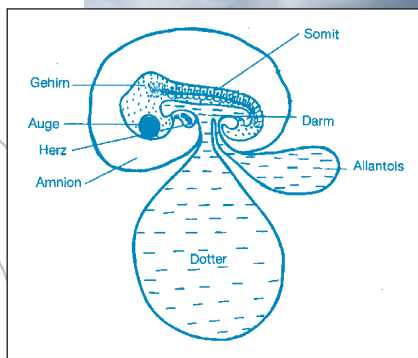
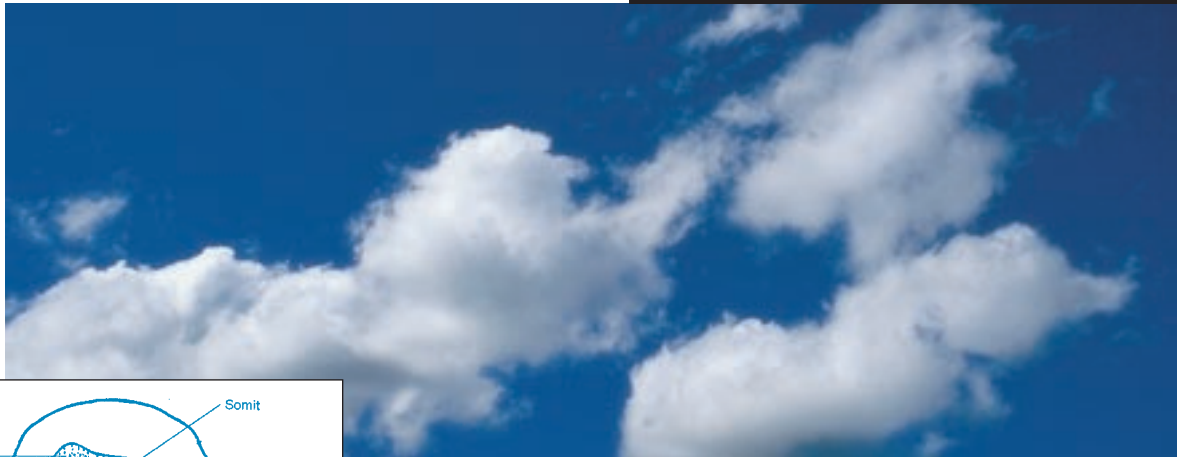


Edition Wissenschaft

Forschungsgemeinschaft Funk e. V. · G 14515 · Ausgabe Nr. 17 · August 2002



Dr. Hans-Peter Thalau

**Embryonalentwicklung
unter dem Einfluss
hoch- und niederfrequenter
elektromagnetischer Felder**

**Eine Bestandsaufnahme
teratologischer Studien**

Edition
Wissenschaft



Forschungsgemeinschaft Funk

Liebe Leserinnen und Leser,

häufig werden in der Öffentlichkeit Befürchtungen über den Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Nachkommenschaft geäußert. Besonders der Zeitpunkt kurz nach der Befruchtung des Eis steht im Mittelpunkt des Interesses.

Zahlreiche Studien haben sich mit dem Einfluss der elektromagnetischer Felder auf die Embryonalentwicklung befasst.

Der Autor dieser Studie, Herr Dr. Hans-Peter Thalau aus dem Institut für Zoologie der Universität Frankfurt, war durch die Forschungsgemeinschaft Funk e.V. aufgefordert, eine Bestandsaufnahme über teratologische Studien anzufertigen. Er hat diese Übersicht in drei Hauptkategorien

- Laboruntersuchungen
- Epidemiologische Studien und
- Übersichtsarbeiten

gegliedert und versucht, den Erkenntnisstand durch Strukturierung zu diesem Wissenschaftsgebiet herauszuarbeiten.

Für vertiefende Eigenstudien hat der Autor ein umfangreiches Literaturverzeichnis angefertigt.

Mit freundlichen Grüßen

Gerd Friedrich

1.	Einleitung	3
1.1.	Zu dieser Studie	4
1.1.1.	Literaturauswahl und Bezugsquellen	4
1.1.2.	Gliederung und Inhalt	6
1.2.	Allgemeines	6
1.3.	Elektromagnetische Felder	7
1.4.	Teratologie	10
1.4.1.	Allgemeines	10
1.4.2.	Kongenitale Missbildungen	11
1.5.	Der Hühnerembryo als Versuchsmodell	12
1.6.	Zytologie	15
2.	Laboruntersuchungen	16
2.1.	Niederfrequente elektromagnetische Felder	16
2.1.1.	Untersuchungen an Hühner- und Wachtelembryonen (in vivo)	16
2.1.2.	Untersuchungen an Säugetierembryonen (in vivo)	26
2.2.	Hochfrequente elektromagnetische Felder	35
2.2.1.	Untersuchungen an Hühner- und Wachtelembryonen (in vivo)	35
2.2.2.	Untersuchungen an Säugetieren (in vivo)	41
2.3.	Vertebraten und Evertebraten: Embryonalentwicklung (in vitro) und Gewebewachstum unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder	53
2.3.1.	Magnetfelder	53
2.3.2.	Elektrische Felder	54
2.3.3.	Hochfrequente Felder	54
2.4.	Genetische und zytotoxische Effekte elektromagnetischer Felder	58
2.4.1.	Genetische und zytotoxische Effekte niederfrequenter EMF	58
2.4.2.	Genetische und zytotoxische Effekte hochfrequenter EMF	65
3.	Epidemiologische Studien	69
4.	Reviewartikel	73
5.	Risiko für Schwangere durch EMF?	75
6.	Literatur	77

Dr. Hans-Peter Thalau

Embryonalentwicklung unter dem Einfluss hoch- und niederfrequenter elektromagnetischer Felder

Eine Bestandsaufnahme teratologischer Studien

1. Einleitung

1.1. Zu dieser Studie

1.1.1. Literatursauswahl und Bezugsquellen

Mit der vorliegenden Studie ist die Absicht verbunden, einen Überblick über die bisher publizierten Arbeiten zu teratologischen Wirkungen hoch- bzw. niederfrequenter elektromagnetischer Felder zu verschaffen. War bis zum Beginn der neunziger Jahre die Anzahl der veröffentlichten Arbeiten zu dieser Fragestellung noch verhältnismäßig übersichtlich, so hat sich dies in den vergangenen 10 Jahren, bedingt durch die anhaltende Diskussion über mögliche, durch elektromagnetische Felder ausgelöste Risiken, grundlegend geändert. Aufgrund der ständig steigenden Anzahl der veröffentlichten Studien und der Tatsache, dass sich nicht alle bekannten Artikel rechtzeitig beschaffen ließen, war es nicht möglich, im Rahmen dieser Übersichtsstudie alle bisherigen Veröffentlichungen zu diesem Themenkomplex aufzuführen.

Insgesamt enthält die vorliegende Studie ca. 180 Arbeiten aus dem Zeitraum von 1975 bis 2001, wobei ausschließlich Artikel aus deutsch- oder englischsprachigen wissenschaftlichen Fachzeitschriften berücksichtigt wurden. Grundsätzlich lassen sich Veröffentlichungen über Untersuchungen zu biologisch-medizinischen Fragestellungen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern in fast jeder wissenschaftlichen Fachzeitschrift finden. Die Zeitschriften und die entsprechenden Artikel sind im Literaturverzeichnis der vorliegenden Studie aufgeführt. Besonders empfehlenswert sind solche Fachzeitschriften wie z.B. *Bioelectromagnetics*, *Radiation Research* oder *Teratology*, die sich entweder ausschließlich oder in größerem Umfang mit Beiträgen zum Thema der vorliegenden Studie bzw. aus anderen Forschungsgebieten zu möglichen biologischen und medizinischen Wirkungen von elektromagnetischen Feldern befassen.

Nicht berücksichtigt sind in der Regel Zusammenfassungen von

Beiträgen zu Symposien bzw. Artikel aus Tagungsbänden, da hier zumeist nur sehr marginale Informationen zum Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung enthalten sind. Nur in wenigen Ausnahmefällen, z.B. Beitrag enthält ausreichend detaillierte Angaben oder die vorgestellten Ergebnisse bedürfen auf Grund ihrer Aussage einer gesonderten Diskussion (z.B. YOUNICIER-SIMO et al. 1998, ZHAO et al. 1997), finden sich in der vorliegenden Studie auch Untersuchungen, die bisher nur in Tagungsbänden veröffentlicht wurden.

Die wichtigsten Informations- und Bezugsquellen für die vorliegende Studie waren:

1. die Literatursammlung der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Wolfgang Wiltschko (Zoologisches Institut der J.W. Goethe-Universität, Frankfurt/Main), die aufgrund der Forschungsschwerpunkte (Magnetfeldwahrnehmung, -orientierung, neurobiologische und teratologische Untersuchungen zu Wirkungen von elektromagnetischen Feldern) bereits

über eine erhebliche Anzahl an einschlägigen Artikeln verfügte.

2. Die Universitätsbibliothek bzw. die elektronische Zeitschriften-Bibliothek im Bibliothekssystem der J.W. Goethe-Universität (www.rz.uni-frankfurt.de).

3. Die FEMU-Datenbank (www.femu.rwth-aachen.de) von Prof. Dr. Silny (TU Aachen).

4. Die Suchmaschinen und Datenbanken von „FreeMedline“ und des „National Center for Biotechnology Information“ (Entrez PubMed, www.ncbi.nlm.gov). Allerdings ist seit September 2001 ein direkter Zugriff auf „Medline“ bzw. „Free-Medline“ offensichtlich (Stand 16.04.2002) nicht mehr möglich. Es wird daher empfohlen den URL www.ncbi.nlm.gov zu verwenden.

5. Die Homepages folgender Fachzeitschriften: *Bioelectromagnetics* (Wiley-Liss, Inc., www.interscience.wiley.com), *Radiation Research* (Elsevier Academic Press., www.radres.org), *Teratology* (Wiley-Liss Inc., www.interscience.wiley.com), *Mutation Research* (Elsevier Science Pub., www.elsevier.com) und das *Journal of Microwave Power* (www.impi.org). Aufgrund der dort angegebenen Anschriften war es möglich die entsprechenden Autoren zu kontaktieren und (in den meisten Fällen) die gewünschten Artikel zu erhalten. Aktuelle Informationen über Kongresse, Meetings sowie die neuesten Forschungsergebnisse erhält man auf der Homepage der „Bioelectromagnetics Society“ (www.bioelectromagnetics.org) in Form von „Newsletters“ und Berichten von Tagungen und Symposien.

Liste der verwendeten Abkürzungen und Zeichen

A	Ampere	kHz	Kilohertz (10 ³ Hz)
AC	alternating current (engl. f. Wechselstrom)	kV	Kilovolt (10 ³ V)
A/m	Ampere/Meter	KW	Kurzwele
APAP	N-Acetyl-p-aminophenol	LW	Langwele
ARA-C	Cytosinarabinosid	m	Meter
AVP	Arginin-Vasopressin	MDA	Malondialdehyd
B	magnetische Flussdichte	mG	Milligauss (10 ³)
C	Celsius	MHz	Megahertz (10 ⁶ Hz)
c	Lichtgeschwindigkeit	MNU	Methylnitrosourea
Ca	Calzium	M-R	M-cholinerge Rezeptoren
cAMP	cyclisches Adenosin-Monophosphat	MRT	Magnetresonanz-Tomograph
CBA/S, CD-1, C57BL/6J	bestimmte Zuchtformen (Stämme) bei Mäusen	mT	Millitesla (10 ⁻³)
cm	Zentimeter	mW	Milliwatt (10 ⁻³)
D	elektrische Flussdichte	MW	Mittelwele
DA	Dopamin	n	Anzahl der Stichproben einer Testreihe
DC	direct current (engl. f. Gleichstrom)	Na	Natrium
DEB	Diepoxybutan	NGF	Neurite Growth Factor
DNA	Deoxyribonucleic acid (engl. f. DNS)	nW	Nanowatt (10 ⁻⁹)
DNS	Desoxyribonukleinsäure	rms, r.m.s.	root mean square (engl.), Durchschnittswert
DOPAC	3,4 dihydroxyphenyl-essigsäure	ODC	Ornithin Decarboxylase
E	elektrische Feldstärke	Oe	Oerstedt (1Oe=79,5775 A/m)
ELF	extremely low frequency	p	Signifikanzniveau
EMF	Elektromagnetische(s) Feld(er)	RF	radio frequency
EMVU	Elektromagnetische Verträglichkeit und Umwelt	RNA	Ribonucleic acid (engl. f. RNS)
F1 (F2, F3)	1. (2., 3.) Filialgeneration, 1. Tochtergeneration	RNS	Ribonukleinsäure
G	Gauss (1G = 100 μT)	S	Stromdichte
g	Gramm	s	Sekunde
GHz	Gigahertz (10 ⁹ Hz)	SAR	Spezifische Absorptionsrate
GMS	Global System for Mobile Communication	T	Tesla
Gy	Gray	THz	Titahertz (10 ¹³ Hz)
H	magnetische Feldstärke	U	Spannung
h	Stunde	UHF	ultra high frequency
HF	Hochfrequent (Hochfrequenz)	UKW	Ultrakurzwele
HVA	Homovanillinsäure	ULF	ultra low frequency
Hz	Hertz	UV	Ultraviolett
I	Stromstärke	UWB	ultra-wideband
K	Kalium	V	Volt
kg	Kilogramm	VLF	very low frequency
		V/m	Volt/Meter
		W	Watt
		W/kg	Watt/kg
		μ	Mikro (10 ⁻⁶)
		μg	Mikrogramm
		μl	Mikroliter
		μs	Mikrosekunde
		μT	Mikrotesla
		ZNS	Zentralnervensystem

1.1.2. Gliederung und Inhalt

Zusätzlich zur Bestandsaufnahme der bisher veröffentlichten Untersuchungen werden in Kapitel 1 kurz die wesentlichen Grundlagen und Begriffe der Teratologie, der Zytologie sowie der nicht-ionisierenden elektromagnetischen Felder vorgestellt.

Die in dieser Studie berücksichtigten Arbeiten sind, der besseren Übersicht wegen, zunächst in drei Hauptkategorien unterteilt: Laboruntersuchungen (Kapitel 2), Epidemiologische Studien (Kap. 3) und Übersichtsarbeiten (Kap. 4). Die Laboruntersuchungen unterteilen sich nach nieder- bzw. hochfrequenten Feldern, geordnet nach den jeweils verwendeten Frequenzbereichen. Zusätzlich wurde eine weitere Unterteilung nach Versuchstieren bzw. Versuchsmodellen (z.B. Hühnerembryonen, Säugetiere, Zell- und Gewebekulturen) vorgenommen.

In den Tabellen finden sich folgende Angaben: Autor (bei mehr als zwei Autoren ist nur der Erstautor mit dem üblichen Zusatz et al. angegeben), das Veröffentlichungsjahr der Studie, die Untersuchten EMF mit der Angabe des Frequenzbereichs, der elektrischen (E in V/m) oder magnetischen (H in A/m) Feldstärke bzw. der magnetischen Flussdichte B (in T) oder der Stromdichte S (in A/m²). Bei hochfrequenten Feldern sind in der Regel die Leistungsflussdichte (mW/cm²) und die spezifische Absorptionsrate (SAR in W/kg) angegeben. Bedauerlicherweise sind in einigen Arbeiten die untersuchten Expositionsbedingungen nur sehr unzureichend beschrieben, so dass dementsprechend in den Tabellen die entsprechenden Angaben nur

unvollständig wiedergegeben werden können. Die magnetische Flussdichte ist immer in Tesla angegeben, für die Studien, in denen noch alte Einheiten wie z.B. Gauß verwendet wurden, sind entsprechende Umrechnungen auf die aktuell gebräuchlichen Bezeichnungen vorgenommen worden. Die Originalangaben sind in diesen Fällen jeweils in Klammern beigefügt worden.

Weiterhin finden sich in den Tabellen Angaben über die Art der untersuchten Organismen bzw. Zellkulturen, die untersuchten Parameter (z.B. Embryonalsterblichkeit, Missbildungen, Chromosomenbrüche usw.) sowie in kurzer Form die beobachteten Ergebnisse. Angaben zur Größe der Stichproben werden nur in Ausnahmefällen gemacht, z.B. bei besonders kleinen Stichproben (z.B. Delgado et al. 1982). Detailinformationen zur Statistik, der Stichprobengröße sowie numerische Darstellungen der Ergebnisse können (soweit sie nicht im entsprechenden Kapitel angesprochen werden) den jeweiligen Veröffentlichungen entnommen werden. Die genaue Auflistung der Studien mit Angabe der Zeitschriften usw. befindet sich in der Literaturliste.

In einer Reihe von Arbeiten wurden die Ergebnisse von Untersuchungen mit verschiedenen Frequenzen zusammenfassend veröffentlicht. Diese Ergebnisse werden, der besseren Übersicht wegen, in der vorliegenden Studie getrennt in den jeweiligen Tabellen zu den einzelnen Frequenzbereichen aufgeführt. Aus diesem Grund sind die entsprechenden Arbeiten in den Tabellen mehrmals aufgeführt.

In den verschiedenen Kapiteln wird versucht, den jeweiligen Erkenntnisstand zusammenfassend und soweit dies überhaupt möglich ist, wertfrei darzustellen. Kritische Bewertungen einzelner Arbeiten wurden jedoch dann vorgenommen, wenn die veröffentlichten Ergebnisse in auffälliger Weise von dem bisherigen Kenntnisstand bzw. zu erwartenden Effekten abweichen, oder wenn der Verdacht nahe liegt, dass durch offensichtliche Fehler im Versuchsdesign, der Versuchsdurchführung oder durch andere Artefakte, die erhaltenen Ergebnisse entscheidend verfälscht wurden.

1.2. Allgemeines

Elektromagnetische Felder sind seit jeher Bestandteile der natürlichen Umwelt und werden von verschiedensten Organismen wahrgenommen und genutzt. Ein geeignetes Beispiel hierfür sind bestimmte elektrische Sinne in einigen Fischordnungen, die z.B. bei der Futtersuche oder zur Orientierung bei Wanderungen eingesetzt werden. Auch zahlreiche Vogelarten können verschiedene physikalische Komponenten des (statischen) Erdmagnetfeldes für bemerkenswerte Orientierungsleistungen benutzen. Mit der seit dem Beginn des Jahrhunderts zunehmenden Technisierung ist jedoch eine stetige Zunahme an elektromagnetischen Feldern zu verzeichnen, die das Maß der natürlichen Quellen erheblich übersteigt.

In der Vergangenheit stellte sich daher immer häufiger die Frage, ob und ggf. in welchem Ausmaß elektromagnetische Felder in der Lage sind, biologische Systeme und

hierbei insbesondere den menschlichen Organismus, zu beeinflussen. Daher wurden im Verlauf der letzten Jahrzehnte zahlreiche Untersuchungen zur Problematik von Wechselwirkungen nieder- und hochfrequenter elektromagnetischer Felder mit Organismen durchgeführt und veröffentlicht. Schwerpunkte der biologischen und medizinischen Forschung waren hierbei unter anderem ein möglicher Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und verschiedenen Krebsleiden sowie ein möglicher Einfluss auf die pineale Melatoninsynthese.

Seit den achtziger Jahren werden in zunehmenden Maße teratogene Einflüsse sowohl nieder- als auch hochfrequenter elektromagnetischer Felder (EMF) auf die Embryonalentwicklung von Vertebraten diskutiert. Obwohl zu diesem Themenkomplex bis zum heutigen Tag eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt wurde, gibt es über die genauen Mechanismen, durch welche die Embryonalentwicklung beeinflusst werden könnte, noch keine ausreichende und zufriedenstellende Erklärung. Es gibt jedoch eine Reihe von Arbeiten, bei denen Einflüsse von elektromagnetischen Feldern auf eine Reihe von Enzymen (z.B. Ornithin Decarboxylase, Protein Kinase C, cAMP, Acetylcholinesterase), auf RNA und DNA, Ionenaustausch (Ca^+ , K^+ , Na^+) und Zellmembraneigenschaften beschrieben wurden (GOODMAN et al. 1995). Derartige Wirkungen von hoch- oder niederfrequenten EMF auf zellulärer bzw. molekularer Ebene könnten in den verschiedenen Stadien der Embryonalentwicklung zu Missbildungen oder zum Absterben des sich entwickelnden Organismus führen.

DELGADO et al. veröffentlichten 1981 und 1982 zwei Arbeiten, in denen sie bei 48 Stunden alten Hühnerembryonen eine statistisch signifikante Zunahme von Missbildungen feststellen konnten, wenn diese in einem niederfrequenten elektromagnetischen Feld (100 Hz) bebrütet wurden. Obwohl DELGADO und Kollegen nicht die ersten waren, die eine Beeinflussung der Embryonalentwicklung durch elektromagnetische Felder nachgewiesen hatten (u.a. DIETZEL 1975, JOSHI et al. 1978), waren es gerade diese beiden Arbeiten (DELGADO et al. 1981, 1982) die zum Auslöser für zahlreiche weitere Untersuchungen wurden. In der Folge wurden von Forschergruppen vor allem in den USA, Kanada, Spanien, Finnland und Schweden zahlreiche teratologische Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht. Die veröffentlichten Ergebnisse waren jedoch sehr kontrovers. Während in einem Teil der Arbeiten eine Reihe von statistisch signifikanten Effekten nachgewiesen werden konnten (z.B. JUUTILAINEN 1986, JUUTILAINEN & SAALI 1986, LEAL et al. 1986, CHACON et al. 1990, UBEDA et al. 1994), ließen sich in anderen Arbeiten keine Unterschiede zwischen EMF exponierten Embryonen und scheinexponierten Kontrollen nachweisen (z.B. LEAL et al. 1989, COX et al. 1993, KOCH & KOCH 1991, MARTIN 1992). Um Unterschiede hinsichtlich des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung auszuschließen, schlossen sich verschiedene, unabhängig arbeitende Forschergruppen zum sogenannten „Henhouse Project“ zusammen. Leider lieferten auch die einzelnen Teilstudien des „Henhouse Projects“ keine übereinstimmenden Resultate, so dass auch dieses Projekt keine

Antwort zur tatsächlichen teratogenen Potenz der untersuchten EMF geben konnte.

Neben den vor allem durch die Stromversorgung erzeugten niederfrequenten elektromagnetischen Feldern, sind der menschliche Organismus und seine Umwelt durch den in den letzten 8-10 Jahren immer stärker betriebenen Ausbau der Mobilfunknetze, in zunehmenden Maße auch hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF) ausgesetzt. Während die thermischen Wirkungen von hochfrequenten Feldern auf biologische Systeme bereits gut dokumentiert worden sind, besteht zu möglichen athermischen Effekten bislang noch Forschungsbedarf.

