studien ist nicht erfolgt. Die Vorgehensweise Einzelbeobachtungen mit Labordaten zu verknüpfen ohne jede einzelne Studie einer fachlichen Beurteilung zu unterwerfen und die Gesamtschau auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit zu prüfen ist wissenschaftlich fragwürdig. Somit sind auch das Ergebnis und die Schlussfolgerungen der Übersichtsarbeit als

fragwürdig zu charakterisieren.

Ähnlich fragwürdig im wissenschaftlichen Sinne geht Warnke (2008) in seinem Buch über Bienen, Vögel und Menschen vor. Kenntnisse zur Orientierung vieler Tierarten und zum Einfluss statischer Magnetfelder (z.B. Erdmagnetfeld) werden direkt auf mögliche Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks übertragen. Da die Wirkmechanismen bei statischen Magnetfeldern und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern unterschiedlich sind, ist eine Übertragung der Ergebnisse jedoch nicht zulässig. Ebenso wenig zulässig ist es, Ergebnisse zur Orientierung von Tieren nach dem Magnetfeld auf den Menschen zu übertragen, da dem Menschen entsprechende Wahrnehmungsorgane für statische Felder fehlen, und diese demzufolge auch nicht gestört werden können.

Im Folgenden wird auf einige bedeutsame Tiergruppen und Pflanzen detailliert eingegangen.

Rinder

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern" wurde im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen in den Jahren 1998 bis 2000 durch die Universitäten Gießen und München eine Untersuchung in 38 landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern und Hessen durchgeführt (sog. Bayerische Rinderstudie). Auf allen beteiligten Bauernhöfen wurde die elektrische Feldstärke gemessen. Bei Milchleistung, Fruchtbarkeit und Ausschüttung von Schlafhormonen waren bei allen untersuchten Rinderherden keine Auffälligkeiten durch den Einfluss des Mobilfunks erkennbar. Beobachtete Fehlbildungen waren auf das Auftreten einer Viruserkrankung (Bovine Virusdiarrhoe) zurückzuführen. Für Stresssymptome aufgrund von Mobilfunkeinwirkungen gab es keine statistisch abgesicherten Hinweise. Lediglich beim Wiederkauverhalten und Liegeverhalten zeigten vier der acht untersuchten Herden Auffälligkeiten (Wenzel et al. 2002). Der Zusammenhang zum Mobilfunk blieb allerdings unklar, da mögliche Störgrößen bzw. weitere Einflussfaktoren nicht ausreichend kontrolliert werden konnten. Ein Gefährdungsszenario durch Mobilfunk ist nach Auswertung der Studie nicht erkennbar. Insgesamt zeigen die vorgelegten Ergebnisse, dass Feldversuche dieser Art in landwirtschaftlichen Betrieben kein geeignetes Mittel sind, um den Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf die Gesundheit von Rindern mit ausreichender Sicherheit zu belegen oder zu widerlegen.

In der Schweiz wurde durch die **Forschungstiftung Mobilkommunikation** in den Jahren 2005 – 2006 eine Pilotstudie zu einer geplanten Rinderstudie durchgeführt. Es wurden rechnerische und messtechnische Verfahren festgelegt, die eine möglichst belastbare Expositionsbestimmung für freilaufende Kühe gewährleisten. Dabei zeigte sich, dass die freilaufenden Rinder auf Schweizer Bauernhöfen überwiegend gering exponiert sind. Eine Folgestudie wurde nicht realisiert.

Vögel

Im Umkreis von Basisstationen wurde anekdotisch in Spanien und Belgien die Abnahme von Spatzen (Balmori und Hallber 2007, Everaert und Bauwens 2007) sowie ebenfalls in Spanien eine verminderte Reproduktionsfähigkeit von Weißstörchen (Balmori 2005) beschrieben. In Deutschland wurden von den Landesbehörden für Umweltschutz und von den Vogelwarten keine vergleichbaren Beobachtungen gemeldet. Im Rahmen einer aktuellen Studie (Reijt et al. 2007) wurde das Brutverhalten von Meisen in der Umgebung einer militärischen Radar-Sendeanlage in Polen untersucht. Die elektromagnetischen Felder führten nicht zu einer Abnahme der Meisenpopulation. Die Zahl der besetzten Brutkästen, sowie die Zahl der Eier und der Jungvögel waren nicht beeinflusst. Das Verhältnis der untersuchten Meisenarten war in exponierten und nicht exponierten Bereichen unterschiedlich, dies kann aber auch eine Folge der strukturellen Unterschiede im Mikrohabitat sein.