1.3. Elektromagnetische Felder

Die in dem vorliegenden Bericht behandelten Arbeiten beziehen sich ausschließlich auf Untersuchungen mit nichtionisierender Strahlung, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften in drei Kategorien unterteilt wird:

- niederfrequente elektromagnetische Felder
- hochfrequente elektromagnetische Felder
- optische Strahlung (Infrarot; sichtbares Licht; Ultraviolett; 300 GHz - 3000 THz)

In der Elektrotechnik werden derzeit folgende Größen verwendet:

Einleitung

	Formelzeichen	SI-Einheit	
Stromstärke	I	Ampere	A
Spannung	U	Volt	V
magnetische Flussdichte	B	Tesla	1T = 1 Vs/m ²
magnetische Feldstärke	H	Ampere pro Meter	A/m
elektrische Feldstärke	E	Volt pro Meter	V/m
elektrische Flussdichte	D		As/m ²

In einigen älteren Arbeiten wird die magnetische Flussdichte noch in Gauss (G) angegeben, 1 Gauss entsprechen dabei 100 μT .

Im Bereich der privaten Haushalte erfolgt die Versorgung mit elektrischer Energie durch Wechselspannung, wobei der elektrische Strom sowohl seine Stärke als auch seine Richtung zeitlich verändert. Der Verlauf der technischen Wechselspannung ist sinusförmig. Die Anzahl der pro Sekunde ausgeführten Schwingungen wird als Frequenz bezeichnet und in Hertz (Hz) angegeben. In Deutschland wird die Wechselspannung mit 50 Hz (USA 60 Hz) betrieben. Der Effektivwert der elektrischen Spannung liegt in Deutschland bei 230 V, die periodischen Spannungsspitzen erreichen +325 V bzw. -325 V. Magnetische Wechselfelder entstehen durch bewegte elektrische Ladungen. Je stärker der Strom und je geringer der Abstand zu einem fließenden Strom, desto größer ist die magnetische Feldstärke. Der magnetischen Feldstärke proportional ist die magnetische Flussdichte (magnetische Induktion).

Im Gegensatz zu hochfrequenten Feldern, bei denen sich die elektromagnetischen Wellen von ihrer Quelle (Antennen) lösen und im Raum ausbreiten können, sind niederfrequente Felder an ihre Quelle gebunden. Dabei nimmt die

Feldstärke mit zunehmender Entfernung ab. Elektrische Felder lassen sich mit vergleichsweise geringem technischem Aufwand wirkungsvoll abschirmen, wohingegen eine Abschirmung gegen magnetische Wechselfelder nur mit großem Aufwand möglich ist, der zudem in vielen Fällen wirtschaftlich nicht rentabel ist.

Elektrische und magnetische Wechselfelder mit einer Frequenz bis 30 kHz werden als niederfrequent bezeichnet. In diesen Bereich fallen z.B. die elektromagnetischen Felder der öffentlichen Stromnetze, deren Frequenz in Europa 50 Hz beträgt. Der Niederfrequenzbereich unterteilt sich seinerseits in den ULF-Bereich (ultra low frequency) bis 3 Hz, in

den ELF-Bereich (extremely low frequency) von 3 Hz bis 3000 Hz und in den VLF-Bereich (very low frequency) von 3000 Hz - 30000 Hz.

In der Technik bzw. den biologischen und medizinischen Untersuchungen werden elektrische und magnetische Felder in verschiedenen Pulsformen, z.B. unipolar (Abb. 1), bipolar (Abb. 2), sinusförmig (Abb. 1 & 2) sowie in Rechteck- oder Sägezahnform verwendet.

Wie bereits eingangs des Kapitels erwähnt, sind die elektrischen Felder eng mit den magnetischen Feldern verknüpft. Je höher die Frequenz eines elektromagnetischen Feldes, desto enger ist die Verknüpfung der elektrischen und magnetischen Feldkomponenten. Die hochfrequente elektromagnetische Strahlung umfasst den Radiowellenbereich ab 30 kHz bis zum Mikrowellenbereich bei 300 GHz und erstreckt sich über 7 Größenordnungen:

- Langwelle (LW)
30 kHz - 300 kHz
- Mittelwelle (MW)
300 kHz - 3 MHz

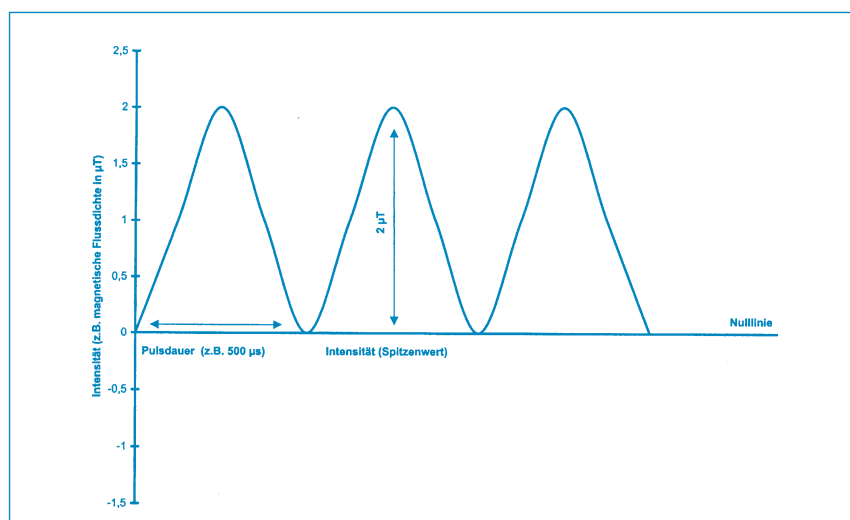


Abb. 1: unipolares sinusförmiges Magnetfeld.

- Kurzwelle (KW)
3 MHz - 30 MHz
- Ultrakurzwelle (UKW)
30 MHz - 300 MHz
- Dezimeterwellen:
300 MHz - 3 GHz
- Zentimeterwellen:
3 GHz - 30 GHz
- Millimeterwellen:
30 GHz - 300 GHz

Bei hochfrequenten Feldern (HF) werden die elektromagnetischen Wellen beim Durchgang durch Materie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die Eindringtiefe bezeichnet jene Wegstrecke, nach der die Strahlungsenergie auf 37% ihres Ausgangswertes zurückgegangen ist. Der Begriff spezifische Absorptionsrate (SAR) bezeichnet die Menge der in Wärme umgewandelten Strahlungsenergie, bezogen auf die Körpermasse, und wird in W/kg angegeben. Die pro Flächeneinheit einwirkende Strahlungsleistung wird üblicherweise in Watt pro m² (1 W/m² = 0,1 mW/cm²) angegeben und ist gleich dem Produkt aus elektrischer und magnetischer Feldstärke.

Die Eigenschaften eines hochfrequenten elektromagnetischen Feldes hängen unter anderem von der Entfernung zur Strahlungsquelle ab, wobei zwischen zwei Bereichen, Nah- und Fernfeld unterschieden wird. Im Nahfeld einer Strahlungsquelle (Antenne) sind die elektrische (E) und die magnetische Feldstärke (H) inkonstant und nicht mehr in Phase, d.h. sie stehen nicht senkrecht aufeinander. Dies führt dazu, dass an einer Stelle im Nahfeldbereich E sein Maximum erreicht während H = 0 ist und umgekehrt.

Im Fernfeldbereich ist der Abstand zur Strahlungsquelle groß gegenüber der Wellenlänge des hochfrequenten Feldes. Die elektrische und die magnetische Feldstärke sind in Phase, d.h. sie stehen senkrecht aufeinander (Abb. 3). Sowohl E als auch H verändern sich gleichzeitig in gleicher Weise und sind konstant. Der aus dem Verhältnis von H und E resultierende charakteristische Wert ist der sogenannte Wellenwiderstand. Der jeweilige Fernfeldbereich für die in Untersuchungen verwendeten hochfrequenten Felder kann

mit der Formel $d = 2D^2/\lambda$ berechnet werden, wobei D die größte Dimension der Antenne und λ die Wellenlänge des verwendeten hochfrequenten Feldes sind.

Im Vakuum ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen am größten und entspricht, unabhängig von der Frequenz, der Lichtgeschwindigkeit ($c = 299792 \text{ km/s}$). In Materie ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit umso kleiner, je größer die dielektrischen und magnetischen Eigenschaften des jeweiligen Materials von denen des Vakuums abweichen.

Zu Beginn der 80er Jahre waren die in den verschiedenen Staaten entstandenen Mobilfunknetze nicht miteinander kompatibel. Um diesem unerwünschten Zustand zu entgegen, wurde mit dem internationalen GSM-System (GSM = **G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications) ein Standard entwickelt, mit dem es möglich ist, weltweit die bestehenden Mobilfunknetze zu nutzen. Das GSM-System benutzt zur Nachrichtenübertragung eine Trägerfrequenz von 900 MHz. Damit die hohen Anwenderzahlen bei den Mobilfunksystemen erreicht werden können, werden die hochfrequenten Signale (Trägerfrequenz) digital codiert. Dies geschieht durch die sogenannte Pulsmodulation (Abb. 4) wodurch mehrere informationsübertragende Systeme gleichzeitig miteinander kombiniert werden können. Dabei werden in den Pausenzeiten eines Signals die einem anderen Gespräch zugeordneten Signale gesendet. Durch dieses Verfahren war es möglich, die Anwenderkapazitäten der Vorgängernetze (z.B. C-Netz) zu steigern. Weitere Steigerungen können durch die zusätzliche

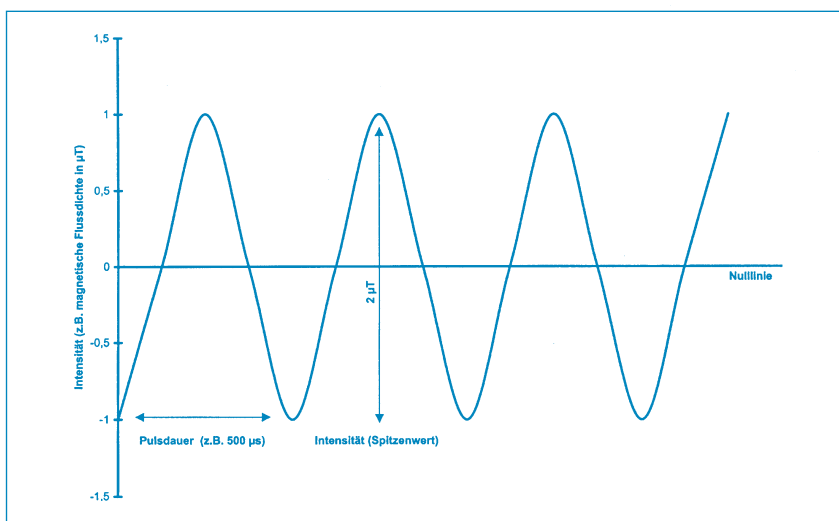


Abb. 2: bipolares sinusförmiges Magnetfeld.

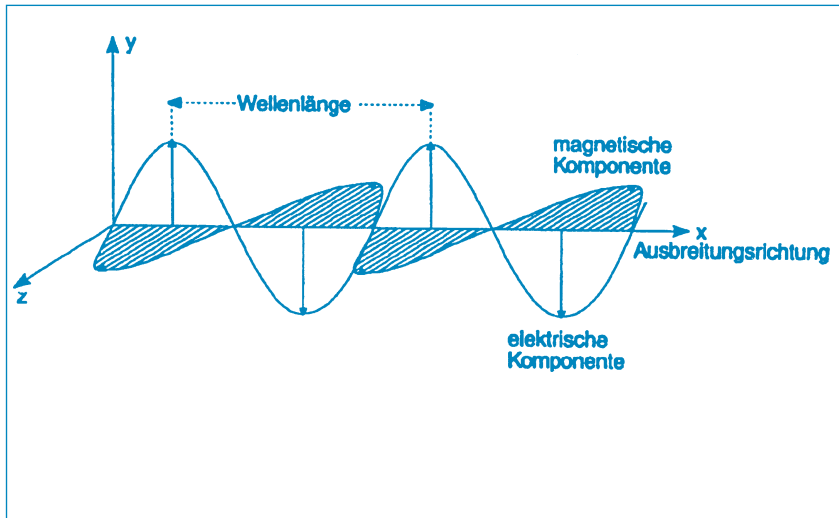


Abb. 3: Hochfrequentes EMF: elektrischer (E) und magnetischer (H) Feldanteil einer ebenen Welle im Fernfeldbereich.

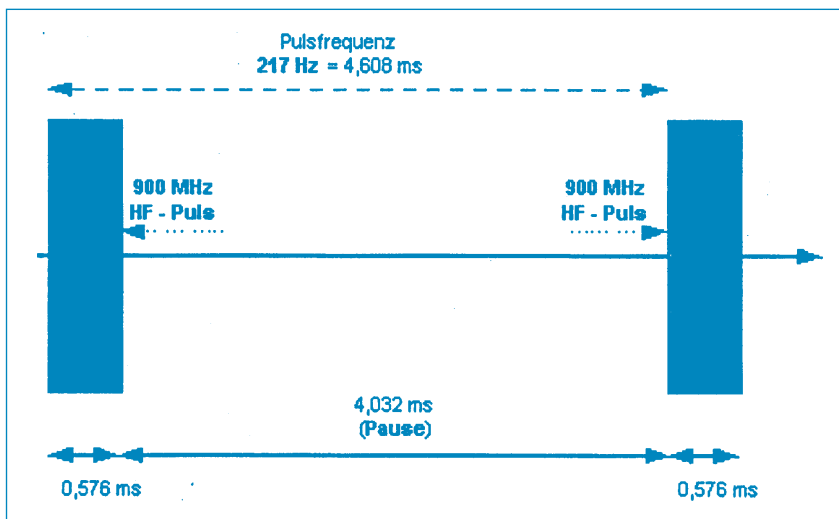


Abb. 4: Das Signal einer Mobilfunkbasisstation.

Verwendung von amplituden- und frequenzmodulierten Signalen erreicht werden. Im Falle des GSM-Signals wird die Trägerfrequenz (z.B. 900 MHz) mit 217 Hz gepulst.

Erfolgt die Pulsung einer Trägerfrequenz durch eine entsprechende zeitliche Erhöhung ihrer Amplitude, so spricht man von einer Amplitudenmodulation. Wird das EMF ungepulst appliziert, wird die Bezeichnung „continuous wave“ (cw) verwendet.

1.4. Teratologie

1.4.1. Allgemeines

Das Teilgebiet der Embryologie, das sich mit der Entstehung **kongenitaler Missbildungen** (bereits bei der Geburt vorhandene Anomalien) beschäftigt, ist die Teratologie (griech. Teratos = Monstrum). Als Ursachen kongenitaler Missbildungen gelten:

1. genetische Faktoren.
2. Umweltfaktoren.

Die Ursache für die meisten kongenitalen Missbildungen ist derzeit noch unbekannt, für einige jedoch werden genetische und/oder Umweltfaktoren verantwortlich gemacht. Man schätzt, dass beim Menschen ca. 7%-10% der kongenitalen Missbildungen mit bekannter Ursache ausschließlich auf Umweltfaktoren zurückzuführen sind. Weiteren 10% liegen ausschließlich genetische und chromosomale Defekte zugrunde. Der weitaus größere Anteil, ca. 80%, entsteht durch das Zusammenkommen von genetischen und äußeren Störungen (SCHUHMACHER et al. 1992, MOORE & PERSAUD 1996). Dies bedeutet, dass genetisch labile Organismen gegenüber teratogenen Umweltparametern besonders gefährdet sind.

Bekannte Teratogene für den Menschen sind bestimmte infektiöse Keime wie z.B. Rubeola-Viren (Röteln) oder das Herpes-simplex-Virus. Auch chemische Stoffe wie Arzneimittel (z.B. Contergan, Zytostatika), künstliche Hormongaben (z.B. Gestagene, Kortison) oder Chemikalien in der Umwelt (z.B. Quecksilber, Herbizide) können einen Embryo bzw. Fötus schädigen oder sogar töten.

Vor allem in der Periode des ausgeprägtesten Zellwachstums ist ein Embryo bzw. Fötus durch teratogene Einflüsse besonders gefährdet. Diese kritische Wachstumsperiode ist jedoch für jedes Organ bzw. Gewebe je nach dem Entwicklungsstadium des Embryos verschieden. Die Embryonalentwicklung unterteilt sich im Wesentlichen in drei Abschnitte:

Im ersten Abschnitt zwischen der Befruchtung der Eizelle und der Ausbildung der Keimblätter (Gastrulation) der Blastogenese (Vorkeimblattperiode) kann ein Teratogen alle bzw. einen Großteil der Zellen schädigen und somit zum Absterben des Embryos führen. Es ist aber auch möglich, dass nur ein geringer Teil der Zellen betroffen wird und die Regulationsfähigkeit des Embryos den Schaden kompensieren kann, so dass keine Missbildung sichtbar wird. Bei Hühnern laufen Blastulation und Gastrulation bereits in den ersten Stunden nach der Befruchtung ab, z.T. noch im Uterus des Muttertiers. Beim Menschen liegt diese Periode in der 1.-2. Schwangerschaftswoche.

Der nächste Entwicklungsabschnitt wird als Embryonalperiode bezeichnet. In dieser Phase werden die einzelnen Organe angelegt. Dieser Abschnitt liegt beim Menschen in der 3.-8. Schwangerschaftswoche. Hühnerembryonen erreichen ein vergleichbares Stadium nach etwa 4 Tagen. Die Embryonalperiode ist derjenige Entwicklungsabschnitt, in dem aufgrund der zahlreichen, intensiven Zelldifferenzierungen teratogene Faktoren ihre größte Wirkung entfalten können.

Der dritte und letzte Entwicklungsabschnitt ist die Fetalperiode, in die das Größenwachstum des Fötus

bzw. der Organe fällt. In dieser Periode ist in der Regel eine nachlassende Empfindlichkeit des Fötus gegenüber teratogenen Einflüssen zu beobachten (LANGMAN 1985). Nur bei einigen Organsystemen, wie z.B. Kleinhirn, Großhirnrinde oder Teilen der Exkretionsorgane, finden noch Differenzierungsvorgänge statt. So ließen sich z.B. bei Ratten auch noch in späteren Schwangerschaftsstadien teratogene Effekte nachweisen, die zu ausgeprägten Schädigungen der Großhirnrinde führten (LANGMAN 1985).

1.4.2. Kongenitale Missbildungen

Anomalien, die bereits bei der Geburt vorhanden sind, werden als **kongenitale Missbildungen** bezeichnet. Sie sind teilweise makroskopisch sichtbar, lassen sich jedoch in vielen Fällen erst durch mikroskopische Untersuchungen nachweisen. Störungen während der Embryonalentwicklung können sich auf Stoffwechsel, Morphologie, Vererbung, Verhalten sowie auf funktionaler Ebene auswirken. An dieser Stelle sollen einige, in der Terminologie der Embryologie gebräuchliche Begriffe kurz vorgestellt werden:

Anomalie: Mit diesem Begriff werden alle Arten von körperlichen Missbildungen bezeichnet. Anomalien lassen sich aus klinischen Gesichtspunkten in vier Klassen unterteilen (nach: MOORE & PERSAUD 1996):

Fehlbildungen: Alle, auf einer endogenen Entwicklungsstörung beruhenden, morphologisch erkennbaren Defekte von Organen bzw. Organabschnitten oder größerer Bereiche des Körpers, werden als Fehlbildung bezeichnet. In diesem

Zusammenhang bedeutet endogen, dass die Entwicklungspotenz eines Keimes durch Chromosomenanomalien, die bereits bei der Befruchtung auftreten, beeinträchtigt ist.

Disruption: Der Begriff Disruption bezeichnet solche Missbildungen, die auf exogen ausgelöste Entwicklungsstörungen zurückzuführen sind. Fehlbildungen, die auf teratogene Ursachen zurückzuführen sind, sollten daher eigentlich als Disruption bezeichnet werden. Eine Disruption ist nicht vererbbar, es gibt jedoch genetische Faktoren, die als Ursache in Frage kommen.

Deformation: Deformationen sind Form- oder Lageanomalien (z.B. Klumpfuß), die ihre Ursache in einer Einwirkung mechanischer Kräfte auf den Keim haben. Entwicklungsstörungen des zentralen Nervensystems, wie z.B. die Meningomyelozele, können aufgrund von funktionellen Störungen, in einigen Fällen ebenfalls zu Deformationen führen. Der Begriff Meningomyelozele bezeichnet eine gravierende Missbildung des Nervensystems. Dabei handelt es sich um eine Zyste, die neben Meningen (kapselartige Hüllschicht, Hirnhäute, z.B. Dura mater) und Liquor (Gehirn- und Rückenmarksflüssigkeit) auch Anteile des Rückenmarks (z.B. Spinalnervenzwurzeln) enthält. Meningomyelozele können überall entlang des Rückenmarks auftreten.

Dysplasie: Fehlbildungen von Zellen oder Geweben, die für bestimmte Gewebedifferenzierungen verantwortlich sind, werden als Dysplasie bezeichnet.

Neben den als kongenitale Missbildungen bezeichneten, meist

Einleitung

pathogenen morphologischen Veränderungen am Embryo, können auch embryotoxische Effekte auftreten, die zu einem Absterben des Embryos bzw. Fötus im Mutterleib führen, ohne dass offensichtliche morphologische Missbildungen die Ursache sind. Man sollte daher zwischen den Begriffen „teratogener Effekt“ (Auftreten von kongenitalen Missbildungen) und „Embryonalsterblichkeit“ unterscheiden, da die in den verschiedenen Entwicklungsstadien vorzeitig gestorbenen Embryonen bzw. Föten nicht immer aufgrund von kongenitalen Missbildungen abgestorben sein müssen.

Abort (spontaner): Ein spontaner Abort ist besonders häufig in der ersten Schwangerschaftswoche, während der Implantation der Blastozyste in die Uterusschleimhaut. Es wird geschätzt, dass die tatsäch-

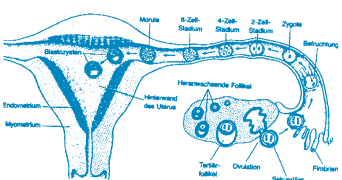
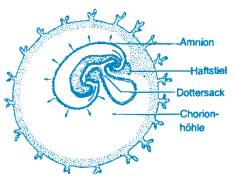
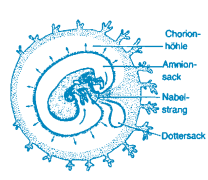
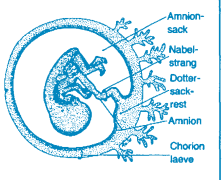

liche Abortrate wesentlich über den häufig angegebenen 15% liegt, da viele Frauen Abortblutungen für eine verspätete Menstruationsblutung halten. Die weitaus häufigste Ursache für spontane Aborte sind Chromosomenanomalien der Zygote. Weitere Ursachen sind Missbildungen des Embryos, Krankheiten oder schädigende Umwelteinflüsse. In den ersten 2-3 Wochen der Embryonalentwicklung verursachen Teratogene in den meisten Fällen keine Missbildungen, können aber zum Absterben der Blastozyste und damit zu einem spontanen Abort führen.

Totgeburt: Die Auslöser für eine Totgeburt reichen von Infektionen und Erkrankungen des Mutterorganismus und/oder des Embryos bzw. Fötus über kongenitale Missbildungen bis hin zu mechanischen Problemen mit der Plazenta oder der

Nabelschnur. Weitere Ursachen sind unzureichende Schwangerschaftsvorsorge, chromosomale Schädigungen, Mehrlingsschwangerschaft, Drogen, Medikamente, Chemikalien oder andere Umweltparameter. (siehe Zeittafel Schwangerschaftsstadien, Seite 12)

1.5. Der Hühnerembryo als Versuchsmodell

Da in vivo Untersuchungen an menschlichen Embryonen aus nachvollziehbaren ethischen Gründen nicht möglich sind, werden teratologische Laboruntersuchungen an Tiermodellen mit einer vergleichbaren Embryonalentwicklung durchgeführt. Da die überwiegende Anzahl von potentiellen Teratogenen

1. WOCHE PRÄIMPLANTATION	2. WOCHE IMPLANTATION	EMBRYONALPERIODE 3. BIS 8. WOCHE		FETALPERIODE 9. BIS 38. WOCHE (GEBURT)
Zygote ↓ Morula ↓ Blastocyste	Bildung von: Amnionhöhle, Keimscheibe, Dottersack (primär) Chorion	3. Woche: Gastrulation, Primitivstreifen, Chordadorsalis, Neurulation, Allantois, Somiten, Cölom, Blutgefäße	4. bis 8. Woche: Schwanz, Ohrplakode, Augenbläschen, Nasengruben, Hirnbläschen, Extremitäten, Retina (Pigment)	Ausreifung und Größenwachstum der in der Embryonalperiode angelegten Extremitäten, Organe und Gewebe
1.-2. Woche 	4. Woche 	5. Woche 	20. Woche 	Geburt 
Teratogene Einflüsse werden kompensiert oder es kommt zum ABORT.	Schwere morphologische Anomalien in allen sich differenzierenden Extremitäten, Organen und Geweben.		Kleinere morphologische Anomalien und funktionelle Defekte in ZNS, Ohr, Augen, Zähnen Gaumen, Genitalien.	

Die verschiedenen Phasen der Embryonalentwicklung und ihre Empfänglichkeit für teratogene Einflüsse

über den Metabolismus des Mutterorganismus zum Embryo gelangt, verwendet man in den meisten Untersuchungen, z.B. zur Pharmakokinetik oder Wirkungen von z.B. Chemikalien, Säugetiere als Tiermodell (in der Regel Hunde, Ratten, Mäuse). Etwas anders gestaltet sich die Problematik bei elektromagnetischen Feldern. Es kann nicht von vornherein ausgeschlossen werden, dass diese aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften, teratogene Wirkungen auch direkt auf den sich im Mutterleib entwickelnden Embryo ausüben. Um mögliche, unmittelbar auf den Embryo einwirkende teratogene Effekte von EMF zu untersuchen, finden in der EMVU-Forschung in großem Umfang auch Vogelembryonen, vor allem Hühner-, in geringerem Umfang auch Wachtel-embryonen, als Tiermodell Verwendung. Da dem unbefangenen Beobachter die Nähe bzw. die Übertragbarkeit dieses Tiermodells auf den Menschen möglicherweise etwas weit hergeholt erscheint, soll in diesem Kapitel auf den Hühnerembryo als Objekt teratologischer EMVU-Studien näher eingegangen werden.

Aufgrund ihrer Gemeinsamkeiten bei der Embryonalentwicklung werden Reptilien, Vögel und Säugetiere zusammenfassend auch als Amniota bezeichnet. Zu Beginn der Embryonalentwicklung kommt es bei den Amnioten, ausgehend vom Rand der Keimscheibe, zur Ausbildung der Embryonalhüllen. Dabei entsteht um den Embryo eine Falte (Amnionfalte) aus zwei Eihüllen: eine äußere, die Serosa (= Chorion), und eine innere, das Amnion. Das Amnion bildet die den Embryo bzw. Fötus umgebende, flüssigkeitsgefüllte Amnionhöhle. Das in der Amnionhöhle gespeicherte Wasser sorgt für eine freie

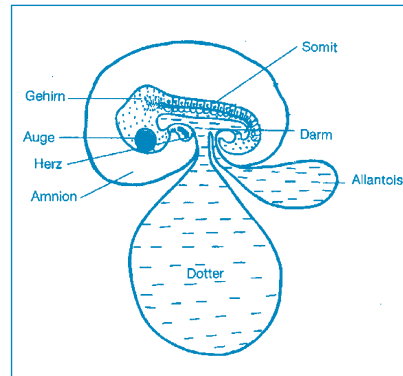


Abb. 5: Embryo eines amnioten Vertebraten (nach ANDERSON BROWN 1988)

Beweglichkeit des Embryos und dient darüber hinaus als Stoßdämpfer. Eine Ausbuchtung der embryonalen Kloake bildet die dritte, für die Amnioten charakteristische Eihülle, die Allantois. Die Allantois dient als Exkretspeicher (Harnsäure) und bis zum Funktionieren der Lungen auch als Atmungsorgan.

Obwohl die Vorgänge während der frühen Embryonalentwicklung in einem Ei in vielen Dingen mit denen der Säugetiere übereinstimmen, verläuft in den ersten Tagen nach der Befruchtung die Entwicklung des Embryos in einem Hühnerembryo sehr viel schneller als z.B. beim Menschen. So sind beim Hühnerembryo bereits 26-29 Stunden nach der Befruchtung 4 Somiten (Urwirbel) ausgebildet und erste Ansätze der Blutgefäße zu sehen (HAMBURGER & HAMILTON 1951). Weiterhin lassen sich in diesem Entwicklungsstadium schon erste Ausdifferenzierungen von neuronalem Gewebe nachweisen (HAMBURGER & HAMILTON 1951). Ein Mäuseembryo braucht etwa 9,5 Tage, ein menschlicher Embryo ca. 20 Tage um ein vergleichbares Entwicklungsstadium zu erreichen.

Für die Untersuchungen der teratogenen Potenz bestimmter Drogen,

Medikamente oder Chemikalien auf die Embryonalentwicklung beim Menschen, sind Hühnerembryonen als Versuchsmodell weitestgehend ungeeignet. Dies liegt in erster Linie daran, dass solche Stoffe über den Blutkreislauf und Stoffwechsel der Mutter zum Embryo bzw. Fötus gelangen und hierbei u.a. die Plazenta als Schutzbarriere überwunden werden muss. Anders sieht es hingegen bei der Erforschung von möglichen teratogenen Wirkungen von elektromagnetischen Feldern aus. Hier sind prinzipiell zwar auch sekundäre teratogene Effekte durch den Mutterorganismus möglich, doch kann man davon ausgehen, dass ein Embryo/Fötus auch direkt durch elektromagnetische Felder beeinflusst werden kann. Für Studien, in denen unmittelbare Einflüsse von elektromagnetischen Feldern auf die Embryonalentwicklung untersucht werden sollen, hat sich der Hühnerembryo als ein geeignetes Versuchsmodell erwiesen, das auch international akzeptiert ist. Dies hat dazu geführt, dass ein großer Teil der Untersuchungen über teratogene Effekte elektromagnetischer Felder an Hühnerembryonen vorgenommen wurde. Neben der Möglichkeit, Wirkungen von elektromagnetischen Feldern unmittelbar an exponierten Embryonen zu untersuchen, bietet der Hühnerembryo als Untersuchungsmodell noch eine Reihe anderer Vorzüge gegenüber anderen Tiermodellen, die im folgenden beschrieben werden.

Im Uterus befindliche Embryonen/Föten bewegen sich (passiv), bedingt durch die Bewegungen des Muttertieres in seinem Haltungs- bzw. Testkäfig, unkontrolliert innerhalb des applizierten Feldes. Dies könnte dazu führen, dass die untersuchten

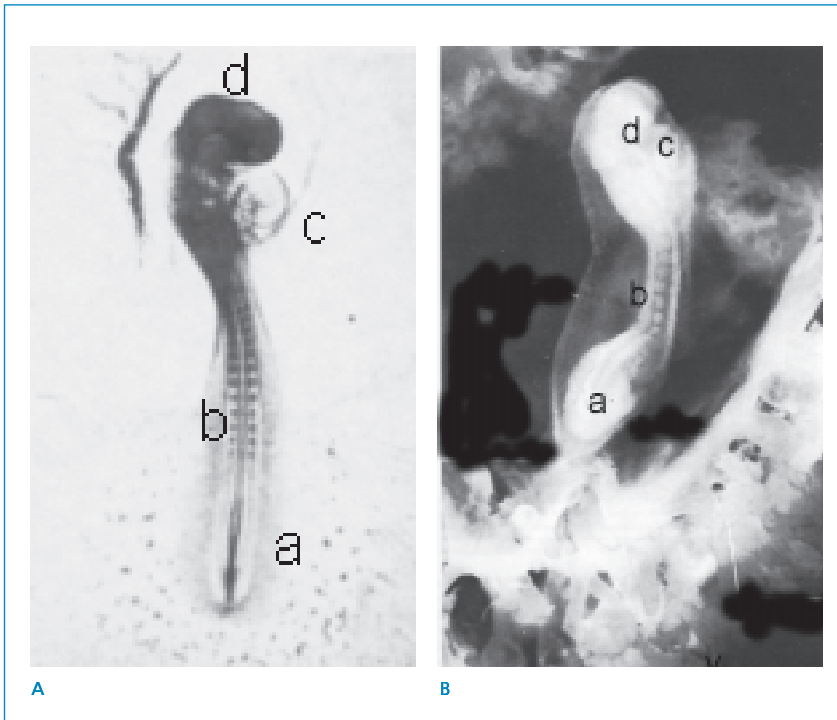


Abb. 6: A. Hühnerembryo im Alter von ca. 2 Tagen (nach HAMBURGER & HAMILTON 1951). B. Menschlicher Embryo am 24.-25. Tag (nach: MOORE & PERSAUD 1996). a = Schwanz; b = Somiten; c = Herz; d = Kopf.

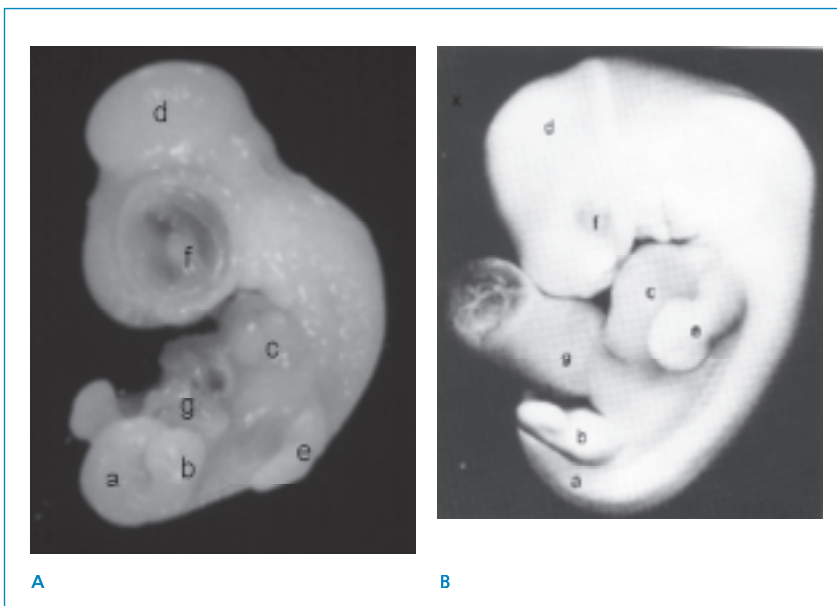


Abb. 7: A. Hühnerembryo im Alter von 4 – 5 Tagen (Foto THALAU). B. Menschlicher Embryo am 41. Tag (nach: MOORE & PERSAUD 1996). a = Schwanz; b = Beinanlage; c = Herz; d = Schädeldach, e = Armanlage; f = Auge; g = Nabel.

Embryonen bzw. Föten, aufgrund von inhomogenen Feldbedingungen, während der Expositionsdauer unterschiedlichen Feldbedingungen ausgesetzt werden. Dabei ist nicht auszuschließen, dass die Embryonen bzw. Föten bereits auf derartige Veränderungen innerhalb eines elektromagnetischen Feldes reagieren können.

Bei Säugetieren sind aufgrund der individuellen Unterschiede hinsichtlich der Körpergröße, der Fettdepots und anderer Parameter unterschiedliche physikalische Voraussetzungen zu erwarten, die mögliche Wirkungen von elektromagnetischen Feldern beeinflussen könnten. Aufgrund dieser individuellen Unterschiede ist es daher nicht möglich, genau zu definieren, welchen Feldbedingungen die einzelnen Embryonen bzw. Föten während des Versuches tatsächlich ausgesetzt waren. Dies ist jedoch besonders bei Untersuchungen mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Bedeutung, da hierbei die Absorptionseigenschaften des exponierten Gewebes bzw. des gesamten Organismus von den jeweiligen physikalischen Gegebenheiten (z.B. Körpergröße, Fett- oder Muskelgewebe) abhängig sind. Somit erscheint es schon allein aufgrund der Unterschiede bei der Körpergröße problematisch, Ergebnisse, die aus Untersuchungen mit hochfrequenten Feldern an Ratten oder Mäusen gewonnen wurden, auf den menschlichen Embryo/Fötus zu übertragen. Für einen menschlichen Embryo bzw. Fötus innerhalb seines Mutterorganismus gelten bei gleicher Leistungsflussdichte sicherlich andere Expositionsbedingungen, als dies bei EMF-exponierten Ratten- oder Mäuseembryonen/-föten der

Fall ist. Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass beim Menschen bedingt durch die dickeren Gewebeschichten von Bauchdecke, Körperfett und Uterus zumindest ein erheblicher Anteil des hochfrequenten Feldes absorbiert wird und somit der exponierte Embryo bzw. Fötus wesentlich geringeren Leistungsflussdichten ausgesetzt ist.

Bei Untersuchungen an Säugetieren kann nicht hundertprozentig sichergestellt werden, ob festgestellte teratogene Effekte ihre Ursachen in direkten Einwirkungen der applizierten EMF auf den exponierten Embryo bzw. Fötus haben, oder auf sekundäre Effekte, bedingt durch EMF-bedingte Schädigungen des Mutterorganismus zurückzuführen sind. Weitere Parameter, welche die Embryonalentwicklung bei Säugetieren nachhaltig beeinträchtigen können, sind Erkrankungen der Muttertiere sowie Fehler in deren Haltungsbedingungen (z.B. Futter, Temperaturbedingungen, haltungsbedingter Stress). Darüber hinaus ist bei Untersuchungen mit hochfrequenten Feldern zu beachten, dass Hühnereier (und auch die anderer Vogelarten) im Vergleich zum Menschen bei bestimmten Frequenzen eine deutlich höhere Absorptionsfähigkeit im Resonanzbereich aufweisen. Die ist der Fall, wenn die Größe des exponierten Objektes (Ei bzw. Embryo) etwa der halben Wellenlänge entspricht. Auch die dielektrischen Eigenschaften des exponierten Objektes spielen hierbei eine Rolle. Diese unterschiedlichen physikalischen Gegebenheiten müssen selbstverständlich bei der Diskussion um die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus derartigen Studien berücksichtigt werden.

1.6. Zytologie

Da in der vorliegenden Übersichtsstudie auch eine Auswahl an Veröffentlichungen vorgestellt wird, in denen die Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf das Erbgut untersucht wurde, werden im Folgenden einige der gebräuchlichsten Begriffe bzw. Testverfahren vorgestellt.

– **Mitose:** Ein Organismus entsteht aus der befruchteten Eizelle durch mitotische Zellteilungen. Mit Ausnahme von bestimmten Zelltypen, wie z.B. Muskel- oder Nervenzellen, befinden sich die Zellen eines Organismus in der Regel zwischen zwei Mitosen, der sogenannten *Interphase*. Der **Mitose-Index** gibt die Anzahl der mitotischen Zellteilungen bezogen auf 1000 Zellen an, wobei ein hoher Mitose-Index für wachsendes oder sich regenerierendes Gewebe charakteristisch ist. Der Ablauf einer mitotischen Zellteilung lässt sich in 5 Phasen unterteilen. In der ersten Phase, der *Prophase*, endet die Interphase, das heißt die „Arbeitszelle“ wird zur „Teilungszelle“. In diesem Abschnitt rundet sich die Zelle, die Kernmembran verschwindet und die Chromosomen werden sichtbar. In der *Metaphase*, dem zweiten Abschnitt verkürzen und verdicken sich die Chromosomen und bewegen sich auf die Äquatorialebene der Zelle zu. An den Einschnürungen der Chromosomen entstehen am Kinetochor die Fasern der Metaphasenspindel. In der anschließenden *Anaphase*, dem dritten Abschnitt der Mitose, bewegen sich die Chromosomenhälften auseinander in Richtung der beiden Zellpole zu den dort gelegenen Zentriolen. In der *Telophase* befinden sich die Chromosomen in

der Nähe der Zentriolen der beiden Tochterzellen, werden wieder länger und unsichtbar. Die Kernmembran bildet sich aus, der Nukleolus erscheint wieder und zwei neue Interphasenkerne entstehen. In der *Rekonstruktionsphase* nehmen die neu entstandenen Zellen ihre typische Gestalt an und gliedern sich in ihren Gewebeverband ein. Als **Kariogenese** bezeichnet man die Bewegung der Chromosomen während der Mitose. Die **Zytokinese** bezeichnet die Durchtrennung des Zellkörpers und folgt normalerweise auf die Kariogenese.

– **Chromosomen:** In der späten Prophase bzw. der Metaphase erkennt man bei den einzelnen Chromosomen zwei Chromosomenarme, die durch eine Einschnürung miteinander verbunden sind. In den Chromosomenarmen sind zwei spiralig gewundene Chromatiden zu erkennen. Die doppelte Spirale, die sogenannte „Doppelhelix“ besteht aus *Desoxynukleinsäure*, der **DNS**. Die DNS ist der Träger der genetischen Information eines Organismus und der wichtigste Bestandteil eines Chromosoms. Der chemische Aufbau der DNS besteht aus der Desoxyribose sowie den Basen Adenin, Cytosin, Guanin und Thymin. An der DNS bildet sich die Ribonukleinsäure, die **RNS**, die im Interphasenkerne die genetische Information von der DNS auf die Funktionsstrukturen einer Zelle überträgt (Proteinsynthese). Die RNS ist jedoch kein Bestandteil der Chromosomen. Die Doppelhelix ist in niedermolekularen basischen Proteinen, den sogenannten *Histonen* eingebettet. Alle Bestandteile eines Zellkernes, die chromosomaler Natur sind, werden unter dem Begriff *Chromatin* zusammengefasst. Der von einem

Elternteil stammende Chromosomensatz wird als *haploid* bezeichnet. *Diploide* Zellkerne verfügen über zwei entsprechende, jeweils von einem Elternteil stammende Chromosomensätze. *Polyploide* Zellkerne sind entsprechend aus mehreren Chromosomensätzen zusammengesetzt. Zur Vorbereitung auf die Befruchtung wird in den weiblichen bzw. männlichen Geschlechtszellen der Chromosomensatz halbiert, das heißt die Zelle wird haploid. Dieser Vorgang heißt *Meiose*. In der Meiose finden zwei Teilungsschritte statt: die 1. und 2. Reifeteilung.

Kommt es während der Mitose bzw. der Meiose zu Störungen, so können mögliche Schäden durch das numerische Bestimmen von Veränderungen an den Chromosomen oder mit Hilfe bestimmter Testverfahren erkannt werden.

– **Chromosomenaberrationen:** Bei den Veränderungen an den Chromosomen unterscheidet man im Allgemeinen zwischen strukturellen und numerischen Chromosomenaberrationen (Chromosomenmutationen). Beide Fälle sind irreversibel. Numerische Chromosomenaberrationen führen zu einer Änderung in der Anzahl der Chromosomen eines Genoms. Eine Ursache hierfür ist eine Störung bei der Meiose, bei der sich zwei gepaarte Chromosomen nicht trennen und so, anstatt auf zwei Tochterzellen verteilt zu werden, beide in dieselbe Tochterzelle gelangen. Diese besitzt nun ein Chromosom zuviel (Trisomie), während die andere eines zu wenig aufweist (Monosomie). Bei einer strukturellen Chromosomenaberration kommt es zu Chromatidbrüchen, Chromosomenbrüchen, a- und dizentrischen Chromosomen.

Chromosomenaberrationen werden bei ca. 25% aller Spontanaborte festgestellt, wobei diese Zahl noch weitaus höher sein dürfte, da ein großer Teil an Frühaborten un bemerkt abläuft.

– **Mikronukleus-Test:** Der Mikronukleus-Test ist eine Methode für den Nachweis (in vivo & in vitro) von Schädigungen des Genoms durch genotoxische bzw. mutagene Agentien. Die Anwesenheit von Mikronuklei ist ein Indikator für Chromatid- bzw. Chromosomenfragmente, Schäden an der Spindel (Mitose) und das Auftreten von numerischen Chromosomenaberrationen. Mikronuklei sind kleine Kerne neben dem Hauptkern, in denen Fragmente von Chromosomen oder dem Spindelapparat enthalten sein können.

– **Schwesterchromatidaustausch-Test:** Dieser Test ist ein Kurzzeit-Test zur Untersuchung des Austausches der DNS zweier Schwesterchromatiden eines sich replizierenden Chromosoms.