Aus der Bevölkerung gibt es vereinzelte Meldungen über Probleme mit der Orientierung von Brieftauben in der Nähe von Basisstationen. Der Großteil der Taubenzüchter hat derartige

Probleme nicht beobachtet. Die Vogelwarte Sempach hat 1999 um den Schweizer Kurzwellensender Schwarzenburg eine Studie zur Orientierung von Brieftauben durchgeführt. Alle Tauben konnten sich einwandfrei orientieren, brauchten aber bei eingeschaltetem Sender geringfügig länger und änderten ihre Flughöhe. Die Tiere konnten sich an den Sender gewöhnen und zeigten dann keine Unterschiede im Verhalten mehr (Steiner und Bruderer, 2002). Ob es sich bei den beschriebenen Beobachtungen um kausale Zusammenhänge handelt, bleibt unklar. Eine Gefährdung der Vogelbestände bedeuten sie nicht.

Vögel können das Erdmagnetfeld wahrnehmen und sich danach orientieren. Das zugehörige Sinnesorgan ist in der Netzhaut lokalisiert und basiert auf einer Reaktion von Radikal-Paaren. Diese Reaktion kann unter Laborbedingungen durch schwache Wechselfelder im Frequenzbereich von 0,1 – 10 MHz gestört werden. Frequenzen über 25 MHz, wie sie für den Mobilfunk verwendet werden, interferieren mit diesem System nicht (Ritz et al. 2004).

Einige wenige Studien untersuchten die Embryonalentwicklung von Küken unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. In einigen Fällen wurden Expositionsanlagen verwendet, die zu einer deutlichen Erwärmung der Eier, begleitet von einer erhöhten Sterblichkeit der Embryonen führten (Thalau et al. 2003). In anderen Untersuchungen wurden kommerzielle Telefone zur Exposition benutzt, bei denen die Exposition nicht genau definiert war und ein Einfluss niederfrequenter Felder nicht ausgeschlossen werden konnte (Batellier et al. 2007). In der letztgenannten Studie wurden jeweils 60 Eier exponiert und 60 scheinexponiert und das ganze Experiment viermal wiederholt. In zwei Wiederholungen war die Sterblichkeit der Embryonen unter Exposition signifikant erhöht, in den anderen beiden nicht. Aus diesen Ergebnissen können insgesamt keine belastbaren Schlüsse gezogen werden.

Im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms wurden **Studien an Labornagern** durchgeführt. Es konnten keine Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Labornager nachgewiesen werden.

Fledermäuse

Es gibt einige vereinzelte Meldungen aus der Bevölkerung über Störungen von Fledermäusen durch elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen oder Basisstationen. Laut Informationen von Umweltschutzorganisationen und Behörden gibt es aber keine Anzeichen dafür, dass elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen Fledermäusen schaden. Infolge von Schutzmaßnahmen steigt die Zahl der Fledermäuse seit dem Jahr 2000 stetig an (LfU 2006). Im Zusammenhang mit Mobilfunkbasisstationen sind in erster Linie Baumaßnahmen auf Dachstühlen und Kirchtürmen problematisch, bei denen Sommer- und Winterquartiere von Fledermäusen zerstört werden (Diefenbacher et al. 2003). Weiterhin können an solchen Standorten die Tiere, falls sie infolge der Störungen ihre Lebensräume nicht verlassen haben, die Sicherheitsabstände unterschreiten und in unmittelbare Nähe der Sender gelangen, wodurch sie thermischen Einflüssen ausgesetzt werden. Nicholls und Racey (2007) untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Verhalten von Fledermäusen und elektromagnetischen Feldern anhand der Aktivität von fünf Fledermausarten in der Umgebung von zehn Radaranlagen in Schottland. Die Fledermäuse mieden die unmittelbare Nähe der Sender mit Feldstärken über 2 V/m. Welcher Mechanismus diesem Vermeidungsverhalten zugrunde liegen könnte, wurde nicht untersucht. Es wird vermutet, dass Fledermäuse entweder die durch elektromagnetische Felder verursachte Erwärmung wahrnehmen und meiden oder auf dem Prinzip des sog. „Mikrowellenhörens“ (Lin und Wang, 2007), das ebenfalls thermisch bedingt ist, starke gepulste Felder akustisch wahrnehmen können.