2. Laboruntersuchungen

2.1. Niederfrequente elektromagnetische Felder

2.1.1. Untersuchungen an Hühner- und Wachtel-embryonen (in vivo)

In die vorliegende Übersichtsstudie wurden insgesamt 33 Arbeiten (Tab. 1-6) über teratologische Effekte von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern an Hühner- bzw. Wachtel-embryonen aus dem Zeit-

raum von 1978-1998 aufgenommen. Insgesamt wurden in diesen Arbeiten 9 verschiedene Magnetfelder mit Frequenzen im Bereich von 1 Hz bis 10 kHz untersucht (Tafel 1). In einigen Studien wurden in verschiedenen Versuchsreihen zwei oder mehrere Frequenzen appliziert, daher werden in Tafel 1 sowie in den Übersichtstabellen einige Arbeiten mehrfach aufgeführt. In vier Arbeiten wurden die Effekte von Magnetresonanztomographen (MRT) bzw. Computer-Bildschirmen untersucht. In zwei Arbeiten wurde ein statisches Magnetfeld und in einer weiteren ein elektrisches 60 Hz Feld appliziert (siehe Tafel 1).

Das Hauptaugenmerk der aufgeführten Studien richtete sich in erster Linie auf einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von diversen Missbildungen und den untersuchten EMF. Hierzu wurden für die verschiedenen Frequenzen insgesamt 34 Untersuchungen durchgeführt. Weitere Schwerpunkte waren mögliche Einflüsse der untersuchten Felder auf den Verlauf der Embryonalentwicklung (18 Untersuchungen) bzw. auf die Embryonalsterblichkeit (11 Untersuchungen). Des Weiteren wurden noch folgende Parameter untersucht: Zellanomalien bei Pinealocyten, Enzymaktivität, Zellwachstum, Fertilität, Futteraufnahme der Elterntiere, das Geschlechterverhältnis bei den geschlüpften Jungtieren, die Legerate (jeweils zwei Untersuchungen) sowie Proteinsynthese, Organogenese, Körpergewicht der Embryonen bzw. Küken, Hormone und die Entwicklung des Cerebellums (jeweils eine Untersuchung).

Eine Analyse der bisher vorliegenden Daten wird in erster Linie dadurch

EMF/Frequenz	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
statisches Feld	2	1
1,0 Hz	1	1
10,0 Hz	2	1
16,7 Hz	1	1
30,0 Hz	2	1
50,0 Hz	5	2
60,0 Hz	7	3
100,0 Hz	16	4
1,0 kHz	3	5
10,0 kHz	1	5
elektrisches Feld (60 Hz)	1	6
MRT/Bildschirme	4	6

Tafel 1: Teratologische Untersuchungen zum Einfluss von niederfrequenten EMF auf Hühner- und Wachtelembryonen. Untersuchte Felder und Frequenzen (elektrische & Magnetfelder).

erschwert, dass für viele der untersuchten Frequenzen bzw. Felder (elektrische Felder, MRT, Bildschirme) nur eine bzw. zwei Studien (z.T. von den selben Autoren) veröffentlicht wurden. Zusätzliche Schwierigkeiten ergeben sich aus der Beschaffenheit der untersuchten Magnetfelder (Rechteck, Sinus, unipolar, bipolar, vertikal oder horizontal), den applizierten magnetischen Feldstärken bzw. Flussdichten sowie der Diversität der untersuchten biologischen Parameter.

Für 50, 60 und 100 Hz liegen jedoch mehrere Studien vor, die zudem noch in unterschiedlichen Laboren durchgeführt wurden. Daher wird im Folgenden auf die Untersuchungen mit diesen Frequenzen etwas genauer eingegangen.

Zu teratologischen Untersuchungen mit 50 Hz-Magnetfeldern an Hühner- bzw. Wachtelembryonen liegen insgesamt 5 Arbeiten vor. Die einzelnen Arbeiten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Expositionsbedingungen z.T. erheblich. Das gilt sowohl für die Beschaffenheit (Sinus, Rechteck) sowie die magnetische

Flussdichte bzw. Feldstärke der untersuchten Magnetfelder. Auch hinsichtlich der Dauer der Exposition waren die Unterschiede z.T. erheblich. Detaillierte Angaben zu den Versuchsbedingungen können in Tabelle 2 nachgelesen werden.

Die Missbildungsrate war in allen 5 Studien einer der untersuchten Parameter. In zwei Arbeiten (JUUTILAINEN & SAALI 1986, VEICSTEINAS et al. 1996) wurde zusätzlich der Verlauf der Embryonalentwicklung untersucht sowie in zwei weiteren Arbeiten die Embryonalsterblichkeit (PAVKOFA et al. 1994, TEROL & PANCHON 1995). Eine Arbeit (VEICSTEINAS et al. 1996) befasste sich darüber hinaus noch mit möglichen Einflüssen des untersuchten 50 Hz-Magnetfeldes auf die Organentwicklung, Proteinsynthese sowie das postnatale Körpergewicht und andere Parameter bei 90 Tage alten Küken.

In drei Arbeiten (COX et al. 1993, PAVKOFA et al. 1994, VEICSTEINAS et al. 1996) konnten keine Effekte der applizierten 50 Hz-Felder auf die untersuchten Parameter festgestellt werden. In den beiden anderen Studien (JUUTILAINEN & SAALI 1986,

TEROL & PANCHON 1995) waren, zumindest bei bestimmten magnetischen Feldstärken bzw. Flussdichten, die Embryonalsterblichkeit und/oder die Missbildungsrate gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. An beiden Arbeiten ist jedoch zu kritisieren, dass zum einen sehr kleine Stichproben (n=10 Embryonen) verwendet wurden (TEROL & PANCHON 1995) und sich zum anderen nur sehr ungenaue Angaben zu den beobachteten Effekten bzw. der statistischen Auswertung finden lassen.

Mit 60 Hz-Magnetfeldern und deren möglichen Effekten auf die Embryonalentwicklung von Hühnerembryonen befassen sich insgesamt 7 der vorliegenden Arbeiten. Leider gilt für die Expositionsbedingungen auch hier das Gleiche wie für die Untersuchungen mit 50 Hz-Feldern. In fast jeder Studie finden sich Unterschiede hinsichtlich der Expositionsbedingungen (z.B. der magnetischen Flussdichte, Expositionsdauer). Darüber hinaus wurden in den einzelnen Arbeiten jeweils andere biologische Parameter untersucht (s. Tab. 3). Die Missbildungsrate und die Embryonalsterblichkeit wurden in den Arbeiten von KRUEGER et al. (1975), MARTIN (1992) und FARRELL et al. (1997) untersucht. Während bei den Untersuchungen von FARRELL et al. (1997) eine statistisch signifikante Zunahme an Missbildungen bei den EMF-exponierten Embryonen festgestellt wurde, konnten bei den Versuchen von KRUEGER et al. (1975) und MARTIN (1992) keine Effekte der untersuchten 60 Hz-Felder nachgewiesen werden. Weitergehende Angaben zu den vorliegenden Studien mit 60 Hz-Magnetfeldern an Hühnerembryonen finden sich in Tabelle 3.

Die meisten Untersuchungen liegen für 100 Hz-Magnetfelder vor (Tab. 4). Im Gegensatz zu den Untersuchungen mit 50- bzw. 60 Hz-Feldern waren hierbei jedoch die Expositionsbedingungen durchaus vergleichbar oder sogar mehr oder weniger identisch. Dies gilt auch für die untersuchten biologischen Parameter (Missbildungen, Embryonalsterblichkeit, Entwicklungsstadium). In 11 der vorliegenden Arbeiten (DELGADO et al. 1981, 1982, FARRELL et al. 1997, JUUTILAINEN 1986, LEAL et al. 1986, 1989, LITOVITZ et al. 1994, MARTIN 1988, TEROL & PANCHON 1995, UBEDA et al. 1983, 1994) berichten die Autoren von einem statistisch signifikanten Anstieg der Missbildungsrate innerhalb der EMF-exponierten Versuchsgruppen. In den 4 übrigen Arbeiten (KOCH & KOCH 1991, MAFFEO et al. 1984, 1988, MARTUCCI et al. 1984) konnten hingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Missbildungsrate zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Embryonen festgestellt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse wurde Ende der 80er Jahre das sogenannte „Henhouse-Project“ durchgeführt, dessen Ergebnisse in einer gemeinsamen Arbeit (BERMAN et al. 1990, Tab. 4) veröffentlicht wurden. In dieser Studie schlossen sich insgesamt 6 Arbeitsgruppen aus 4 Ländern zusammen, um mit identischem Versuchsaufbau und -durchführung ihre damals vorliegenden Ergebnisse zu überprüfen. Die Untersuchungen wurden in den jeweiligen Heimatländern der beteiligten Arbeitsgruppen durchgeführt. Die Untersuchungen des „Henhouse Projects“ führten jedoch zu Ergebnissen, die jeweils für sich betrachtet, genauso kontro-

vers waren wie die Resultate aus den zuvor unabhängig voneinander durchgeführten Studien. Zwar konnten 5 der 6 beteiligten Arbeitsgruppen einen Anstieg an kongenitalen Missbildungen bei den EMF-exponierten Embryonen beobachten, die Ergebnisse ließen sich jedoch nur in zwei Fällen statistisch signifikant absichern. Hingegen konnten die übrigen vier Arbeitsgruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen scheinexponierten Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen feststellen. Wurden die Daten aus allen 6 Arbeitsgruppen zusammengefasst, waren die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen mit $p < 0,001$ signifikant (BERMAN et al. 1990).

Aus teratologischer Sicht sind die sich z.T. widersprechenden Ergebnisse aus dem „Henhouse Project“ indes nicht unbedingt überraschend. Zwar waren der Versuchsaufbau, d.h. die EMF-Expositionsanlage, die EMF-Exposition sowie die Bestimmungsmethoden identisch, nicht jedoch das in den Untersuchungen verwendete Ei-Material. In allen Einzelversuchen wurden Embryonen der Rasse „Weiße Leghorn“ untersucht, da aber die Untersuchungen in 4 verschiedenen Ländern vorgenommen wurden, entstammten die untersuchten Eier naturgemäß aus verschiedenen Elternpopulationen. Dies bedeutet jedoch, dass das verwendete Ei-Material dementsprechend verschiedene genetische Vorgaben hatte. Da bei den meisten Teratogenen das Ausmaß der schädigenden Effekte in der Regel von der genetischen Disposition des betroffenen Organismus abhängt bzw. multifaktoriell ist (s. Kap. 1.4.1.), sind die unterschiedlichen

Ergebnisse des „Henhouse Projects“ mit großer Wahrscheinlichkeit auf die unterschiedliche genetische Disposition der in den verschiedenen Laboren untersuchten Embryonen zurückzuführen. Zu dem gleichen Schluss kommt letztendlich auch eine Studie von FARRELL et al. (1997) in der die Versuche des „Henhouse Projects“ reproduziert wurden.

Unabhängig von der untersuchten Frequenz konnten in ca. 60% aller Versuche bei der Missbildungsrate sowie dem Entwicklungsstadium statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen bzw. Scheinexponierten und EMF-Exponierten festgestellt werden. Dennoch kann man, obwohl der überwiegende Teil der vorliegenden Studien von Effekten auf die Embryonalentwicklung, insbesondere von Missbildungen, berichtet, keine gesicherte Aussage über das teratogene Potential von niederfrequenten Magnetfeldern machen. Der Grund hierfür liegt darin, dass in nahezu allen Studien die Embryonen in einem sehr frühen Entwicklungsstadium untersucht wurden. Es ist jedoch nach Meinung von einigen Autoren (BRENT et al. 1993) als keineswegs gesichert anzusehen, dass es sich bei den beobachteten Abnormalitäten bzw. Variationen tatsächlich um Missbildungen handelt, da sich das teratogene Potential erst anhand der Nachkommenschaft bei der Geburt bzw. des Ausschlüpfens feststellen lässt. Derartige Studien zum Nachweis von teratogenen Effekten niederfrequenter Felder auf die Embryonalentwicklung von Hühner- bzw. Wachtel-embryonen liegen bisher bis auf eine Ausnahme (YOUBICIER-SIMO et al. 1997) jedoch nicht vor.

Tabelle 1: Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder, Frequenzbereich: statische & 1-30 Hz Felder) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Joshi et al. 1978	statisches Magnetfeld: 0.5 T (5000 Oe). Expositionsdauer: 1 Stunde.	Hühner	Entwicklungsstadium und Missbildungen bei 24 Stunden altem Embryonen.	Sämtliche untersuchte Embryonen (n=25) hatten Missbildungen der neuronalen Strukturen (Mikrocephalie & Neuralrohr), des Herzens und der Somiten. Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei den Kontrollen (n=25) waren nur zwei Embryonen missgebildet.
Espinar et al. 1997	statisches Magnetfeld; 20 mT. Test 1: Exposition am 6. Tag der Embryonalentwicklung für 24 h. Test 2: konstante Exposition bis zum 13. bzw. 17. Tag d. Bebrütung.	Hühner	Entwicklung des Cerebellums bei 13 & 17 Tage alten Embryonen.	In allen Tests waren die einzelnen Lagen der Kleinhirnrinde bei den exponierten Embryonen weniger weit entwickelt als dies bei den Kontrollen der Fall war. Die Unterschiede waren statistisch signifikant.
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 1 Hz; 0,1; 1; 10; 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 10 Hz - 100 kHz (s. entsprechende Tabellen).	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 0,1 A/m: Anstieg der Missbildungsrate bei den EMF-exponierten Embryonen (keine detaillierten Angaben). Der Unterschied zu den Kontrollen war statistisch signifikant.
Delgado et al. 1982	Magnetfelder (unipolar), 10Hz; 0,1; 1,2 & 12 µT. Expositionsdauer: 48 h. Zusätzliche Tests mit 100 & 1000 Hz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	Entwicklungsstadium und Missbildungen (Somiten, Herz, Blutgefäße und neuronales Gewebe) bei 48 Stunden alten Embryonen.	Geringer Anstieg der Missbildungsrate bei neuronalem Gewebe; Blutgefäßen und dem Herz der EMF-exponierten Embryonen. Die Somiten waren normal entwickelt. Sehr kleine Stichproben! Bei 0,12 µT n=3; 1,2 µT n=4; 12 µT n=5.
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 10 Hz; 0,1; 1; 10; 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1Hz - 100 kHz (s. entsprechende Tabellen).	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Keine statistisch absicherbaren Unterschiede zw. EMF-exponierten Embryonen und Kontrollen (detaillierte Angaben fehlen).
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 16,7 Hz; 0,1; 1; 10; 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1Hz - 100 kHz (s. entsprechende Tabellen).	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 0,1 & 1,0 A/m Anstieg der Missbildungsrate bei EMF-exponierten Embryonen (detaillierte Angaben fehlen). Der Unterschied zu den Kontrollen war statistisch signifikant.
Chacon et al. 1990	Magnetfeld (bipolar), 30 Hz; 1 µT; Pulsdauer: 500 µs. Expositionsdauer: 48 h.	Hühner	Missbildungen, Embryonalentwicklung Embryonalsterblichkeit bei 48 h alten Embryonen.	Embryonalentwicklung und Missbildungen: keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. Der Anteil an abgestorbenen Embryonen in der EMF-exponierten Gruppe (16%) war gegenüber den Kontrollen (6,8%) statistisch signifikant erhöht.
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 30 Hz; 0,1; 1; 10; 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1Hz - 100 kHz (s. entsprechende Tabellen).	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 1 & 10 A/m Anstieg der Missbildungsrate bei EMF-exponierten Embryonen (detaillierte Angaben fehlen). Die Unterschiede zwischen EMF-exponierten Embryonen und Kontrollen waren statistisch signifikant.

Tabelle 2: Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder 50 Hz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Cox et al. 1993	Magnetfeld (vertikal), 50 Hz , 10 μ T. EMF-Exposition während d. ersten 52 h.	Hühner	Missbildungen bei 68 h alten Embryonen. Zusätzlich zu den Versuchen: statistische Aufarbeitung der Daten aus verschiedenen anderen veröffentlichten Studien an Hühnerembryonen mit 100 Hz Feldern.	Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. Kritische Beurteilung der zum Zeitpunkt der Arbeit veröffentlichten Ergebnisse aus anderen Studien. Bisherige Daten werden als nicht-sonderlich aussagekräftig ("robust") bezeichnet.
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder; 50 Hz , 0,1; 1; 10 & 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1 Hz – 100 kHz (s. entsprechende Tabellen).	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 10 & 100 A/m: Anstieg der Missbildungsrate bei den EMF-exponierten Embryonen (keine detaillierten Angaben). Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant.
Pavkova et al. 1994	Magnetfelder; 50 Hz , 6 μ T & 10 mT, (vertikal oder horizontal). Expositionsdauer: 8 h/Tag, bis zum 8. Tag der Bebrütung. Weitere Versuche mit Ratten (s. entsprechende Tabelle).	Hühner	Embryonalsterblichkeit und Missbildungen (Kopf, Gehirn, Schnabel, Rumpf, Augen, Extremitäten) bei 9 Tage alten Embryonen.	Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen.
Terol & Panchon 1995	Magnetfelder (Rechteck, bipolar), 50 Hz ; 0,2; 1,2; 2,2 & 3,2 μ T Expositionsdauer: 48 h. Zusätzliche Tests mit 100 Hz (s. entsprechende Tabelle).	Wachteln	Missbildungen und Embryonalsterblichkeit bei 48 h alten Embryonen.	Tests mit 0,2–2,2 μ T: keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. Bei 3,2 μ T waren 60% der EMF-exponierten Embryonen missgebildet o. abgestorben (Kontrollen: 20%). Kleine Stichproben (n=10) und keine, nach magnetischer Flussdichte unterteilte, statistische Auswertung der Daten.
Veicsteinas et al. 1996	Magnetfeld (Sinus), 50 Hz ; 200 μ T. Expositionsdauer: 2 h/Tag, an den ersten zwei Bruttagen.	Hühner	bei 48 h alten Embryonen: Missbildungen und Entwicklungsstadium, am 7. Tag der Bebrütung: Laminin; Fibronectin; Collagen IV, Gehirn, Leber und Herz, bei 90 Tage alten Küken: Körpergewicht (ab Tag des Ausschlüpfens), Morphologie, Innere Organe, ZNS.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen bzw. ausgeschlüpften Küken nachgewiesen werden.

Tabelle 3: Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder 60 Hz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Bardasano et al. 1986	Magnetfelder, 60 Hz (AC; unipolar), 80 μT (800 mG). Expositionsdauer: 6 Tage (keine genauen Angaben).	Hühner	Entwicklungsstadium & Zellanomalien bei Pinealocyten von 6 Tage alten Embryonen.	<i>Entwicklungsstadium</i> : keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-Exponierten. Zunahme an Zellanomalien bei Pinealocyten von EMF-exponierten Embryonen (keine Angaben zur Statistik).
Bardasano & Bujan 1986	Magnetfelder, 60 Hz (AC; unipolar), 80 μT (800 mG). Expositionsdauer: 6 Tage (keine genauen Angaben).	Hühner	Zellanomalien bei Pinealocyten von 6 Tage alten Embryonen.	Zunahme an Zellanomalien bei Pinealocyten von EMF-exponierten Embryonen. Die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-Exponierten waren statistisch signifikant.
Farrell et al. 1997	Magnetfeld (Sinus), 60 Hz ; 4 μT ; Expositionsdauer: 48 h. Zusätzliche Tests mit 100 Hz (s. entsprechende Tabelle).	Hühner	Missbildungen bei 48 h alten Embryonen, Embryonalsterblichkeit.	<i>Embryonalsterblichkeit</i> : kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. <i>Missbildungen</i> : Zunahme an Missbildungen (Kopf & Rumpf) bei EMF-exponierten Embryonen (7,1%) im Vergleich zu den Kontrollen (2,3%). Die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen waren statistisch signifikant.
Farrell et al. 1998	Magnetfeld, 60 Hz ; 4 μT . Zusätzliche Tests mit 60 Hz Feld + 4 μT (rms) Feld. Expositionsdauer: 48 h.	Hühner	Ornithin Decarboxylase (ODC) Aktivität bei 8-26 Stunden alten Embryonen.	Veränderung der ODC-Aktivität bei den EMF-exponierten Embryonen während der Gastrulation und der Neurulation. In den Tests mit einem zusätzlichen 4 μT (rms) Magnetfeld zeigten die EMF-exponierten Embryonen eine den Kontrollen vergleichbare ODC-Aktivitätskurve.
Krueger et al. 1975	Magnetfeld, 60 Hz , B = 140 μT (Durchschnittswert), B schwankte zwischen 100 bis 200 μT . Expositionsdauer: 16 Wochen (116 Tage). Weitere Versuche mit elektrischem 60 Hz Feld, 260 MHz, 915 MHz, 2.435 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	<i>Adulte Tiere</i> : Fertilität, Legeerate, Futteraufnahme, Eiergewicht. <i>Küken</i> : Schlüpfrate, Embryonalsterblichkeit, Missbildungen, Geschlechterverhältnis.	Nach ca. 6 Wochen sank die Legeerate der EMF-exponierten Hennen auf 32% (Kontrollen 78-87%). Nach dem Ausschalten des Feldes stieg die Legeerate wieder an. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine Einflüsse des untersuchten Feldes festgestellt werden. * Die Eier wurden direkt nach dem Legen aus den Käfigen entfernt.
Martin 1992	Magnetfelder, 60 Hz ; 3 μT ; uni- & bipolar sowie sog. „split-pulse“. Expositionsdauer: die ersten 48 h der Embryonalentwicklung.	Hühner	Embryonalsterblichkeit und Missbildungen bei 48 h alten Embryonen. In einer Testreihe wurden die Eier erst am 5. Tag der Embryonalentwicklung geöffnet.	Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen nachgewiesen werden.
Martin & Moses 1995	Magnetfeld, 60 Hz ; 4 μT . Zusätzliche Tests mit einem 60 Hz-Feld + 4 μT (rms) Feld. Expositionsdauer: ersten 72 h der Embryonalentwicklung.	Hühner	Enzymaktivität (5'-Nukleotidase = 5'NT) in 3 und 6 Tage alten Embryonen.	<i>Tests mit 60 Hz (4 μT) ohne zusätzliches 4 μT „Noise-Feld“</i> : Verringerung der 5'NT-Aktivität in den EMF-exponierten Embryonen. Der Unterschied gegenüber den Kontrollen war statistisch signifikant. <i>Tests mit 60 Hz (4 μT) und zusätzlichem 4 μT „Noise-Feld“</i> : Kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen EMF-exponierten Embryonen und Kontrollen.