Bienen

Als erste befassten sich bereits 1981 Gary und Westerdahl mit dem möglichen Einfluss hochfrequenter Felder (2,45 GHz) auf die Orientierung von Bienen. Es wurden 6000 einzelne Bienen markiert, exponiert oder scheinexponiert, und deren Orientierungsverhalten beobachtet. Es konnte kein Einfluss der Exposition festgestellt werden. An der Universität Koblenz wurde das Rückkehrverhalten von Bienen unter dem Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer

Felder in einer Pilotstudie (2005) und einer Folgestudie (2006) untersucht (siehe <http://agbi.uni-landau.de/materialien.htm>). Zur Exposition diente eine unter dem Bienenstock angebrachte DECT-Basisstation. Dies ist einerseits eine unrealistische Situation, aus der direkte Schlüsse über Auswirkungen von Mobilfunk-Basisstationen nicht gezogen werden können, andererseits kann ein Einfluss niederfrequenter Felder, die durch die Stromversorgung der DECT-Basisstation entstehen, nicht ausgeschlossen werden. Es ist bekannt, dass sich Bienen nach dem Erdmagnetfeld orientieren können (Hsu und Li 1994; Hsu et al. 2007), ob diese Orientierung durch niederfrequente Felder gestört wird, wurde nicht untersucht. Die Pilotstudie zeigte bei den exponierten Bienen einen Verlust der zurückkehrenden Tiere von bis zu 70%. Dies war signifikant mehr als bei den nicht exponierten Bienen. Allerdings war die Zahl der untersuchten Bienenstöcke klein. In der Folgestudie wurde die Zahl der Experimente erhöht, die in der Pilotstudie gefundene Tendenz wurde zwar bestätigt, die Ergebnisse waren aber nicht signifikant. Es kehrten etwa 60% der nicht exponierten und 50% der exponierten Bienen zurück. Auf eine drastische Störung der Orientierung von Bienen durch hochfrequente elektromagnetische Felder kann aus diesen Studien nicht geschlossen werden. Weiterhin war das Rückkehrverhalten deutlich schlechter als in der Arbeit von Gary und Westerdahl (1981), wo etwa 80% der exponierten sowie scheinexponierten Bienen in den Stock zurückkehrten, was insgesamt auf weitere Störgrößen in den Untersuchungen von Hsu und Mitarbeitern hindeutet.

Insekten allgemein

Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf frei lebende Insekten sind nicht bekannt. Da die Fruchtfliege *Drosophila* ein etabliertes Modell in der Entwicklungsbiologie darstellt, wurde mehrfach der Einfluss elektromagnetischer Felder von Endgeräten auf Fruchtfliegen bei SAR Werten von bis zu 4 W/kg untersucht. In vielen Fällen wurde dabei eine verringerte Überlebensrate sowie eine Beeinträchtigung der Fortpflanzung und der Embryonalentwicklung festgestellt. Viele der Studien wiesen methodische Mängel auf. Z.B. wurden häufig nur mangelhafte Angaben zur Exposition gemacht und kommerzielle Mobiltelefone anstatt definierter Expositionsanlagen verwendet (z.B. Weisbrot et al. 2003, Panagopoulos et al. 2004, 2007a,b). Dabei ist ein Einfluss der Wärme sowie der niederfrequenten elektromagnetischen Felder der Batterie nicht auszuschließen. Eine aktuelle Arbeit (Lee et al., 2007) hat eine Anlage mit gut definierter Exposition verwendet und bei 4 W/kg nach 12 Stunden eine verringerte Überlebensrate gefunden. Bei 1,6 W/kg war dieser Effekt auch nach 30 Stunden nicht vorhanden. Expositionen dieser Intensität treten nur in unmittelbarer Nähe der Endgeräte auf, in der Umwelt kommen sie nur in der unmittelbaren Umgebung von Basisstationen vor. Daher ist eine Schädigung von Insektenpopulationen infolge von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks nicht zu erwarten.