Tabelle 4: Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder 100 Hz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere untersuchte Parameter	Ergebnis
Berman et al. 1990	Magnetfeld (unipolar), 100 Hz ; 1 μ T; Pulsdauer 500 μ s.	Hühner Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 48 h alten Embryonen. Untersuchungen in sechs verschiedenen Arbeitsgruppen in Kanada, Schweden, Spanien und den USA (Henhouse Project).	Insgesamt 5 der 6 beteiligten Arbeitsgruppen konnten eine Zunahme an Missbildungen bei den EMF-exponierten Embryonen feststellen. Nur in 2 Fällen waren die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen auch statistisch signifikant absicherbar.
Delgado et al. 1981	Magnetfelder, 100 Hz ; 1,2 & 12 μ T, Pulsdauer 500 μ s. Expositionsdauer: 48 h.	Hühner Missbildungen und Entwicklungsstadium (Somiten, Herz, Gefäßsystem und neuronales Gewebe) bei 48 h alten Embryonen.	Alle EMF-exponierten Embryonen (n=15) waren missgebildet. Die Kontrollen (n=10) waren alle normal entwickelt.
Delgado et al. 1982	Magnetfelder (unipolar), 100 Hz 0,12; 1,2 & 120 μ T. Expositionsdauer: 48 h. Weitere Tests mit 10 & 1000 Hz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner Missbildungen und Entwicklungsstadium (Somiten, Herz, Gefäßsystem und neuronales Gewebe) bei 48 h alten Embryonen.	Bei allen drei getesteten magnetischen Flussdichten waren bei 18 von 19 der EMF-exponierten Embryonen das Herz und/oder das neuronale Gewebe und/oder das Gefäßsystem und/oder die Somiten missgebildet. Die Kontrollen (n= 10) waren alle normal entwickelt.
Farrell et al. 1997	Magnetfeld (unipolar), 100 Hz ; 1 μ T; 500 μ s. Expositionsdauer: die ersten 2 Tage der Bebrütung. Zusätzliche Tests mit 60 Hz. S. entsprechende Tabelle.	Hühner Missbildungen bei 48 h alten Embryonen, Embryonalsterblichkeit. Insgesamt 4 Testserien.	<i>Embryonalsterblichkeit</i> : kein statistisch signifikanter Unterschied zw. Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. <i>Missbildungen</i> : Zunahme an Missbildungen (Kopf; Rumpf) bei den EMF-exponierten Embryonen. In drei der Testserien waren die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen statistisch signifikant. Die Bedeutung der genetischen Variabilität wird diskutiert.
Juutilainen 1986	Magnetfeld (Sinus), 100 Hz ; 1 A/m; verschiedene Brutttemperaturen: 36,3; 37,0; 38,0 & 38,5 °C. Expositionsdauer: die ersten 2 Tage der Bebrütung.	Hühner Missbildungen bei 50 h; 52 h; 55 h und 57 h alten Embryonen .	Bei einer Brutttemperatur von 36,3 & 37,0 °C war bei den EMF-exponierten Embryonen die Anzahl der Missbildungen erhöht. Der Unterschied gegenüber den Kontrollen war statistisch signifikant. Bei 38,0 & 38,5 °C (Brutttemperatur) waren die Unterschiede zwischen Kontrollen und exponierten Embryonen statistisch nicht signifikant absicherbar (bedingt durch einen Anstieg der Missbildungsrate in den Kontrollgruppen).
Koch & Koch 1991	Magnetfelder, 100 Hz ; 1 μ T Unipolar, bipolar und sinusförmig verschiedene Perioden (100 μ s – 30 ms) Expositionsdauer: keine Angaben, vermutlich 48 bzw. 72 h.	Hühner Missbildungen und Entwicklungsstadium von 48 und 72 h alten Embryonen.	Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen.

Tabelle 4: Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder 100 Hz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Leal et al. 1986	Magnetfelder (bipolar), 100 Hz ; 0,4 & 1,0 μT ; Pulsdauer: 500 μs . Expositionsdauer: 48 h.	Hühner	Missbildungen bei 48 h alten Embryonen.	Die Autoren berichten von einem statistisch signifikant abgesichertem Zusammenhang der Missbildungsrate bei den scheinexponierten Embryonen der Kontrollgruppe und den natürlichen Änderungen der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes. Stieg die Feldstärke des natürlichen Erdmagnetfeldes um ca. 100-150 nT an, wurde eine Zunahme an Missbildungen beobachtet.
Leal et al. 1989	Magnetfelder (bipolar), 100 Hz ; 0,4 & 1,0 μT ; Pulsdauer: 500 μs . Expositionsdauer: 48 h.	Hühner	Missbildungen bei 48 h alten Embryonen.	In 5 von 13 Testreihen konnte ein Anstieg der Missbildungsrate bei den EMF-exponierten Embryonen festgestellt werden, wobei der Unterschied zu den Kontrollen statistisch signifikant war. Die Autoren vermuten einen Zusammenhang mit Änderungen im Erdmagnetfeld (Horizontalkomponente) und der Häufigkeit von Missbildungen in ihrer Studie.
Litovitz et al. 1994	Magnetfeld (unipolar), 100 Hz . 1 μT ; Pulsdauer 500 μs zusätzliche Tests mit einem 1 μT (rms) Feld. Expositionsdauer: 48.	Hühner	Missbildungen bei 48 h alten Embryonen.	Bei den Tests ohne das 1 μT (rms) „Störfeld“ war bei den EMF-exponierten Embryonen ein Anstieg der Missbildungsrate zu beobachten. Der Unterschied gegenüber den Kontrollen war statistisch signifikant. Wurde zusätzlich noch ein 1 μT (rms) Feld appliziert, konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zu den Kontrollen festgestellt werden.
Maffeo et al. 1984	Magnetfeld (Rechteck), 100 Hz , 1,2 & 12 μT , Pulsdauer: 0,5 msec. Zusätzliche Versuche mit 1 kHz. S. entsprechende Tabelle.	Hühner	Entwicklungsstadium, Missbildungen (z.B. Blutgefäße, Nervensystem, Herz, Somiten, optische Vesikel) bei 48 h alten Embryonen.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Effekt des untersuchten 100 Hz-Feldes nachgewiesen werden.
Maffeo et al. 1988	Magnetfeld, 100 Hz , 1 μT . Pulsdauer: 0,5 msec. Zusätzliche Positivkontrolle mit Röntgenstrahlen (15,52 Gy).	Hühner	Entwicklungsstadium, Missbildungen (z.B. Blutgefäße, Nervensystem, Herz, Somiten, optische Vesikel) bei 48 h alten Embryonen.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Effekt des untersuchten 100 Hz-Feldes nachgewiesen werden.
Martin 1988	Magnetfeld, 100 Hz , 1 μT ; Expositionsdauer: die gesamten 48 h, die ersten 24 h bzw. die zweiten 24 h der Embryonalentwicklung.	Hühner	Missbildungen bei 48 h alten Embryonen.	Nur in den Tests, in denen die Embryonen in den ersten 24 bzw. 48 h der Embryonalentwicklung dem EMF ausgesetzt waren, konnte eine statistisch signifikante Zunahme an Missbildungen festgestellt werden. Wurde das EMF ausschließlich in den zweiten 24 h der Embryonalentwicklung appliziert, ließ sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen feststellen.
Martucci et al. 1984	Magnetfeld, 100 Hz , 1,2 μT , Pulsdauer: 0,5 msec. Expositionsdauer: 48 h.	Hühner	Missbildungen bei 48 h alten Embryonen.	Es konnten keine statistisch signifikanten Effekte des untersuchten 100 Hz-Feldes nachgewiesen werden.
Terol & Panchon 1995	Magnetfelder (bipolar), 100 Hz ; 0,2; 1,2; 2,2 & 3,2 μT . Expositionsdauer: 48. Zusätzliche Tests mit 50 Hz (s. entsprechende Tabelle).	Wachteln	Missbildungen und Embryonalsterblichkeit bei 48 h alten Embryonen.	Bei 0,2 und 3,2 μT waren in den EMF-exponierten Gruppen die Embryonalsterblichkeit und die Missbildungsrate gegenüber den Kontrollen erhöht. Bei 1,2 & 2,2 μT keine signifikanten Unterschiede. Kleine Stichproben (n=10) und ungenaue statistische Auswertung der Daten.

Tabelle 4 (Fortsetzung): Hühner- und Wachteilembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder 100 Hz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Ubeda et al. 1983	Magnetfelder, 100 Hz , 100 μ s; 0,4; 1,0; 10,4; 13,9 & 104 μ T 100 Hz : 2 μ s; 0,4 μ T 100 Hz ; 42 μ s; 1 μ T 100 Hz : 42 μ s (Signal mit einigen Spitzen); 1 μ T Pulsdauer: 500 μ s; die übrigen Angaben betreffen den Zeitraum des Anstiegs Expositionsdauer: 48 h.	Hühner	Missbildungen (Somiten, Nervensystem, Herz, Gefäßbildung) bei 48 h alten Embryonen.	100 Hz ; 100 μ s: bei keiner der untersuchten Flussdichten wurden statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen nachgewiesen. 100 Hz ; 2 μ s; 0,4 μ T; 83% der EMF-exponierten Embryonen waren missgebildet (Kontrollen 34,7%). 100 Hz ; 42 μ s; 1 μ T: 70,8% der EMF-exponierten Embryonen waren missgebildet (Kontrollen 16,6%). 100 Hz ; 42 μ s (Signal mit „einigen Spitzen“): keine statistisch signifikanten Unterschiede zw. Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen.
Ubeda et al. 1994	Magnetfelder (bipolar), 100 Hz ; 1 μ T; Pulsdauer: 500 μ s. Anstieg: 2,1 & 85 μ s. Exposition während der ersten 48 h der Embryonalentwicklung.	Hühner	Embryonalsterblichkeit und Missbildungen (Extremitäten, Augen, Skelettbau) bei 48 h alten Embryonen.	100 Hz ; 1 μ T; 85 μ s: keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. 100 Hz ; 1 μ T; 2,1 μ s; 29,3 % der EMF-exponierten Embryonen waren missgebildet (Kontrollen 1,9%).

Tabelle 5: Hühner- und Wachteilembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder, Frequenzbereich: 1–10 kHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Delgado et al. 1982	Magnetfelder (unipolar), 1 kHz ; 0,12; 1,2 & 120 μ T. Expositionsdauer: 48 h. weitere Tests mit 10 & 100 Hz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium (Somiten, Herz, Gefäßsystem und neuronales Gewebe) bei 48 h alten Embryonen.	Bei allen drei getesteten magnetischen Flussdichten waren bei allen EMF-exponierten Embryonen (n=11) das Herz und /oder das neuronale Gewebe und/oder das Gefäßsystem und/oder die Somiten missgebildet. Bei den Kontrollen (n=10) hatten nur drei Embryonen Missbildungen. Sehr geringe Stichprobengröße, genaue statistische Angaben fehlen.
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 1 kHz , 0,1; 1; 10; 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1 Hz – 100 kHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 10 & 100 A/m: Anstieg der Missbildungsrate bei den EMF-exponierten Embryonen (keine detaillierten Angaben) Die Unterschiede zu Kontrollen waren statistisch signifikant.
Maffeo et al. 1984	Magnetfeld (Rechteck), 1 kHz , 1,2 & 12 μ T, Pulsdauer: 0,5 msec. Zusätzliche Versuche mit 100 Hz. S. entsprechende Tabelle.	Hühner	Entwicklungsstadium, Missbildungen (z. B. Blutgefäße, Nervensystem, Herz, Somiten, optische Vesikel) bei 48 h alten Embryonen.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Effekt des untersuchten 1 kHz-Feldes nachgewiesen werden.
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 10 kHz , 0,1; 1; 10; 100 A/m. Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1 Hz – 100 kHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 1 & 10 A/m: Anstieg der Missbildungsrate bei den exponierten Embryonen (keine detaillierten Angaben). Die Unterschiede zu Kontrollen waren statistisch signifikant.

Tabelle 6: Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetresonanz-Tomographen = MRT, Bildschirme) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Krueger et al. 1975	Elektrisches Feld: 60 Hz ; 1600 V/m. Expositionsdauer: 16 Wochen (116 Tage). Weitere Versuche mit 60 Hz Magnetfeld, 260 MHz, 915 MHz, 2,435 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	<i>Adulte Tiere</i> : Fertilität, Legerate, Futteraufnahme, Eiergewicht. <i>Küken</i> : Schlüpfrate, Embryonalsterblichkeit, Missbildungen, Geschlechterverhältnis.	Nach ca. 6 Wochen sank die Legerate der EMF-exponierten Hennen auf 51% (Kontrollen 78-87%). Nach ca. 3 weiteren Wochen stieg die Legerate spontan wieder an. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine Einflüsse des untersuchten Feldes festgestellt werden. * Die Eier wurden direkt nach dem Legen aus den Käfigen entfernt.
Yip et al. 1994a	MRT-Feld-Simulation: Magnetfeld (statisch): 1,5 T & 64 MHz-Feld (amplitudenmoduliert mit 625 Hz) Magnetfeld: geschaltet zwischen + 60 $\mu\text{T}/\text{cm}$ und - 60 $\mu\text{T}/\text{cm}$ in 1,2 ms. Exposition (statisches Feld = 6h, 64 MHz Feld & 60 μT Feld = 4h) nach 0-6; 12-18; 24-32 & 36-42 Stunden der Befruchtung.	Hühner	Missbildungen, Embryonalsterblichkeit bei 53 h bzw. 6 Tage alten Embryonen.	Sowohl die Embryonalsterblichkeit als auch die Anzahl an Missbildungen (z.B. Somiten, Rumpf, Kopf) waren in einigen Tests in der exponierten Versuchsgruppe gegenüber den Kontrollen erhöht. Die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant absicherbar.
Yip et al. 1994b	MRT-Feld-Simulation: Magnetfeld (statisch): 1,5 T & 64 MHz-Feld (amplitudenmoduliert mit 625 Hz) Magnetfeld: geschaltet zwischen + 60 $\mu\text{T}/\text{cm}$ und - 60 $\mu\text{T}/\text{cm}$ in 1,2 ms. Exposition (statisches Feld = 6h, 64 MHz Feld & 60 μT Feld = 4h) 50-53 h und am 3. Tag nach der Befruchtung.	Hühner	Zellproliferation und Zellwanderung von Motoneuronen bei 6 bzw. 10 Tage alten Embryonen.	Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Gruppen.
Yip et al. 1995	MRT-Feld-Simulation: Magnetfeld (statisch): 1,5 T & 64 MHz-Feld (amplitudenmoduliert mit 625 Hz) Magnetfeld: geschaltet zwischen + 60 $\mu\text{T}/\text{cm}$ und - 60 $\mu\text{T}/\text{cm}$ in 1,2 ms. Exposition (statisches Feld = 6h, 64 MHz Feld & 60 μT Feld = 4h) nach 42h und am 5. Tag der Befruchtung.	Hühner	Wachstum v. Axonen im sympathischen Nervensystem bei 6-7 Tage alten Embryonen.	Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen.
Youbicier-Simo et al. 1997	TV-Bildschirm: 50 Hz; 270 nT TV-Bildschirm: 15-80 kHz; 4 nT Computerbildschirm (Desk Top): 15-80 kHz; 13 nT Computerbildschirm (Desk Top): 50 Hz; 660 nT Expositionsdauer: gesamter Bebrütungszeitraum.	Hühner	Embryonalsterblichkeit (gesamte Brutzeit), verschiedene Blutparameter (Plasma-Melatonin, Kortikosteron, Thyreoglobulin-Antikörper) bei ausgeschlüpften Küken.	Anstieg der Embryonalsterblichkeit bei den EMF-exponierten Embryonen (47-68%). Kontrollen: 15-33%. Geringere Melatonin-, Kortikosteronwerte und Thyreoglobulin-Antikörper bei den EMF-exponierten Küken. Die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen bzw. Küken waren statistisch signifikant.

2.1.2. Untersuchungen an Säugetierembryonen (in vivo)

Die Untersuchungen zum Einfluss niederfrequenter Felder auf die Embryonalentwicklung von Säugtieren wurden zum überwiegenden Teil an Ratten oder Mäusen vorgenommen. In jeweils einer Studie, beide mit elektrischen Feldern, wurden Rinder (ANGELL et al. 1990) bzw. Schweine (SIKOV et al. 1987) als Versuchstiere verwendet (Tab. 13). In 24 Arbeiten sind die Ergebnisse aus 32 Untersuchungen mit Magnetfeldern im Bereich 50-20 kHz (Tab. 7-10), statischen Magnetfeldern (Tab. 7), Feldern von MRT (Tab. 11) und elektrischen Feldern (20-100 Hz sowie 500 kV, Tab. 12) beschrieben. Wie schon bei den Untersuchungen an Hühner- und Wachtelembryonen wurden für die meisten Frequenzen bzw. Felder nur 1 bis 2 Arbeiten veröffentlicht (Tafel 2). Und auch bei solchen Frequenzen, für die mehr als 3 Arbeiten vorliegen, gab es z.T. erhebliche Unterschiede im Versuchsdesign (z.B. Feldparameter, Dauer und Zeitpunkt der Exposition),

so dass auf einen Vergleich der Ergebnisse verzichtet wurde (Tafel 2).

Die am häufigsten untersuchten Parameter waren die Embryonalsterblichkeit (25 Untersuchungen), das Auftreten von Missbildungen (23 Untersuchungen) und die Anzahl an vorzeitig abgestorbenen Föten (19 Untersuchungen). Die Evaluation der Embryonalsterblichkeit erfolgte dabei über die Anzahl der resorbierten Embryonen (Blastocysten), die anhand der Resorptionsnarben in der Uterusschleimhaut bestimmt werden kann.

Weitere Untersuchungsparameter waren das Körpergewicht der Föten (15 Untersuchungen), die Körpergröße bzw. die Kopf-Rumpf-Länge (8 Untersuchungen), die Ossifikation bzw. der Skelettbau (6 Untersuchungen), das Geschlechterverhältnis (4 Untersuchungen) sowie verschiedene Blutparameter (2 Untersuchungen). Siehe Tafeln 3.

Bei 18 (56%) der insgesamt 32 Untersuchungen konnte bei

zumindest einem der untersuchten Parameter entweder bei den untersuchten Embryonen bzw. Föten, Jungtieren oder den Muttertieren ein statistisch signifikant absicherbarer Effekt der untersuchten Felder festgestellt werden. Dies klingt zunächst vergleichsweise viel, jedoch kommt es, mit Ausnahme der Missbildungsrate bei keinem der untersuchten Parameter zu einer auffälligen Häufung. So konnte nur bei 3 (12,0%) von insgesamt 25 Untersuchungen ein Anstieg der Embryonalsterblichkeit bei den EMF-exponierten Embryonen beobachtet werden. Vergleichbare Resultate lieferten auch die Untersuchungen zur Mortalität bei EMF-exponierten Föten (Tafel 3a).

Auch bei den anderen, an Embryonen bzw. Föten untersuchten Parametern ließen sich in nahezu allen Untersuchungen keine Effekte der applizierten EMF nachweisen (Tafel 3a). Nur schwache Effekte ergaben die Untersuchungen der EMF-exponierten Muttertiere (Tafel 3b). Bei Jungtieren, die während ihrer Embryonalentwicklung im Mutterleib EMF-exponiert waren, konnte eine, zumeist vorübergehende Verringerung des Körpergewichtes beobachtet werden (MARINO et al. 1976). In einem Fall wurde nach einer pränatalen Exposition zusätzlich noch eine erhöhte Mortalität bei den Jungtieren (F1-F3 Generation) festgestellt (MARINO et al. 1976). Überhaupt keinen Einfluss auf die untersuchten biologischen Parameter (z.B. Spermatogenese, Fertilität, Mortalität) hatten die applizierten EMF bei männlichen Tieren (z.B. KOWALCZUK et al. 1995, DAWSON et al. 1998). Sowohl bei Ratten als auch bei Mäusen traten die beobachteten Effekte in einem vergleichbaren Ver-

Magnetfelder/Frequenz	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
statisches Feld		
50,0 Hz	7	8
60,0 Hz	2	9
10,0 kHz	1	9
15,6 kHz	1	9
17,8 kHz	1	9
20,0 kHz	6	10
MRT	3	11
elektrische Felder/Frequenz	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
20,0 Hz	1	12
50,0 Hz	1	12
60,0 Hz	5	12
100,0 Hz	1	12
Hochspannung (500 kV)	1	12

Tafel 2: Teratologische Untersuchungen zum Einfluss von niederfrequenten EMF auf Säugetier-Embryonen. Untersuchte Felder und Frequenzen (elektrische & Magnetfelder).

hältnis auf. Eindeutige Unterschiede zwischen den beiden Tiermodellen lassen sich nicht feststellen.

Wie schon bei den Untersuchungen mit Hühnerembryonen liegen für die meisten Frequenzen nur 1-2 Studien vor (s. Tafel 2). Lediglich für 50 Hz-Magnetfelder (7 Untersuchungen), 20 kHz Magnetfelder (6 Untersuchungen) und elektrische 60 Hz-Felder (5 Untersuchungen) erscheint es sinnvoll, die vorliegenden Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

Für 50 Hz-Magnetfelder (s. Tabelle 8) liegen insgesamt 7 Untersuchun-

gen aus den Jahren 1985-1997 vor. In 5 Studien wurden Ratten untersucht, in den übrigen 3 dienten Mäuse als Versuchstiere. Insgesamt konnten bei den Untersuchungen mit 50 Hz-Magnetfeldern nur sehr geringe Effekte beobachtet werden. In einer Studie (HUUSKONEN et al. 1993) konnte bei den EMF-exponierten Ratten eine statistisch signifikante Zunahme von geringeren Anomalien des Skelettes festgestellt werden. Interessanterweise war bei diesen Versuchen die Anzahl der Implantationen sowie die der lebenden Föten in der EMF-exponierten Versuchsgruppe größer als in der Kontrollgruppe. Zusätzlich hatten

die EMF-exponierten Muttertiere ein höheres Körper- und Uterusgewicht als die Kontrolltiere (HUUSKONEN et al. 1993). MEVISSSEN et al. (1994) berichten ebenfalls von einer Zunahme an geringeren Anomalien des Skelettes (insbesondere der Rippen) bei den EMF-exponierten Föten sowie einem erhöhten Wert beim *Corpus luteum* bei den exponierten Muttertieren. Alle Unterschiede waren statistisch signifikant. In den übrigen 5 Studien sowie bei allen anderen untersuchten Parametern konnte kein Einfluß der applizierten 50 Hz-Felder nachgewiesen werden. Allerdings wurden in fast allen Untersuchungen unterschiedliche magnetische

Untersuchte Parameter	Untersuchungen	EMF-bedingte Einflüsse	keine Effekte
Embryonalsterblichkeit	25	3 (12,0%)	22 (88,0%)
Missbildungen	23	8 (34,8%)	15 (65,2%)
Mortalität der Föten	19	2 (10,5%)	17 (89,5%)
Gewicht d. Föten	15	2 (13,3%)	13 (86,7%)
Körpergröße/-länge	8	1 (12,5%)	7 (87,5%)
Ossifikation/Skelettbau	6	2 (33,3%)	4 (66,7%)
Geschlechterverhältnis	4	0	4
versch. Blutparameter	2	0	2

Tafel 3a: An Säugtierembryonen unter dem Einfluß von niederfrequenten Feldern untersuchte medizinische und biologische Parameter.

Untersuchte Parameter	Untersuchungen	EMF-bedingte Einflüsse	keine Effekte
<i>Corpus luteum</i>	10	1 (10,0%)	9 (90,0%)
Anzahl der Jungtiere/Wurf	10	0	10
Fertilität	9	1 (11,1%)	8 (88,9%)
Körpergewicht	7	0	7
Anzahl der Würfe/Gruppe	5	1 (20,0%)	4 (80,0%)
Gewicht der Plazenta	5	0	5
Gewicht des Uterus	4	0	4
versch. Blutparameter	4	1 (25,0%)	3 (75,0%)
Gewichtszunahme während der Tragezeit	3	0	3
Knochenmark	2	0	2
Futtermittelverbrauch	1	0	1
Menstruationszyklus	1	0	1
Mortalität	1	0	1
innere Organe (Gewicht)	1	0	1
Ovulation	1	0	1

Tafel 3b: An Säugetieren (Muttertiere) unter dem Einfluß von niederfrequenten Feldern untersuchte medizinische und biologische Parameter

Flussdichten im Bereich von $10\mu\text{T}$ – 20 mT verwendet. Bei den Arbeiten von PAVKOFA et al. (1994) und KOWALCZUK et al. (1995) stimmte zwar die magnetische Flussdichte überein, bei PAVKOFA et al. (1994) wurden allerdings Ratten untersucht, während es bei KOWALCZUK et al. (1995) Mäuse waren.

Insgesamt 6 der vorliegenden Arbeiten (Tab. 10) untersuchten mögliche Effekte von 20 kHz-Magnetfeldern auf die Embryonalentwicklung von Ratten (1 Arbeit) und Mäusen (5 Arbeiten). In der Studie an Ratten war in der EMF-exponierten Gruppe die Anzahl an geringeren Anomalien des Skelettes gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht (HUUSKONEN et al. 1993). Die Untersuchungen mit Mäusen wurden unter vergleichbaren bzw. mehr oder weniger identischen Versuchsbedingungen durchgeführt. So wurden z.B. die Magnetfelder in der gleichen Form (Sägezahn) und mit den gleichen magnetischen Flussdichten von 15, 17, 130 & 200 μT (WILEY et al. 1992, JUUTILAINEN et al. 1997) appliziert. Dennoch sind die vorliegenden Ergebnisse heterogen: In zwei der Arbeiten berichten die Autoren von einem statistisch signifikanten Anstieg der Sterblichkeitsrate bei den EMF-exponierten Mäuseembryonen bzw. Mäuseföten (FRÖLEN et al. 1993, SVEDENSTÅL & JOHANSON 1995). In den drei übrigen Studien konnten keine nachweisbaren Wirkungen der untersuchten 20 kHz-Felder auf die EMF-exponierten Mäuseembryonen, Föten oder den Muttertieren festgestellt werden (WILEY et al. 1992, JUUTILAINEN et al. 1997, HUUSKONEN et al. 1998). Eine Erklärung für die unterschiedlichen Befunde fällt in diesem Fall sehr schwer, da neben

den mehr oder weniger identischen Versuchsbedingungen in vier der Studien auch Mäuse derselben Herkunft und Zuchtform (CBA/S) verwendet wurden. Lediglich bei den Untersuchungen von WILEY et al. (1992) wurden CD-1 Mäuse verwendet. In ihrer Arbeit von 1997 diskutieren JUUTILAINEN und Kollegen als mögliche Faktoren für die unterschiedlichen Ergebnisse: Infektionen bzw. Parasiten, große Schwankungen der Resorptionsrate bei den Kontrollen, Unterschiede bei den Erdmagnetfeldbedingungen, die verwendeten Spulen sowie die angewendeten statistischen Verfahren. Die Frage, ob und wenn ja, welcher der möglichen Faktoren die Ergebnisse aus den vier Studien beeinflusst hat, lassen die Autoren allerdings letztlich offen (JUUTILAINEN et al. 1997, 1998).

Die Auswirkungen von elektrischen 60 Hz-Feldern auf die Embryonalentwicklung von Säugern wurde in insgesamt 5 der vorliegenden Arbeiten untersucht. In drei Studien wurden Ratten untersucht, in den beiden Übrigen Mäuse und Schweine. In 4 der 5 Arbeiten berichten die Autoren von statistisch signifikanten Effekten der untersuchten Felder auf die untersuchten Embryonen, Föten oder Elterntiere. In den Untersuchungen von MARINO et al. (1976) hatten die Tiere der F1- und F2-Generation aus den exponierten Versuchsgruppen ein geringeres Körpergewicht im Vergleich zu den scheinexponierten Kontrolltieren. Zusätzlich konnte bei den exponierten Tieren der F1-, F2- und F3-Generation zwischen dem 8.-35. Tag nach der Geburt eine erhöhte Sterblichkeitsrate festgestellt werden (statistische Angaben fehlen). SIKOV et al. (1984) berichten von Verände-

rungen bei einigen Verhaltensparametern von Ratten, die während ihrer Embryonalentwicklung bzw. während der ersten 8-25 Lebenstage einem elektrischen 60 Hz-Feld ausgesetzt waren. Allerdings konnten diese Effekte nur vorübergehend, in der zweiten Lebenswoche, beobachtet werden. In einer zweiten Studie von SIKOV et al. (1987), diesmal an Schweinen, konnte in den EMF-exponierten Versuchsgruppen eine Zunahme an Würfen mit kongenitalen Missbildungen (z.B. Skelett, Muskeln, Zehen, Schwanz, ZNS und Augen), ein niedrigeres Körpergewicht sowie Unterschiede bei verschiedenen Schädelmaßen (z.B. Schädelbreite, Interorbital-Abstand) nachgewiesen werden. In zwei Studien mit Ratten untersuchten ROMMEREIM et al. (1987, 1990) mögliche Effekte von elektrischen 60 Hz-Feldern auf die Embryonalentwicklung, die Ontogenese und das Befinden der Muttertiere. In einer der Studien waren in den EMF-exponierten Gruppen die Anzahl der Würfe mit kongenitalen Missbildungen sowie die Sterblichkeitsrate der Embryonen bzw. Föten gegenüber den Kontrollen erhöht. Die Unterschiede waren nur gering, aber dennoch statistisch signifikant. Die Autoren führen diese Unterschiede jedoch nicht auf das applizierte 60 Hz-Feld zurück, sondern deuten sie als normale biologische Variation (ROMMEREIM et al. 1987). In ihrer zweiten Studie (ROMMEREIM et al. 1990) konnten die Autoren keine Effekte der untersuchten Felder nachweisen. Insgesamt waren in den 5 vorliegenden Studien bei der überwiegenden Anzahl der untersuchten biologischen Parameter (s. Tab. 12) keine Effekte der untersuchten elektrischen 60 Hz-Felder nachweisbar.

ZUSMAN et al. (1990) untersuchten an Ratten die Auswirkungen von elektrischen 20, 50 & 100-Hz Feldern. Bis auf eine vorübergehende Verminderung des Körpergewichtes der Jungtiere konnten bei diesen Untersuchungen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen pränatal EMF-exponierten Tieren und den Kontrollen nachgewiesen werden. Eine an Rindern in einem 500 kV-Feld einer Hochspannungsleitung durchgeführte Studie konnte ebenfalls keine Auswirkungen des untersuchten Feldes nachweisen (ANGELL et al. 1990).

In einer Studie von CHIANG et al. (1995) wurde in einer Versuchsreihe mit Mäusen zusätzlich zum untersuchten EMF (15,6 kHz) Cytosinabinosid (ARA-C), ein bekanntes Teratogen, appliziert. Dabei zeigte sich, dass das 15,6 kHz-Feld nicht nur selbst schon zu einem statistisch signifikanten Anstieg der Missbildungsrate bei den EMF-exponierten Mäusen führte, sondern, nach Meinung der Autoren, zusätzlich die teratogene Wirkung des ARA-C noch verstärkte (CHIANG et al. 1995, s. Tab. 10). Leider ist dies die einzige vorliegende Arbeit, in der zusätzlich zum elektromagnetischen Feld ein potentiell teratogenes Agens appliziert wurde. Daher gibt es über mögliche synergistische, antagonistische oder potenzierende Wirkungen von niederfrequenten EMF in Verbindung mit potentiellen Teratogenen bisher noch keine gesicherten Erkenntnisse. In Anbetracht der zahlreichen teratogenen Umweltparameter (Baustoffe, Chemikalien, Drogen usw.) ist dies sicherlich ein interessanter Versuchsansatz, der in zukünftigen „in vivo“ Studien weiterverfolgt werden sollte.

Tabelle 7: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Mevissen et al. 1994	statistisches Magnetfeld, 30 mT. Expositionsdauer: konstant über die gesamte Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit 50 Hz. S. entsprechende Tabelle.	Ratten	<i>Embryonen:</i> Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). <i>Föten:</i> abgestorbene Föten, Skelettbau und Missbildungen bei 20 Tage alten Föten. <i>Muttertiere:</i> Corpus luteum. <i>Jungtiere (F1-Generation):</i> Postnatale Entwicklung nach einer konstanten Exposition während der Embryonalentwicklung.	Zunahme an abgestorbenen und resorbierten Embryonen in der EMF-exponierten Gruppe. Beschleunigte Ossifikation der vorderen Extremitäten (Metacarpus). Die Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen/Föten waren statistisch signifikant. Bei den übrigen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und exponierten Tieren festgestellt werden.
Murakami et al. 1992	statistisches Magnetfeld, 6,3 T. Expositionsdauer: 1 h/Tag vom 7.-14. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	<i>Embryonen:</i> Mortalität (Resorptionen). <i>Föten:</i> Mortalität, Missbildungen (z.B. Skelettbau, Exencephalie) und Körpergewicht bei 18 Tage alten Föten. <i>Muttertiere:</i> Anzahl der Embryonen bzw. Föten, Körpergewicht.	Es konnten bei keinem der untersuchten Parameter statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Föten bzw. Muttertieren nachgewiesen werden.

Tabelle 8: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder 50 Hz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Huuskonen et al. 1993	Magnetfeld (Sinus), 50 Hz ; 35,6 μ T Expositionsdauer: die ersten 20 Tage der Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit: Magnetfeld (Sägezahn); 20 kHz; 15 μ T. S. entsprechende Tabelle.	Ratten	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). <i>Föten</i> : abgestorbene Föten, Skelettbau und Missbildungen bei 20 Tage alten Föten. <i>Muttertiere</i> : Körpergewicht, Gewicht der Plazenta sowie des Uterus (inkl. Föten). Kontrollgruppe waren statistisch signifikant.	Anstieg der Anzahl an geringeren Anomalien des Skelettbau; größere Anzahl an Implantationen und lebenden Föten bei den EMF-Exponierten (Unterschiede zu den Kontrollen statistisch signifikant). EMF-exponierte Muttertiere: Höheres Körper- und Uterusgewicht. Die Unterschiede zu den Tieren der
Juutilainen et al. 1997	Magnetfeld (Sinus), 50 Hz ; 13 & 130 μ T (rms), EMF-Exposition: konstant bis zum 18. Tag der Embryogenese. 15 μ T. Weitere Tests mit Magnetfeld 20 kHz; S. entsprechende Tabelle.	Mäuse	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). <i>Föten</i> : abgestorbene Föten, Gewicht & Größe der Föten (18. Tag der Embryonalentwicklung), Missbildungen. <i>Muttertiere</i> : Fertilität, Corpus luteum, Gewicht des Uterus.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Muttertieren bzw. Föten nachgewiesen werden.
Kowalczuk et al. 1994	Magnetfeld (Sinus), 50 Hz ; 20 mT EMF-Exposition: konstant bis zum 17. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit, <i>Föten</i> : abgestorbene Föten, Missbildungen (innere Organe, Skelett, Extremitäten, Gaumenspalten) bei 17 Tage alten Föten. <i>Muttertiere</i> : Corpus luteum.	Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren festgestellt werden.
Kowalczuk et al. 1995	Magnetfeld (Sinus), 50 Hz ; 10 mT EMF-Exposition: konstant, 8 Wochen.	Mäuse	Spermatogenese bei EMF-exponierten männlichen Mäusen. Indikator: Anzahl der trächtigen Weibchen, lebende und abgestorbene Föten, Corpus luteum im Uterus der Muttertiere.	Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Föten festgestellt werden.
Mewissen et al. 1994 EMF-Exposition: konstant, gesamte Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit statischem 30 mT Feld. S. entsprechende Tabelle.	Magnetfeld, 50 Hz ; 30 mT EMF-Exposition: konstant, gesamte Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit statischem 30 mT Feld. S. entsprechende Tabelle.	Ratten	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit, <i>Föten</i> : abgestorbene Föten, Skelettbau, Missbildungen bei 20 Tage alten Föten. <i>Muttertiere</i> : Corpus luteum.	Zunahme des Corpus luteum bei EMF-exponierten Muttertieren. Zunahme an kleineren Anomalien des Skelettes (bes. der Rippen, nicht näher beschrieben). Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei den übrigen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und exponierten Embryonen, Föten und Muttertieren nachgewiesen werden.
Pavkova et al. 1994	Magnetfelder, 50 Hz ; 10 mT Vektoren: vertikal Exposition: Tag 1-19 der Embryogenese. Weitere Versuche mit Hühnern. S. entsprechende Tabelle.	Ratten	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit, <i>Föten</i> : abgestorbene Föten, Missbildungen (z.B. Kopf, Gehirn, Augen, Extremitäten, Rumpf) bei 19 Tage alten Föten. <i>Muttertiere</i> : Körpergewicht und Corpus luteum.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zw. Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen, Föten und Muttertieren festgestellt werden.
Zecca et al. 1985	Magnetfelder, 50 Hz ; 58 mT; (58 G) Exposition: Tag 6-15 der Embryogenese.	Ratten	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit. <i>Föten</i> : Mortalität, Missbildungen (Skelettbau, innere Organe, Extremitäten), Gewicht von 20 Tage alten Föten. <i>Adulte Tiere</i> : Körpergewicht, Allgemeinbefinden, Verhalten, Kotproben. Histologische Untersuchungen folgender Organe: Herz, Lunge, Leber, Pankreas, Milz, Blase, Schilddrüse, Nebenschilddrüse, Prostata, Hoden. Verschiedene Blutparameter: z.B. Hämoglobin, Leukozyten, Glukose, Harnstoff, Bilirubin, Kreatinin, Cholesterin, Lipide, Proteine, SGOT, SGPT. Urinproben: pH-Wert, Proteine, Glukose, Blut, Ketone, Bilirubin.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Föten bzw. Embryonen festgestellt werden. Bei den untersuchten adulten Tieren konnten ebenfalls keine Beeinträchtigungen durch das untersuchte 50 Hz-Feld nachgewiesen werden.

Tabelle 9: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Ryan et al. 1996	Magnetfelder, 60 Hz : 2 & 200 μT & 1 mT (0,02; 2,0 10,0 G). Expositionsdauer: 18,5 h/Tag vom 6.-19. Tag der Embryonalentwicklung. Gruppe mit Ethylenthioharnsäure-Applikation als „Positiv-Kontrolle“ für Teratogenität.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit. Föten: Mortalität, Missbildungen (Skelettbau, Kopf, Gehirn, Extremitäten, innere Organe), Gewicht. Muttertiere: Futtermittelverbrauch, Körpergewicht, Sterblichkeitsrate, Gewicht der inneren Organe und der Ovarien, Corpus luteum.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Tieren bzw. Föten nachgewiesen werden.
Ryan et al. 1999	Magnetfelder, 60 Hz : 2 & 200 μT & 1 mT (0,02; 2,0 10,0 G). Exposition: konstant, während der gesamten Embryonalentwicklung für 18,5 h/Tag bzw. alternierend 1h an/1 h aus; 1 mT). Unterschiedliche Expositionszeiten für F0; F1 und F2 Generationen.	Ratten bis F2-Generation	Embryonen: Embryonalsterblichkeit. Föten: Mortalität, Körpergewicht, Geschlechterverhältnis. Muttertiere: Wurfgröße, Fruchtbarkeit. Jungtiere: Körpergewicht. Die F1-Generation wurde über die gesamte Lebensdauer hindurch beobachtet.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Föten nachgewiesen werden. Dies gilt für jede der untersuchten Generationen.
Dawson et al. 1998	Magnetfelder, 10 kHz ; 0,095; 0,24 & 0,95 mT. EMF-Exposition: Versuchsreihe 1: 20-23,5 h/Tag, konstant bis 22 Tag der Embryogenese. Versuchsreihe 2: männliche Tiere, 20-23,5 h/Tag, 45-58 Tage vor der Paarung. Versuchsreihe 3: weibliche Tiere, 20-23,5 h/Tag, 30-72 Tage vor der Paarung.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Föten(22. Tag): Mortalität, Geschlechterverhältnis, Gewicht, Missbildungen, Entwicklung des Skelettes, Blutparameter (u.a. Leucocyten, Monocyten). Muttertiere: Gewichtszunahme, Anzahl und Größe der Würfe, Ovulation, Menstruationszyklus, Fertilität, Blutparameter (u.a. Lymphocyten, Eiweiß, Kalium). Männliche Tiere: Gewicht, Fertilität, Sterberate, histologische und pathologische Untersuchungen (u.a. Geschlechtsorgane), Blutparameter (s.o.).	Die Untersuchungen der adulten Tiere ergaben einige geringe, aber statistisch signifikante Unterschiede (z.B. Blutparameter, Anzahl der lebenden Föten), die von den Autoren jedoch nicht den untersuchten Feldern zugeordnet, sondern als biologische Variation angesehen werden. Bei den übrigen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Föten festgestellt werden.
Chiang et al. 1995	Magnetfelder (Sägezahn), 15,6 kHz ; 40 μT . Expositionsdauer: 4 h/Tag vom 6.-17. Tag der Embryogenese. 1 Gruppe nur EMF, 1 Gruppe EMF + Ara-C (= Cytosinarabosid).	Mäuse	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Resorptionen). Föten: vorzeitig abgestorbene Föten, Missbildungen (z.B. Lippen- und Gaumenspalten, Gehirn, Extremitäten), Skelettbau, Gewicht und Größe bei 18 Tage alten Föten.	Die Anzahl der Föten mit Gaumen- und Lippenpalten war in den drei Versuchsgruppen (nur EMF, EMF + Ara-C, nur Ara-C) gegenüber den unbehandelten Kontrollen statistisch signifikant erhöht. Mit 49,0% war hierbei die Missbildungsrate in der Gruppe mit EMF + Ara-C am größten (EMF: 14,9%, Ara-C: 26,1%, Kontrollen: 2,6%). Bei den übrigen untersuchten Parametern konnten keine teratogenen bzw. embryolethalen Effekte des untersuchten EMF nachgewiesen werden. Nach Meinung der Autoren verstärkt das EMF die teratogene Wirkung von Ara-C.
Stuchly et al. 1988	Magnetfeld (Sägezahn), 17,8 kHz , 5,7; 23 & 66 μT . Exposition: 7h/Tag; 15 Tage vor der Paarung bis zum 22. Tag der Embryonalentwicklung.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Mortalität, Missbildungen (innere Organe, Extremitäten Skelett), Gewicht. Muttertiere: Körpergewicht, Gewichts Zunahme, Gewicht der Plazenta, Blutparameter (u.a. Erythrocyten, Leucocyten, Hämatokritwert, Hämoglobin), Knochenmarkproben. Anzahl und Größe der Würfe.	Embryonen/Föten: Bei 23 μT & 66 μT Zunahme an Missbildungen des Knochenbaus. Die Unterschiede zwischen EMF-exponierten und Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei allen anderen der untersuchten Parameter sowie bei 5,7 μT konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten festgestellt werden. Muttertiere: Bei 23 μT (Hämoglobin) & 66 μT (Leucocyten, Lymphocyten & Erythrocyten) waren bei den EMF-exponierten Tieren niedrigere Werte im Vergleich zu den Kontrollen zu beobachten. Die Unterschiede waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.