Für Untersuchungen an Insekten gilt, dass die Expositionssituation, und somit auch die Ergebnisse, nicht direkt zwischen Säugetieren und Insekten vergleichbar sind. Für den Menschen gilt eine maximale Teilkörperexposition im Kopf und Rumpf von 2 W/kg und in den Extremitäten von 4 W/kg als unbedenklich, denn sie führt höchstens zu einer geringfügigen Erwärmung des Gewebes, die im normalen physiologischen Bereich liegt und durch die Thermoregulation ausgeglichen wird. Dabei wird die meiste Energie in den oberflächennahen Geweben, wie Haut, Bindegewebe, Fett usw. absorbiert, innere Organe werden kaum belastet. Bei Insekten ist die Situation umgekehrt, die dünne Kutikula absorbiert nur wenig, die meiste Energie wird von inneren Organen aufgenommen. Infolge der Körpergröße handelt es sich bei Insekten immer um eine Ganzkörperexposition. Weiterhin besitzen Insekten nicht die Fähigkeit zur Thermoregulation. Deswegen ist es sehr wahrscheinlich, dass eine anhaltende Exposition mit 4 W/kg auf dem thermischen Weg zu Schädigungen bei Insekten führen würde, auf eine Teilkörperexposition beim Menschen sind diese Ergebnisse nicht übertragbar. Eine Ganzkörperexposition mit 4 W/kg führt auch bei Labornagern zu einer verstärkten thermoregulatorischen Antwort und zu Verhaltensänderungen (ICNIRP, 1999).

Starke hochfrequente elektromagnetische Felder (weit oberhalb der Grenzwerte) können genutzt werden, um Holzschädlinge abzutöten. Damit kann auf giftige Chemikalien verzichtet und die Umwelt geschont werden.

Pflanzen

Zu diesem Thema liegen einige Studien vor, die sich mit möglichen negativen Effekten auf Waldbäume befassten. In mehreren in der Schweiz durchgeführten systematischen Langzeituntersuchungen um Radio- und Fernsehsender (Joos et al. 1988, Stäger et al. 1989) bzw. unter mehrjähriger Exposition mit 2450 MHz bei Leistungsflussdichten von 0.007 – 300 W/m² (Schmutz et al. 1996) konnten keine negativen Einflüsse auf Fichten, Tannen, Föhren und Buchen festgestellt werden. Um einen litauischen Radarsender wurde eine Verminderung des Dickenwachstums bei Kiefern beobachtet (Balodis et al. 1996). Das Wachstum von Flechten, die sensible Indikatoren für Umweltstress sind, wurde durch Expositionen mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern unterhalb der geltenden Grenzwerte nicht beeinflusst (Urech et al. 1996).

Im Rahmen einer dreijährigen Studie (Götz et al., 2001) wurde die Wirkung elektromagnetischer Felder auf Buche und Fichte geprüft, wobei während der Vegetationsperioden ganze Kronenbereiche definierter Bestrahlung durch Radar ausgesetzt wurden. Morphologische und physiologische Parameter wie Trieblänge und -durchmesser, Trockenmasse und Länge von Nadeln und Blättern, Blattfläche, Photosynthese, Effizienz der CO₂-Aufnahme, Transpiration sowie Leitfähigkeit der Spaltöffnungen der Blätter für Wasserdampf wurden zwischen bestrahlten und nichtbestrahlten Kronenbereichen verglichen. Die Analyse ergab keine Einflüsse der Radarbestrahlung auf Photosynthese und Wasserverbrauch sowie das Zuwachsverhalten der Versuchsbäume. Unter den gegebenen Bedingungen stellen elektromagnetische Felder kein offensichtliches Schädigungsrisiko für Waldbäume dar. Welche Einflussfaktoren zur Schädigung von Bäumen führen, wird im jährlichen **Berichten des BMU zum Waldzustand** dargestellt.

Zusätzlich zu Freilanduntersuchungen an Bäumen wurden einige Laborstudien an Pflanzen durchgeführt. Vian et al. (2006) und Roux et al. (2009) fanden in zwei aufeinander folgenden Arbeiten an Tomaten unter GSM bei 5 V/m eine erhöhte Expression eines bestimmten Stressgenes und Veränderungen im Energiemetabolismus, die ebenfalls mit Stress zu tun haben könnten. Allerdings handelt es sich bei den Veröffentlichungen um zwei Kurzmitteilungen, die keiner wissenschaftlichen Begutachtung unterzogen wurden; aus den Angaben zur Exposition geht nur hervor, dass in der Expositionsanlage mit erheblichen Reflexionen zu rechnen war. Insgesamt ähnelte die beobachtete Reaktion der Tomaten in ihrem Umfang der Reaktion auf Kälte oder eine Verletzung. Die kroatische Arbeitsgruppe um M. Tkalec (Tkalec et al. 2005, 2007, 2009) führte mehrere Untersuchungen zum Einfluss von Mobilfunk im Frequenzbereich von 400 bis 1900 MHz und bei Feldstärken von 23 bis 390 V/m auf Wasserlinse und Zwiebel durch. Bei der Wasserlinse wurden unter verschiedenen Frequenzen, Modulationen und Feldstärken Veränderungen der Aktivität oxidativer Enzyme, die in verschiedene Richtungen gingen, und in einigen Expositionssituationen auch eine Verringerung des Wachstums beobachtet. Die Effekte hingen nicht systematisch mit Frequenz, Feldstärke und Expositionsdauer zusammen und waren überwiegend gering (um 10%). Bei Zwiebeln wurde kein Einfluss auf Keimung und Wurzelwachstum festgestellt, aber es wurden bestimmte Veränderungen der Chromosomen während der Zellteilung beobachtet, die allerdings keinen Einfluss auf die weitere Entwicklung hatten. Alle fünf Studien haben gemeinsam, dass nicht verblindet und keine SAR Werte angegeben wurden. Engelmann et al. (2008) untersuchten die Genexpression in pflanzlichen Zellkulturen (Acker-Schmalwand, *Arabidopsis thaliana*) unter UMTS bei 2 und 0,75 W/kg. Aus dem gesamten Genom der Pflanze regelten nach 24 h nur 10 Gene geringfügig hoch. Es handelte sich nicht um stress-relevante Gene, sondern um solche, die an Reaktionen auf Licht beteiligt sind. Schwerwiegende physiologische Konsequenzen erwarten die Autoren aufgrund dieser Ergebnisse nicht. Das Fazit dieser wenigen, bislang nicht reproduzierten Arbeiten ist, dass es zwar möglich ist, dass Pflanzen auf elektromagnetische Felder im Bereich der Grenzwerte physiologisch reagieren können, schädliche Effekte aber nicht zu erwarten sind.

Niederfrequente Felder

Meerestiere

Einige Meerestiere, wie z.B. Haie und Fische, können mit speziellen Sinnesorganen Magnetfelder wahrnehmen. Diese Wahrnehmung kann u.U. durch künstliche statische oder niederfrequente Magnetfelder, z.B. von Unterseekabeln zur Übertragung von elektrischer Energie, gestört werden. Näheres hierzu siehe unter <http://www.bfs.de/en/elektro/nff/papiere/Grundsatzpapier.pdf>