Tabelle 10: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetfelder, Frequenzbereich: 20 kHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Frölen et al. 1993	Magnetfeld (Sägezahn), 20 kHz ; 15 μT ; Exposition: Testreihe 1 & 2: 1.-19. Tag d. Embryonalentwicklung. Testreihe 3: 2.-19. Tag d. Embryonalentwicklung. Testreihe 4: 5.-19. Tag der Embryonalentwicklung. Testreihe : 7.-19. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse (CBA/S)	Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen, Gewicht und Größe der Föten.	Bei einer EMF-Exposition vom 1.-19.; 2.-19. & 5.-19. Tag der Schwangerschaft war in den EMF-exponierten Gruppen die Anzahl an plazentalen Resorptionen gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. Bei der EMF-Exposition vom 1.-19. Tag war zusätzlich noch die Anzahl der abgestorbenen Föten statistisch signifikant erhöht. Bei den Tests mit einer EMF-Exposition vom 7.-19. Tag waren die EMF-exponierten Föten kleiner und leichter im Vergleich zu den Kontrollen. Dieser Unterschied war statistisch signifikant. Bei der Anzahl an Missbildungen ließen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Föten und den Kontrollen nachweisen.
Huuskonen et al. 1993	Magnetfeld (Sägezahn), 20 kHz ; 15 μT (12 A/m) Expositionsdauer: die ersten 20 Tage der Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit Magnetfeld (Sinus); 50 Hz; 35,6 μT (28,3 A/m). (S. entsprechende Tabelle).	Ratten (Wistar)	Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Föten: Skelettbau und Missbildungen bei 20 Tage alten Föten. Muttertiere: Körpergewicht, Gewicht der Plazenta sowie des Uterus (inkl. Föten).	Anstieg der Anzahl an geringeren Anomalien des Skelettbaus bei den EMF-exponierten Föten. Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei allen übrigen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und den EMF-exponierten Föten nachgewiesen werden.
Huuskonen et al. 1998	Magnetfeld (Sägezahn), 20 kHz ; 15 μT (150 mG). Exposition konstant bis zum 18. Tag der Embryogenese.	Mäuse (CBA/S)	Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Missbildungen und Gewicht bei 18 Tage alten Föten. Muttertiere: Gewicht, Knochenmark- & Blutproben (Erythrocyten, Mikronukle) Corpus luteum (Uterus).	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede nachgewiesen werden.
Juutilainen et al. 1997	Magnetfeld (Sägezahn), 20 kHz ; 13 & 130 μT (rms), Exposition konstant bis zum 18. Tag der Embryogenese. Weitere Tests mit Magnetfeld 50 Hz; 13 & 130 μT . S. entsprechende Tabelle.	Mäuse (CBA/S)	Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: abgestorbenen Föten, Missbildungen. Gewicht & Größe der Föten (18. Tag der Embryonalentwicklung). Muttertiere: Fertilität, Corpus luteum, Gewicht des Uterus.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Föten nachgewiesen werden.
Svedenstål & Johanson 1995	Magnetfeld (Sägezahn), 20 kHz ; 15 μT . EMF-Exposition: Gruppe 1: konstant, Tag 1-5,5 der Embryogenese. Gruppe 2: konstant, Tag 1-7 der Embryogenese.	Mäuse (CBA/S)	Embryonalsterblichkeit. Föten: Anzahl der vorzeitig abgestorbenen Föten. Missbildungen, Gewicht & Größe der 19 Tage alten Föten. Muttertiere: Fertilität, Kalzium & Progesteron (Blutwerte).	Bei den Untersuchungen mit einer EMF-Exposition bis zum 5,5 Tag war die Anzahl der abgestorbenen Föten bei den EMF-Exponierten gegenüber den Kontrollen erhöht. Außerdem lagen sowohl das Gewicht als auch die Körpergröße (Länge) der EMF-exponierten Föten unter den Werten der Kontrollen. Die Unterschiede waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern sowie bei den Untersuchungen mit einer EMF-Exposition bis zum 7. Tag d. Embryonalentwicklung konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EMF-Exponierten und Kontrollen festgestellt werden.
Wiley et al. 1992	Magnetfelder (Sägezahn), 20 kHz ; 3; 6; 17 & 200 μT . Expositionsdauer: konstant vom 1.-18. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse (CD-1)	Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Föten: Anzahl der abgestorbenen Föten. Missbildungen (innere Organe, Extremitäten, Skelett), Ossifikation. Muttertiere: Gewicht des Uterus, Körpergewicht, Fertilität.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Embryonen/Föten nachgewiesen werden.

Tabelle 12: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (elektrische Felder) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Angell et al. 1990	Hochspannungsleitung , (+/-) 500 kV; Exposition für 30 Monate.	Rinder	Körpergewicht der Altiere, Fertilität, Sterblichkeitsrate, Gewichtszunahme bei den Kälbern.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den exponierten Versuchstieren und den Kontrollen festgestellt werden.
Zusman et al. 1990	elektrische Felder, 20 Hz , 0,6 V/m Exposition während der gesamten Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit 50 & 100 Hz sowie „in vitro“ Versuche mit Mäuse- und Rattenembryonen. S. entsprechende Tabellen.	Ratten	Anzahl der Jungen pro Wurf & Körpergewicht der Jungtiere nach 1; 7; 14; 21 & 28 Tagen nach pränataler EMF-Exposition. Anzahl der Missbildungen.	Leicht erhöhte „postnatale“ Sterblichkeit bei den EMF-exponierten Jungtieren. Der Unterschied zu den Kontrolltieren war jedoch statistisch nicht signifikant absicherbar. Am 1. Tag nach der Geburt lag das Körpergewicht der EMF-exponierten Ratten unter dem der Kontrolltiere. Der Unterschied war statistisch signifikant. Es konnte keine statistisch signifikante Zunahme an Missbildungen bei den EMF-exponierten Ratten nachgewiesen werden.
Zusman et al. 1990	elektrische Felder, 50 Hz , 0,6 V/m EMF-Exposition während der gesamten Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit 20 & 100 Hz sowie „in vitro“ Versuche mit Mäuse- und Rattenembryonen. S. entsprechende Tabellen.	Ratten	Anzahl der Jungen pro Wurf & Körpergewicht der Jungtiere nach 1; 7; 14; 21 & 28 Tagen pränataler EMF-Exposition. Anzahl der Missbildungen (Jungtiere).	Leicht erhöhte „postnatale“ Sterblichkeit bei den EMF-exponierten Jungtieren. Der Unterschied zu den Kontrolltieren war jedoch statistisch nicht signifikant absicherbar. Ab der dritten Lebenswoche lag das Körpergewicht der EMF-exponierten Ratten unter dem der Kontrolltiere. Der Unterschied war statistisch signifikant. Es konnte keine statistisch signifikante Zunahme an Missbildungen bei den EMF-exponierten Ratten nachgewiesen werden.
Marino et al. 1976	elektrische Felder, 1. Versuchsgruppe: Horizontal: 60 Hz ; 500 V/m 2. Versuchsgruppe: Vertikal: 60 Hz ; 500 V/m Expositionsdauer: konstant über drei Generationen hindurch.	Mäuse bis F3-Generation	Mortalität und Körpergewicht aller getesteten Tiere (alle Generationen).	Sowohl im vertikalen als auch im horizontalen Feld hatten die EMF-exponierten Tiere der 1. & 2. Generation (beide Geschlechter) ein geringeres Körpergewicht als die Kontrollen. Die Unterschiede waren statistisch signifikant. Im vertikalen Feld war die Sterblichkeitsrate zwischen dem 8.-35. Tag nach der Geburt bei den EMF-exponierten Tieren gegenüber den Kontrollen erhöht: F1: 10% vs. 2%; F2: 58% vs. 4%; F3: 35% vs. 2%. Angaben zur Statistik fehlen.
Rommereim et al. 1987	Elektrisches Feld, 60 Hz : 100 kV/m. Expositionsdauer: 19 h/Tag; gesamte Versuchsdauer. Es wurden 2 unabhängige Versuchsreihen durchgeführt.	Ratten bis F1-Generation	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Föten: Anzahl der abgestorbenen und lebenden Föten, Gewicht der Föten, Geschlechterverhältnis, Körperlänge (Kopfrumpf), Missbildungen: u.a. Hydrocephalie, Micro- o. Anophthalmie, Extremitäten, Schädel, Knochenbau (Ossifikation), innere Organe. Muttertiere: Fertilität; Corpus luteum, Gewichtszunahme, Anzahl und Größe der Würfe, Gewicht der Plazenta. Jungtiere: Sterblichkeitsrate, Körpergewicht.	<i>Embryonen/Föten</i> : In einigen Tests war bei den exponierten Embryonen die Sterblichkeitsrate geringer als die der Kontrollen. Die Unterschiede waren in einer Testreihe statistisch signifikant, konnten jedoch nicht reproduziert werden. Die EMF-exponierten Föten waren etwas größer und schwerer als die Föten der Kontrollgruppe. Die Unterschiede waren sehr gering, aber statistisch signifikant. Die Anzahl der Würfe, in denen Missbildungen festgestellt werden konnten, war in den EMF-exponierten Gruppen statistisch signifikant erhöht. Alle Unterschiede sind nach Auffassung der Autoren nicht auf das untersuchte EMF zurückzuführen, sondern lediglich normale Variationen. Bei allen anderen untersuchten Parametern waren keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisbar. <i>Muttertiere</i> : Bei den weiblichen Tieren der F1-Generation ließen sich in der EMF-exponierten Gruppe im Vergleich zu den Kontrolltieren weniger Schwangerschaften feststellen (37 vs. 47). Dieser Unterschied war statistisch signifikant, im Folgeexperiment jedoch nicht mehr reproduzierbar. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Fortsetzung - Tabelle 12: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (elektrische Felder) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Rommereim et al. 1990	Elektrische Felder, 60 Hz ; 10; 65 & 130 kV/m (vertikal). Expositionsdauer: 19 h/Tag; gesamte Versuchsdauer.	Ratten bis F1-Generation	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). <i>Föten</i> : Anzahl der abgestorbenen Föten, Gewicht, Geschlechterverhältnis, Körperlänge (Kopfrumpf), Missbildungen: u.a. Hydrocephalie, Micro- o. Anophthalmie, Extremitäten, Schädel, Knochenbau (Ossifikation), innere Organe. <i>Muttertiere</i> : Fertilität; Corpus luteum, Gewichtszunahme, Anzahl und Größe der Würfe, Gewicht der Plazenta. <i>Jungtiere</i> : Sterblichkeitsrate, Körpergewicht.	Es konnten, unabhängig von den untersuchten elektrischen Feldstärken, bei keinem der untersuchten Parameter statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Föten festgestellt werden.
Sikov et al. 1984	Elektrisches Feld, 60 Hz ; 100 kV/m Expositionsdauer: Versuch 1: konstant, 6 Tage vor und während der Paarungsphase sowie 1-20. Tag der Embryonalentwicklung. Versuch 2: 1. Tag der Embryonalentwicklung bis zum 8. Tag nach der Geburt. Versuch 3: 17. Tag der Embryonalentwicklung bis zum 25. Tag nach der Geburt.	Ratten	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit. <i>Föten</i> : Missbildungen (Innere Organe, Skelettbau), Geschlechterverhältnis, Körpergröße & Gewicht. <i>Jungtiere</i> : Verhaltensmuster und Ontogenese nach prä- und postnataler Exposition. <i>Elterntiere</i> : Fertilität, Anzahl und Größe der Würfe.	In der ersten Versuchsserie ließen sich bei keinem der untersuchten Parameter statistisch signifikante Unterschiede zwischen den EMF-Exponierten und den Kontrollen nachweisen. In der zweiten und dritten Versuchsserie konnten bei einigen Verhaltensparametern (z.B. Putzverhalten, Bewegung, Geotropismus) statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren nachgewiesen werden. Diese Effekte waren jedoch nur vorübergehend, am 14. Tag nach der Geburt, zu beobachten. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren nachgewiesen werden.
Sikov et al. 1987	Elektrisches Feld, 60 Hz ; 30 kV/m Expositionsdauer: 20 h/Tag; 7 Tage/Woche Versuch 1: 4 Monate vor der Paarung bis zum 100. Tag der Tragezeit. Versuch 2: 18 Monate vor der Paarung bis zum 100. Tag der Tragezeit. Versuch 3: 32 Monate vor der Paarung bis zum 100. Tag der Tragezeit.	Schweine (Hanford Miniatur) bis F2-Generation	<i>Embryonen</i> : Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). <i>Föten</i> : Anzahl der vorzeitig abgestorbenen Föten, Körpergewicht, Körperlänge, Schädelmaße, Geschlechterverhältnis, Missbildungen. <i>Muttertiere</i> : Fertilität, Körpergewicht, Corpus luteum, Gesundheitszustand, Anzahl und Größe der Würfe.	<i>Embryonen/Föten</i> : In zwei Versuchen war in den EMF-exponierten Versuchsgruppen die Anzahl der Würfe, in denen Missbildungen festgestellt werden konnten, gegenüber den Kontrollgruppen statistisch signifikant erhöht. Zusätzlich ließen sich in einem Versuch bei den EMF-exponierten Föten geringere Körpergewichte bzw. Schädelmaße beobachten. Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt. <i>Muttertiere</i> : Es konnten bei keinem der untersuchten Parameter statistisch signifikante Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Tieren und den Kontrollen nachgewiesen werden.
Zusman et al. 1990	elektrische Felder, 100 Hz ; 0,6 V/m EMF-Exposition während der gesamten Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit 20 & 50 Hz sowie „in vitro“ Versuche mit Mäuse- und Rattenembryonen. S. entsprechende Tabellen.	Ratten	Anzahl der Jungen pro Wurf & Körpergewicht der Jungtiere nach 1; 7; 14; 21 & 28 Tagen pränataler EMF-Exposition. Anzahl der Missbildungen.	Leicht erhöhte „postnatale“ Sterblichkeit bei den EMF-exponierten Jungtieren. Der Unterschied zu den Kontrollieren war jedoch statistisch nicht signifikant absicherbar. Am 1. Tag nach der Geburt lag das Körpergewicht der EMF-exponierten Ratten unter dem der Kontrolltiere. Der Unterschied war statistisch signifikant. Es konnte keine statistisch signifikante Zunahme an Missbildungen bei den EMF-exponierten Ratten nachgewiesen werden.

Tabelle 11: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von niederfrequenten EMF (Magnetresonanztomographen) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Tyndall & Sulik 1991	Magnetresonanztomograph, Magnetfeld: 1,5 T; HF-Feld: 64 MHz. Exposition für 36 min. am 7. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse (C57BL/6J)	Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Föten: Missbildungen der Augen (z.B. Microphthalmie). Der untersuchte Mäusestamm ist genetisch prädisponiert für diese Missbildung. Die Föten wurden am 14. Tag der Embryonalentwicklung untersucht.	Bei den Föten der EMF-exponierten Versuchsgruppen konnte eine Zunahme an Missbildungen der Augen (15-37%) festgestellt werden. Kontrollen: 2-19% Die Unterschiede zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Föten waren statistisch signifikant. Auf die Embryonalsterblichkeit hatte das untersuchte Feld keinen Einfluss.
Tyndall 1993	Magnetresonanztomograph, Magnetfeld: 1,5 T; HF-Feld: 64 MHz. Exposition für 36 min. am 7. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse (C57BL/6J)	Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Entwicklung des Schädels, Größe der Embryonen/Föten (Kopf-Rumpf).	Sowohl bei der Entwicklung des Schädels als auch der Körpergröße der Embryonen/Föten konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen bzw. Föten nachgewiesen werden Auf die Embryonalsterblichkeit hatte das untersuchte EMF keinen Einfluss.
Zimmermann & Hentschel 1987	Magnetresonanztomograph, 3,5 T. Versuch 1: konstante Exposition 1.-18. Tag der Embryonalentwicklung. Versuch 2: konstante Exposition 7 Tage zum Zeitpunkt der Empfängnis.	Mäuse	Embryonen: Mortalität. Verlauf der Embryonalentwicklung. Föten: Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen (innere Organe z.B. Lunge, Gehirn), Blutproben. Mütterliche: Fertilität.	Waren die Mäuse während der Empfängnis dem EMF ausgesetzt, war die Anzahl der trächtigen Weibchen in der Gruppe mit EMF-Exposition gegenüber den Kontrollen reduziert (Unterschied statistisch signifikant). Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren bzw. Embryonen/Föten festgestellt werden.

2.2. Hochfrequente elektromagnetische Felder

2.2.1. Untersuchungen an Hühner- und Wachtel-embryonen (in vivo)

In den 12 vorliegenden Arbeiten wurden 8 verschiedene Frequenzen (Tafel 4) untersucht. Die meisten Arbeiten, nämlich 4, liegen für den 2,45 GHz Frequenzbereich vor. Für 900 MHz werden in Tabelle 13 zwar 3 Arbeiten (YOUBICIER-SIMO et al. 1998a, b & c) aufgeführt, jedoch handelt es sich hierbei offensichtlich um ein und dieselben Untersuchungen (s. unten). Für die übrigen Frequenzen liegen jeweils nur eine bzw. zwei Arbeiten vor.

Frequenzbereich	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
100 kHz	1	13
260 MHz	1	13
428 MHz	2	13
900 MHz	3	13
915 MHz	1	13
1,25 GHz	1	13
2,43 GHz	1	13
2,45 GHz	4	13

Tafel 4: Teratologische Untersuchungen zum Einfluss von hochfrequenten EMF auf Hühner- und Wachtel-embryonen. Untersuchte Frequenzen.

In insgesamt 11 der vorliegenden Arbeiten wurde der Einfluss der applizierten hochfrequenten Felder auf die Embryonalsterblichkeit untersucht. Weitere Untersuchungsparameter waren das Auftreten von kongenitalen Missbildungen (6 Untersuchungen), die Schlüpftrate, das Geschlechterverhältnis (jeweils 3 Untersuchungen), die Entwicklungsstadien (2 Untersuchungen) sowie

die Dauer der Embryonalentwicklung, der Wasserhaushalt und verschiedene Blutparameter (alle jeweils 1 mal). Die Fertilität, Legerate, und Futteraufnahme der Muttertiere sowie das Gewicht der Eier waren Gegenstand von 3 bzw. 4 Untersuchungen. Das Körperwachstum, das Körpergewicht und histologische Untersuchungen zur Ontogenese der Gehirns waren Gegenstand einer Studie an Küken, die während ihrer Embryonalentwicklung einem hochfrequenten Feld ausgesetzt waren.

Der am eingehendsten untersuchte Hochfrequenzbereich liegt bei 2,45 GHz (Tab. 13). In ZWEI (MCREE et al. 1975, BRAITHWAITE et al. 1991) der insgesamt vier Untersuchungen konnten keine Effekte der applizierten 2,45 GHz Felder auf die untersuchten Parameter nachgewiesen werden. In einer Studie an Wachteln (INOUE et al. 1982) wurden die Embryonen vom 1. bis zum 12. Bruttag einem 2,45 GHz-Feld mit einer Leistungsflußdichte von 5.0 mW/cm² (SAR 4.03 mW/g) ausgesetzt. Am 12., 13. und am 14. Bruttag wurden einige (11, 9 bzw. 10 exponierte und jeweils 11 scheinexponierte Kontrollen) der HF-exponierten Eier aus dem Brutschrank entnommen, geöffnet und der Entwicklungsstand des Cerebellums (Kleinhirn) histologisch bestimmt. Die Untersuchungen ergaben für die HF-exponierten Embryonen eine zurückgebliebene Entwicklung des Kleinhirns am 12.-14. Bruttag. Die Unterschiede zwischen den HF-exponierten und den scheinexponierten Gruppen waren signifikant absicherbar. Hingegen konnten bei acht Wochen alten, geschlüpften Küken aus derselben Versuchsreihe keine

Unterschiede zwischen den HF-exponierten und den Scheinexponierten festgestellt werden. Dies könnte bedeuten, dass die während der Embryonalentwicklung in bestimmten Entwicklungsstadien bei den HF-exponierten Embryonen festgestellten Entwicklungsstörungen in späteren Abschnitten der Embryogenese bzw. der Ontogenese anscheinend kompensiert werden konnten. Anzumerken ist noch, dass die Autoren zwar diskutieren, ob die am 12.-14. Bruttag beobachteten Unterschiede zwischen den HF- und scheinexponierten Embryonen auf das hochfrequente Feld zurückzuführen sind, andererseits lassen sie aber offen, ob nicht auch die zu Kompensationszwecken herabgesetzte Bruttemperatur für die Retardierung des Cerebellums verantwortlich sein könnte (INOUE et al. 1982).

In der Studie von BYMAN et al (1985) wurden jeweils 30 Wachteleier während der 17-tägigen Bebrütung jeweils zweimal pro Bruttag für je 30 min. einem 2,45 GHz-Feld (cw) und Leistungsflußdichten von 25 bzw. 50 mW/cm² ausgesetzt. Während der EMF-Exposition war die Bebrütungstemperatur von ca. 37,5 °C auf 21-23 °C herabgesetzt. Bei einer Leistungsflußdichte von 25 mW/cm² konnten keine Beeinträchtigungen der Embryonalentwicklung nachgewiesen werden. Hingegen war bei 50 mW/cm² die Schlüpftrate bei den HF-exponierten Embryonen (31,6%) gegenüber den Kontrollen (73,9%) herabgesetzt. Als Ursache machen die Autoren die von dem 2,45 GHz-Feld verursachte Temperaturerhöhung in den HF-exponierten Eiern verantwortlich. Postnatale Untersuchungen der geschlüpften Küken konnten für keine der beiden

untersuchten Leistungsflußdichten nachteilige Effekte aufzeigen.

Insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die bei den 2,45 GHz-Feldern festgestellten Effekte auf thermische Wirkungen zurückzuführen sind. Dies wird vor allem durch die Ergebnisse aus den Untersuchungen mit Säugetieren unterstützt (s. Kap. 2.2.2.).

KRUEGER et al. (1975) untersuchten den Einfluss eines 2,435 GHz-Feldes (1000 µW/cm²) auf die Fertilität, die Legerate, das Ei-Gewicht sowie die Futteraufnahme von Hennen. Weitere untersuchte Parameter waren die Schlüpftrate, die Embryonalsterblichkeit, das Auftreten von Missbildungen und das Geschlechterverhältnis der Küken bzw. Embryonen. Mit Ausnahme einer bei den EMF-exponierten Hennen im Verlauf der Untersuchungen nachlassenden Legerate, konnte bei keinem der übrigen untersuchten Parameter ein Effekt des 2,435 GHz-Feldes festgestellt werden. Zu einem vergleichbaren Ergebnis führten von KRUEGER et al. (1975) veröffentlichte Untersuchungen mit 260 und 915 MHz (s. Tab. 13). Allerdings wird die Aussagekraft dieser Ergebnisse in Hinsicht auf die Untersuchungen an den Küken bzw. Embryonen durch die Tatsache eingeschränkt, dass die von den EMF-exponierten Hennen gelegten Eier mit Hilfe einer speziellen Einrichtung aus den Versuchskäfigen und somit aus dem Bereich der hochfrequenten Felder rollten (KRUEGER et al. 1975).