Säugetiere

Unter den Säugetieren haben nur einige wenige Nagetiere (z.B. Nacktmull, siehe Kimchi & Terkel, 2001) und Fledermäuse (Holland et al., 2008) die Fähigkeit sich nach dem Erdmagnetfeld zu orientieren. Die Orientierung kann möglicherweise durch künstliche statische oder niederfrequente Felder gestört werden, dies wurde aber bislang nicht untersucht. Begall et al (2008) behaupten in einer aktuellen Arbeit aufgrund von Satellitenbildern, dass sich Wiederkäuer wie z.B. Rinder und Rehe im Freien bevorzugt in Nord-Süd Richtung ausrichten. Zugrunde liegen soll ein magnetischer Sinn. Ein Organ, in dem sich dieser befinden soll, wird nicht benannt. Dieselben Autoren (Burda et al. 2009) behaupten, die bevorzugte Ausrichtung wäre in der Nähe von Hochspannungsleitungen gestört. Andere Einflussfaktoren wie z.B. Sonne, Wärme und Wind, wurden zwar diskutiert, aber in die Auswertung der Daten nicht mit einbezogen. Aus diesem Grund bleiben die genannten Behauptungen rein hypothetisch.

Pflanzen

Ein positiver Einfluss von Magnetfeldern auf Keimrate und Keimungsgeschwindigkeit wurde für verschiedene Pflanzenarten beschrieben, allerdings überwiegend bei Magnetfeldstärken oberhalb der für den Menschen gültigen Grenzwerte. Reina et al. (2001) fanden eine erhöhte Wasseraufnahme in Salatsamen unter Magnetfeldeinfluss ab 1000 μT . Die Wasseraufnahme ist für die Keimung entscheidend und könnte stimulierende Einflüsse erklären. Ob der Effekt auch bei Flusssichten unterhalb der Grenzwerte auftritt, wurde in der Arbeit nicht untersucht. Ruzic et al. (1998) beschrieben eine stimulierende Wirkung auf die Keimung von Fichtensamen bei einer magnetischen Flusssichte von 26 μT bei 50 Hz, die sich allerdings unter simuliertem Wasserstress in eine hemmende Wirkung umkehrte.

In Bezug auf die Beeinflussung des Pflanzenwachstums sind die Ergebnisse nicht konsistent. In einigen Arbeiten werden wachstumsfördernde Effekte beschrieben, z.B. auf das Wurzelwachstum bei Gartenkresse (Stenz et al. 1998) bei einer elektrischen Feldstärke von 0,1 V/cm oder eine erhöhte Aminosäureaufnahme in Bohnenwurzeln bei 10 μT bei 50 Hz (Stange et al. 2002). Demgegenüber wurden in anderen Arbeiten wachstumshemmende Effekte gefunden, z.B. eine Abnahme von Gewicht und Längenwachstum in Distel und Linse bei einer Exposition mit 15 μT bei 50 Hz (Picazo et al. 1999). Soja et al. (2001) untersuchten in einer fünfjährigen Feldstudie den Einfluss von Hochspannungsleitungen auf Wachstum und Ertrag von Winterweizen und Mais bei magnetischen Flusssichten von 4,5; 3,6; 2,6 und 0,8 μT und fanden für Weizen bei der höchsten Exposition eine Ertragsminderung um etwa 7%, wobei die Einbußen auf Jahre mit erhöhtem Trockenheitsstress zurückgingen. Die Detektierbarkeit des Feldeffekts im Vergleich mit den viel stärkeren Einflussfaktoren Klima und Niederschlag lag an der Grenze der statistischen Signifikanz. Eine umfassende Studie von Potts et al. (1997) an Rettich fand nach Exposition mit 60 Hz und 0,15; 1,5; 20 und 78,3 μT keinen Einfluss auf Stängel- oder Blattlänge, Gewicht von Wurzeln, Stängel oder Blatt, oder auf Chlorophyllgehalte.

Literatur

Balmori, A. (2005). Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of White Stork (*Ciconia ciconia*). *Electromag. Biol. Med.* 24:109–119.

Balmori A (2009) Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife. *Pathophysiology* 16(2-3):191 - 199

Balmori A, Hallberg O (2007) The urban decline of the house sparrow (*Passer domesticus*): a

possible link with electromagnetic radiation. *Electromagn Biol Med.* 26(2):141-51.

Balodis V, Brumelis G, Kalvinskis K, Nikodemus O, Tjarve D, Znotina V (1996) Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees? *Science of the Total Environment.* 180(1): 57-64

Batellier F, Couty I, Picard D, Brillard JP (2008) Effects of exposing chicken eggs to a cell phone in "call" position over the entire incubation period. *Theriogenology* 69(6): 737 – 745

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2006): Regionalabkommen zur Erhaltung der Fledermäuse in Europa (Eurobats). Bericht für das Bundesland Bayern 2003 – Frühjahr 2006.

Begall S, Červený J, Neef J, Vojtech O, Burda H (2008) Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 105(36): 13451 – 13455

Burda H, Begall S, Červený J, Neef J, Nemeč P (2009) Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106(14): 5708 – 5713

Diefenbacher H, Dobmeier G, Hack U, Kordecki G, Kurze KH, Wegner W (2003) Mobilfunk auf dem Kirchturm? Informationen und Entscheidungshilfen für Kirchengemeinden. Verlag Institut für Kirche und Gesellschaft, Islehorn, ISBN 3-931845-70-2

Everaert J, Bauwens D (2007) A possible effect of electromagnetic radiation from mobile phone base stations on the number of breeding house sparrows (*Passer domesticus*). *Electromagn Biol Med.* 26(1): 63-72

Gary NE, Westerdahl BB (1981) Flight, orientation, and homing abilities of honeybees following exposure to 2.45-GHz CW microwaves. *Bioelectromagnetics* 28(1):71 - 75

Götz G, Matyssek R, Käs G (2001) Fichte und Buche unter dem Einfluss von Radarbestrahlung *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 172(4): 74-78

Holland RA, Thorup K, Vonhof MJ, Cochran WW, Wikelski M (2006) Navigation: bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature* 444(7120): 7002

Hsu CY, Li CW (1994) Magnetoreception in Honeybees. *Science.* 165(5168):95 – 97

Hsu CY, Ko F-Y, Li C-W, Fann K, Lue J-T (2007) Magnetoreception System in Honeybees (*Apis mellifera*) *PLoS ONE* 4:e395

ICNIRP (1999) Guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation.

<http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>

Joos K, Masumy SA, Schweingruber FH, Stäger C (1988) Untersuchung über mögliche Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf den Wald. *Techn. Mitt PTT* 1:1-23

Kimchi T, Terkel J (2001) Magnetic compass orientation in the blind mole rat *Spalax ehrenbergi*. *J Exp Biol.* 204(Pt4): 751 - 758

Lee K-S, Choi J-S, Hong S-Y, So T-H, Yu K (2008) Mobile Phone Electromagnetic Radiation Activates MAPK Signaling and Regulates Viability in *Drosophila*. *Bioelectromagnetics* 29(6):371 - 379

Lin JC, Wang Z (2007) Hearing of microwave pulses by humans and animals: effects, mechanism, and thresholds. *Health Phys.* 92(6): 621 - 628

- Nicholls B, Racey PA (2007) Bats Avoid Radar Installations: Could Electromagnetic Fields Deter Bats from Colliding with Wind Turbines? PLoS ONE 2(3):e297
- Panagopoulos D, Karabarbounis A, Margaritis LH (2004) Effect of GSM 900-MHz Mobile Phone Radiation on the Reproductive Capacity of *Drosophila melanogaster*. Electromagnetic biology and medicine 23(1): 29 - 43
- Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Nezis IP, Margaritis LH. (2007a) Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. Mutat Res. 626(1-2): 69-78
- Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Karabarbounis A, Margaritis LH. (2007b) Comparison of bioactivity between GSM 900 MHz and DCS 1800 MHz mobile telephony radiation. Electromagn Biol Med. 26(1):33-44.
- Picazo ML, Martinez E, Carbonell MV, Raya A, Amaya JM, Bardasano JL (1999) Inhibition in the growth of thistles (*Cynara cardunculus* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.) due to chronic exposure to 50-Hz, 15- μ T. Electro- and Magnetobiology 18(2): 147-156
- Potts MD, Parkinson WC, Nooden LD (1997) *Raphanus sativus* and electromagnetic fields Bioelectrochemistry and Bioenergetics 44(1): 131-140
- Reina FG, Pascual LA, Fundora IA, (2001) Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds Part II: Experimental results. Bioelectromagnetics 22(8): 596-602
- Rejt L, Mazgajski T, Kubacki R, Kieliszek J, Sobiczewska E, Szmigielski S (2007) Influence of radar radiation on breeding biology of tits (*Parus* sp.) Electromagn Biol Med. 26(3): 235 - 238
- Ritz T, Thalau P, Phillips JB, Wiltschko R, Wiltschko W (2004) Resonance effects indicate a radical-pair mechanism for avian magnetic compass. Nature 429(6988):177-180
- Roux D, Faure C, Bonnet P, Girard S, Ledoigt G, Davies E, Gendraud M, Paladian F, Vian A (2008) A possible role for extra-cellular ATP in plant responses to high frequency, low amplitude electromagnetic field. Plant Signal Behav. 3(6): 383 - 385
- Ruzic R, Jerman I, Gogala N (1998) Water stress reveals effects of ELF magnetic fields on the growth of seedlings. Electro- and Magnetobiology 17(1): 17-30
- Schmutz P, Siegenthaler J, Stäger C, Trajan D, Bucher JB (1994) Long-term exposure of young spruce and beech trees to 2450 MHz microwave radiation. Science of the Total Environment 180 (1):43 - 48
- Soja G, Kunsch B, Gerzabek M, Reichenauer T, Soja AM, Rippar G, Bolhar-Nordenkampf HR (2003) Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line. Bioelectromagnetics. 24(2): 91 - 102.
- Stäger C 1989 Felduntersuchung über eventuelle Schadenwirkungen von Mikrowellen auf den Wald. Techn. Mitt. PTT 67: 517-526.
- Stange BC, Rowland RE, Rapley BI, Podd JV (2002) ELF magnetic fields increase amino acid uptake into *Vicia faba* L. roots and alter ion movement across the plasma membrane. Bioelectromagnetics 23 (5): 347-354
- Steiner I, Bruderer B (1999) Anfangsorientierung und Heimkehrverhalten von Brieftauben unter dem Einfluß von Kurzwellen. J. Ornithol. 140(2):165-177
- Stenz HG, Wohlwend B, Weisenseel MH (1998) Weak AC-electric fields promote root growth and ER abundance of root cap cells. Bioelectrochemistry and Bioenergetics 44(2): 261-269

Thalau HP, Raczek J, Marx B, Hombach V, Cooper J (2003) Temperature changes in chicken embryos exposed to a continuous-wave 1.25 GHz radiofrequency electromagnetic field. *Radiat. Res.* 159(5):685-692

Tkalec M, Malarić K, Pevalek-Kozlina B (2005) Influence of 400, 900, and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. *Bioelectromagnetics* 26(3):185 - 193.

Tkalec M, Malarić K, Pevalek-Kozlina B (2007) Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L. *Sci Total Environ.* 388(1-3):78-89

Tkalec M, Malarić K, Pavlica M, Pevalek-Kozlina B, Vidaković-Cifrek Z (2009) Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. *Mutat Res.* 672(2):76 - 81

Urech M, Eicher B, Siegenthaler J (1996) Effects of microwave and radio frequency electromagnetic fields on lichens. *Bioelectromagnetics.* 17(4):327-34

Vian A, Roux D, Girard S, Bonnet P, Paladian F, Davies E, Ledoigt G (2006) Microwave irradiation affects gene expression in plants. *Plant Signal Behav.* 1(2): 67 - 70

Warnke, U (2008) Bienen, Vögel und Menschen. Die Zerstörung der Natur durch ´Elektrosmog.
Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt u. Demokratie

Weisbrot D, Lin H, Ye L, Blank M, Goodman R (2003) Effects of mobile phone radiation on reproduction and development in *Drosophila melanogaster*. *J. Cell. Biochem.* 89: 48-55

Wenzel C, Wöhr AC, Unshelm J (2002) Das Verhalten von Milchrindern unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder. *Der praktische Tierarzt.* 83(3):260-267

Das Bundesamt für Strahlenschutz | Kontakt | Stand vom 21.10.2009