Für einiges Aufsehen, insbesondere auf verschiedenen Symposien, sorgten in den vergangenen Jahren die von YOUNG et al. (1998a,b+c) durchgeführten

Untersuchungen mit einem 900 MHz Feld. Bei diesen Untersuchungen wurden in insgesamt drei Versuchsreihen jeweils 60 Hühnereier einem, durch ein Mobiltelefon (Bosch CARTEL SL 2G2) erzeugten, 900 MHz-Feld (GSM-Signal) für die gesamte Dauer der Embryonalentwicklung ausgesetzt. Im Vergleich zu den scheinexponierten Kontrollen (jeweils 60 Eier) kam es in den EMF-exponierten Versuchsgruppen zu einer Erhöhung der Embryonalsterblichkeit. In der ersten Versuchsreihe starben in der EMF-exponierten Gruppe 59,3% der Embryonen vorzeitig ab (Kontrollen 11,9%), in der zweiten 57,6% (Kontrollen 10,9%) und in der dritten waren es 100% gegenüber 15,8% bei den Kontrollen. Eine genauere Betrachtung der Daten zeigt, dass in allen Versuchen von YOUNG et al. (1998a,b+c) der größte Teil der HF-exponierten Embryonen erst in der dritten Brutwoche, offensichtlich kurz vor dem Ausschlüpfen abgestorben war. Ein Absterben der Embryonen bzw. Küken zu diesem Zeitpunkt deutet jedoch eher auf eine fehlerhafte Bebrütung (z.B. zu hohe Bebrütungstemperatur) als auf teratogene Effekte des untersuchten 900 MHz-Feldes hin, zumal anscheinend keine kongenitalen Missbildungen bei den abgestorbenen Embryonen festgestellt wurden. Zweifel an den veröffentlichten Ergebnissen kommen auch dadurch auf, dass die Autoren ganz offensichtlich kommerzielle Ziele verfolgen und eine „Abschirmungsantenne“ auf den Markt bringen wollen, mit deren Hilfe angeblich die Embryonalsterblichkeit erheblich gesenkt werden kann (Tab. 13). Auch die Tatsache, dass ein und dieselbe Studie mit wechselnden Autoren sowie gering-

fügigen Veränderungen bei den Angaben zum Versuchsaufbau (Bruttemperatur) und den Ergebnissen in mindestens drei unterschiedlichen Publikationen auftaucht, lässt gewisse Zweifel an der Seriosität der Autoren zu.

Ebenso zweifelhaft erscheint der von VARGA (1992) beschriebene Anstieg der Embryonalsterblichkeit in einem 1,25 GHz-Feld auf 100% bei bestimmten Leistungsflussdichten. Während im Bereich von 0,1 - 1,0 mW/cm² sich der Anteil an abgestorbenen Embryonen im Bereich von 10 - 18% bewegte, stieg ab einer Leistungsflussdichte von 1,5 mW/cm² in den EMF-exponierten die Embryonalsterblichkeit auf 100% (Kontrollen 11,7%). Dabei waren alle Embryonen der EMF-exponierten Gruppen bereits innerhalb der ersten 5 Tage abgestorben. Die von VARGA veröffentlichte Embryonalsterblichkeit von 100% bei Leistungsflussdichten von 1,5 mW/cm² und darüber, erscheint jedoch in jedem Fall sehr unwahrscheinlich. Auch bei diesen Untersuchungen liegt der Verdacht nahe, dass die beschriebene Erhöhung der Embryonalsterblichkeit nicht auf das untersuchte hochfrequente Feld, sondern auf erhebliche Fehler bei der Bebrütung zurückzuführen ist. Eine Ursache könnte dabei eine viel zu niedrige Bebrütungstemperatur sein. Nach den Angaben von VARGA (1992) wurden die EMF-exponierten Eier bei einer Brutschranktemperatur von 36,2 °C bebrütet. Diese Bruttemperatur wurde laut VARGA aus dem Grund gewählt, um den thermischen Effekt des 1,25 GHz-Feldes zu kompensieren, wobei von einer Erwärmung der Eier um 2,1 °C bei einer Leistungsflußdichte von 2,5 mW/cm² ausgegangen wurde.

Tatsächlich liegt die Erwärmung in einem Hühnerei im Bereich des Embryos jedoch nur bei ca. 0,5 °C (THALAU et al., in prep.). Aber auch die von VARGA in seinen Untersuchungen verwendete Bebrütungstemperatur dürfte eigentlich in keinem Fall zu einer Embryonalsterblichkeit von 100% führen. Insgesamt arbeitete VARGA mit folgenden Leistungsflussdichten: 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 & 3,0 mW/cm². Jede der Versuchsgruppen sowie die Kontrollgruppe bestand aus 180 Eiern.

In einer japanischen Studie mit einem 428 MHz-Feld berichten die Autoren (SAITO et al. 1991) ebenfalls von einer sehr hohen Embryonalsterblichkeit bei den EMF-exponierten Embryonen (62,0% vs. 15,8% bei den Kontrollen) sowie einer bis zu drei Tagen verlängerten Bebrütungsdauer. Zusätzlich konnte bei 89,0% der aus den EMF-exponierten Eiern ausgeschlüpften Küken noch eine massive Fehlstellung der Beine (sog. Spreizbeine) festgestellt werden. Bei den Kontrolltieren war diese Fehlstellung nicht zu beobachten. Derartige Fehlstellungen sind bei den Geflügelzüchtern bekannt und ihre Ursache liegt in dem meisten Fällen in einer zu hohen oder auch zu geringen Bruttemperatur (ANDERSON BROWN 1988). Das Auftreten der oben beschriebenen Fehlstellung der Beine sowie die erheblich längere Brutdauer bei den EMF-exponierten Eiern ist sehr wahrscheinlich auf eine falsche, in diesem Fall zu niedrige, Bruttemperatur zurückzuführen. Ein weiterer Hinweis darauf ist die Tatsache, dass viele der in den Eiern gestorbenen Küken erst am Ende der Brutzeit gestorben waren und vollständig entwickelt in den Eiern lagen (SAITO

et al. 1991). Auch die in einer Folgestudie (SAITO & SUZUKI 1995) beobachtete Verzögerung der Embryonalentwicklung bei 48 Stunden alten Hühnerembryonen dürfte auf Fehler bei der Bebrütung, und nicht auf den Einfluß des untersuchten 428 MHz-Feldes zurückzuführen sein. Darüber hinaus ist die Anzahl der untersuchten Eier (50 EMF-Exponierte, 19 Kontrollen) vergleichsweise gering.

Vordergründig vermitteln die Ergebnisse der vorliegenden Studien den Eindruck, dass die untersuchten hochfrequenten Felder zu erheblichen Beeinträchtigungen bei den exponierten Embryonen geführt haben. Mit Ausnahme der Untersuchungen mit 2,45 GHz-Feldern bestehen jedoch an der Seriosität der meisten Ergebnisse, insbesondere bei den oben vorgestellten Arbeiten (SAITO et al. 1991, VARGA 1992, YOUBICIER-SIMO et al. 1998a,b+c), erhebliche Zweifel, sodass über das tatsächliche teratogene Potential dieser Felder derzeit keine Erkenntnisse vorliegen.

Tabelle 13: Hühner- und Wachteilembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 100 kHz-2,45 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Juutilainen & Saali 1986	Magnetfelder, 100 kHz , 0,1; 1; 10; 100 A/m Expositionsdauer: 52 h. Zusätzliche Tests mit Frequenzen im Bereich von 1Hz – 10 kHz (s. entsprechende Tabellen).	Hühner	Missbildungen und Entwicklungsstadium bei 52 h alten Embryonen.	Bei 1; 10 & 100 A/m konnte bei den EMF-exponierten Embryonen eine statistisch signifikante Zunahme an Missbildungen (keine genaue Angaben) festgestellt werden.
Krueger et al. 1975	VHF Feld, 260 MHz , 125 µW/cm ² Expositionsdauer: 12 Wochen. Weitere Versuche mit elektrischen bzw. magnetischen 60 Feldern, 915 MHz, 2,435 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	<i>Adulte Tiere</i> : Fertilität, Legerate, Futteraufnahme, Eiergewicht. <i>Embryonen bzw. Küken</i> : Schlüpfrate, Missbildungen, Geschlechterverhältnis, Embryonalsterblichkeit.	Im Verlauf der Untersuchungen sank die Legerate der EMF-exponierten Hennen bis auf 59% (Kontrollen 78- 87%) in der 13.-16. Woche. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine Einflüsse des untersuchten Feldes festgestellt werden. * Die Eier wurden direkt nach dem Legen aus den Käfigen entfernt.
Saito et al. 1991	428 MHz , 0,05 mW/cm ² - 0,42 mW/cm ² , 5,5 mW/cm ² (sehr ungenaue Angaben) SAR: 3.1 – 47.1 W/kg. Expositionsdauer: 21 Tage (= gesamte Bebrütungszeit).	Hühner	Missbildungen, Embryonalsterblichkeit Brutdauer.	Erhöhung der Embryonalsterblichkeit: EMF-exponierte Eier: 62,0%, Kontrollen: 15,8%. Fehlstellung der Beine bei 89% der ausgeschlüpften EMF-exponierten Küken. Die Brutdauer war bei den EMF-exponierten Eiern um bis zu 2 Tage verlängert.
Saito & Suzuki 1995	428 MHz , 5,5 mW/cm ² . Expositionsdauer: die ersten 48 h der Embryogenese.	Hühner	Embryonalentwicklung in den ersten 48 h (Entwicklungsstadien, Anzahl d. Somiten).	Die EMF-exponierten Embryonen lagen in ihrer Embryonalentwicklung ca. 6-16 Stunden hinter der Embryonen aus der Kontrollgruppe zurück.
Youbicier-Simo et al. 1998a	900 MHz (Mobiltelefon, GSM-Signal)	Hühner	Embryonalsterblichkeit, 3 Versuchsreihen.	In allen drei Versuchsreihen war die Embryonalsterblichkeit in der EMF-exponierten Gruppe gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. Versuch 1: EMF-exponiert: 59,3%, Kontrolle: 11,9% Versuch 2: EMF-exponiert: 57,6%, Kontrolle: 10,9% Versuch 3: EMF-exponiert: 100%, Kontrolle: 15,8%
Youbicier-Simo et al. 1998b	900 MHz , (Mobiltelefon, GSM-Signal) Mit „Abschirmungsantenne“ Expositionsdauer: 21 Tage (= gesamte Bebrütungszeit).	Hühner	Embryonalsterblichkeit	Bei den EMF-exponierten Embryonen betrug die Sterblichkeitsrate 57,6% gegenüber 10,9% bei den Kontrollen. Wurden die Eier mit einem Mobiltelefon befedet, das mit einer „Abschirmungsantenne“ ausgestattet war, betrug die Embryonalsterblichkeit nur 29,3%.
Youbicier-Simo et al. 1998c	900 MHz , (Mobiltelefon, GSM-Signal) Mit „Abschirmungsantenne“ Expositionsdauer: 21 Tage (= gesamte Bebrütungszeit).	Hühner	Embryonalsterblichkeit	Bei den EMF-exponierten Embryonen betrug die Sterblichkeitsrate 61,0% gegenüber 11,9% bei den Kontrollen. Wurden die Eier mit einem Mobiltelefon befedet, das mit einer „Abschirmungsantenne“ ausgestattet war, betrug die Embryonalsterblichkeit nur 29,3%. (s. Publikation 1998b)
Krueger et al. 1975	915 MHz , 1000 µW/cm ² (1 – 17 Tag) 18. – 25. Tag: kein Feld, anschließend 200 µW/cm ² bis Ende der 12. Woche. Expositionsdauer: 12 Wochen. Weitere Versuche mit elektrischen bzw. magnetischen 60 Feldern, 260 MHz, 2,435 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	<i>Adulte Tiere</i> : Fertilität, Legerate, Futteraufnahme, Eiergewicht. <i>Embryonen bzw. Küken</i> : Schlüpfrate, Missbildungen, Geschlechterverhältnis, Embryonalsterblichkeit.	Im Verlauf der Untersuchungen lag die Legerate der EMF-exponierten Hennen zwischen 78–68 %. (Kontrollen 78-87%). Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine Einflüsse des untersuchten Feldes festgestellt werden. * Die Eier wurden direkt nach dem Legen aus den Käfigen entfernt.
Varga 1992	1,25 GHz , 0,1 – 3,0 mW/cm ² ; Expositionsdauer: 8h/Tag bis zum 5. Bruttag. Bruttemperatur zur Kompensation reduziert.	Hühner	Embryonalsterblichkeit	Bei 0,1–1,0 mW/cm ² kein Unterschied zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen. Bei 1,5–3,0 mW/cm ² waren alle EMF-exponierten Embryonen abgestorben (Kontrollen 11,7%).

Tabelle 13 (Fortsetzung): Hühner- und Wachtelembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 100 kHz-2.45 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Krueger et al. 1975	2,435 GHz , 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ Expositionsdauer: 11 Wochen. Weitere Versuche mit elektrischen bzw. magnetischen 60 Feldern, 260 MHz, 915 MHz. S. entsprechende Tabellen.	Hühner	Adulte Tiere: Fertilität, Legerate, Futteraufnahme, Eiengewicht. Embryonen bzw. Küken: Schlüpfrate, Missbildungen, Geschlechterverhältnis, Embryonalsterblichkeit.	Im Verlauf der Untersuchungen lag die Legerate der EMF-exponierten Hennen zwischen 74–61 %. (Kontrollen 78-87%). Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine Einflüsse des untersuchten Feldes festgestellt werden. * Die Eier wurden direkt nach dem Legen aus den Käfigen entfernt.
Braithwaite et al. 1991	2,45 GHz (cw), 3,6 mW/cm^2 , SAR: 0,8 mW/kg . Expositionsdauer: gesamte Bebrütungs-dauer (21Tage).	Hühner	Embryonalsterblichkeit	Es konnte kein Einfluss auf die Embryonalsterblichkeit nachgewiesen werden. Schlüpfrate: Kontrollen 87,7%, EMF-exponierte Eier 82,9%.
Byman et al. 1985	2,45 GHz (cw), 25 & 50 mW/cm^2 . SAR: 0,5 W/kg (kalkuliert für 92 mW/cm^2). Expositionsdauer: 2 x 30 min/Brutttag, gesamter Bebrütungszeitraum (17 Tage). Bruttemperatur während d. Exposition: 21 - 23 °C. Bruttemperatur der Kontrollen 37,4 - 37,5 °C. Bruttemperatur der Scheinexponierten: ca. 20,0-24,0 °C.	Wachteln	Embryonalsterblichkeit, Wasserhaushalt, Gewicht der Eier, Körperwachstum d. Küken.	25 mW/cm^2 : keine Beeinträchtigung der Schlüpfrate bzw. des Wachstums der aus den EMF-exponierten Eiern geschlüpften Küken. 50 mW/cm^2 : verringerte Schlüpfrate bei den EMF-exponierten Embryonen. Kontrollen: 73,9%, EMF-exponierte: 31,6%. Der Unterschied war statistisch signifikant.
Inouye et al. 1982	2,45 GHz (cw), 5,0 mW/cm^2 , SAR 4,03 mW/g . Expositionsdauer: konstant, vom 1.-12. Tag der Bebrütung (auch die 8 Wochen alten Küken).	Wachteln	Embryonen (12; 13 und 14 Tage alt) und Küken (8 Wochen): Körpergewicht, Gewicht des Gehirnes, Cerebellum (Cortex): Entwicklung der Körnerschicht (Striatum granulosum cerebelli) und der Molekularschicht (Striatum moleculare cerebelli), Entwicklung der Purkinjezellen	Bei den EMF-exponierten Embryonen lagen sowohl das Körpergewicht als auch das des Gehirns unter dem der Kontrollen. Bei den 12 Tage alten (Körpergewicht; Gehirn) und den 14 Tage alten (Gehirn) Embryonen waren die Unterschiede stat. signifikant. Die verschiedenen Strukturen des Cerebellums (Cortex) waren bei den EMF-exponierten Embryonen in ihrer Entwicklung hinter den Kontrollen zurückgeblieben (Angaben zur Statistik fehlen). Bei den 8 Wochen alten Küken konnten keine Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Küken festgestellt werden.
McRee et al. 1975	2,45 GHz (cw), 30 mW/cm^2 , SAR: 14 mW/g . 6 Versuchsgruppen mit EMF-Exposition nur am 1.; 2.; 3.; 4. oder 5. Brutttag + eine Gruppe mit EMF-Exposition an allen 5 Tagen. Expositionsdauer: jeweils 4 Stunden/Tag. Bruttemperatur während d. Exposition: 24 °C.	Wachteln	Embryonalsterblichkeit, Missbildungen, verschiedene Blutparameter (z.B. Hämoglobin, Leucocyten, Lymphocyten, Hämatokritwert).	Kein Anstieg der Embryonalsterblichkeit (Schlüpfrate: Exponierte: 67,5%; Kontrollen: 64,3%), kein Anstieg der Missbildungsrate. Keine Effekte des EMF auf: Leucocytenanteil, Hämoglobin, Hämatokritwert, Lymphocyten. Die an einigen Untersuchungstagen beobachteten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen liegen innerhalb der bekannten Variabilität.

2.2.2. Untersuchungen an Säugetieren (in vivo)

Es konnten 26 Arbeiten in die vorliegende Studie aufgenommen werden, in denen 9 verschiedene Frequenzen im Bereich zwischen 10 MHz und 36,11 GHz untersucht wurden (Tafel 5). In zwei der Arbeiten wurden die Versuchstiere im UWB- (ultra-wideband) Bereich von 0,1-1,0 GHz (COBB et al. 2000) bzw. im RF- und UHF-Bereich (88,5-950 MHz, MAGRAS & Xenos 1997) getestet. In den vorliegenden Arbeiten werden insgesamt 28 Untersuchungen beschrieben, von denen sich 12 mit möglichen Wirkungen von Feldern im 2,45 GHz-Bereich beschäftigten. In 4 Veröffentlichungen wurden 27,12 MHz-Felder untersucht. Für alle anderen Frequenzbereiche liegen nur Ergebnisse von jeweils einer bzw. zwei Untersuchungen vor.

Frequenzbereich	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
UWB (0,1-1 GHz)	1	15
RF-, UHF-Bereich	1	15
10,00 MHz	2	15
27,12 MHz	4	15
100,0 MHz	1	15
900,0 MHz	1	15
915,0 MHz	2	15
970,0 MHz	1	15
2,45 GHz	12	16
6,00 GHz	2	17
36,11 GHz	1	17

Tafel 5: Teratologische Untersuchungen zum Einfluss von hochfrequenten EMF auf Säugetierembryonen. Untersuchte Frequenzen.

Zusätzlich zu den Embryonen, Föten und Muttertieren wurden in einigen Studien auch die F1- bzw. F2-Generation auf mögliche Einflüsse der applizierten hochfrequenten

Felder untersucht. Die hierbei getesteten biologischen und medizinischen Parameter sind in den Tafeln 6a-6c aufgeführt. Die am häufigsten untersuchten Parameter sind bei den Embryonen bzw. Föten (Tafel 6a) das Auftreten von kongenitalen Missbildungen (22 Untersuchungen), die Anzahl der abgestorbenen Embryonen und Föten (je 20 Untersuchungen) sowie das Körpergewicht der Föten (18 Untersuchungen). Bei Muttertieren, die während der Schwangerschaft einem hochfrequenten Feld ausgesetzt waren, standen histologische Untersuchungen der Ovarien, der Plazenta, des Gehirnes sowie einer Reihe von anderen Organen im Mittelpunkt der Studien (insgesamt 16 Untersuchungen). Weitere Untersuchungsschwerpunkte waren die Fertilität (11 Untersuchungen), die Gewichtszunahme während der Schwangerschaft (9 Untersuchungen) sowie das Körpergewicht (7 Untersuchungen) der Muttertiere (Tafel 6b). Bei den Jungtieren waren ebenfalls histologische Untersuchungen (11 Untersuchungen), das Körpergewicht (7 Untersuchungen) sowie verschiedene Verhaltensmuster die am häufigsten untersuchten Parameter (Tafel 6c).

Bei insgesamt 22 (78,6%) der vorliegenden Untersuchungen (inkl. UWB- & RF-, UHF-Bereich) konnte ein Einfluss des untersuchten Feldes auf zumindest einen der getesteten Parameter festgestellt werden. Nur in 6 (21,4%) Studien waren keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Versuchsgruppen und den Kontrollen nachweisbar (Tab. 15-17). Dieser hohe Anteil relativiert sich jedoch bei einer genauen Betrachtung der einzelnen Untersuchungen

(Tafel 6a-c). An Embryonen bzw. Föten wurden für alle Frequenzbereiche zu den einzelnen biologischen Parametern insgesamt 102 Einzel-Untersuchungen durchgeführt. Dabei konnten nur bei 31 (30,4%) Untersuchungen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Embryonen/Föten und den Kontrollen nachgewiesen werden. In 71 (69,6%) der Untersuchungen ließ sich kein Einfluss der applizierten Felder auf die untersuchten Parameter feststellen (Tafel 6a).

Vergleichbar stellt sich die Situation bei den Untersuchungen mit Muttertieren bzw. der nachfolgenden F1-Generation dar. Hier waren nur bei 13 (19,7%) von 66 Untersuchungen statistisch signifikante Unterschiede zwischen exponierten Tieren und den Kontrollen nachweisbar und bei den Tieren der F1-Generation in 16 (29,1%) von insgesamt 55 Untersuchungen. In einigen Studien wurde zudem auch noch die F2-Generation von exponierten Elterntieren untersucht. Bis auf eine Ausnahme konnten bei diesen Untersuchungen keine eindeutigen Effekte der untersuchten Felder festgestellt werden. Lediglich in einer Studie mit 6 GHz (JENSH 1997, Tab. 17) kam es in der in F2-Generation zu einer Erhöhung der Anzahl an Resorptionen. Zusätzlich war bei diesen Tests in der Gruppe mit vormaliger EMF-Exposition die Größe der Würfe gegenüber den Kontrollen herabgesetzt.

Der am häufigsten untersuchte Parameter bei den Embryonen bzw. Föten war das Auftreten von kongenitalen Missbildungen. Eine statistisch signifikante Zunahme der Missbildungsrate konnte in 6

Untersuchte Parameter	Untersuchungen	EMF-bedingte Einflüsse	keine Effekte
Missbildungen	22	6 (27,3%)	16 (72,7%)
Embryonalsterblichkeit	20	4 (20,0%)	16 (80,0%)
Mortalität der Föten	20	5 (25,0%)	15 (75,0%)
Gewicht der Föten	18	9 (50,0%)	9 (50,0%)
Geschlechterverhältnis	5	0	5
Ossifikation/Skelettbau	4	1 (25,0%)	3 (75,0%)
Embryonalstadien	3	2 (66,7%)	1 (33,3%)
Körpergröße/-länge	3	2 (66,7%)	1 (33,3%)
Histologische Tests:			
Augen, Ohren	1	0	1
Gaumen, Zähne, Zunge	1	0	1
Gehirn	1	0	1
Anzahl der Implantationen	2	1 (50,0%)	1 (50,0%)
Enzymaktivität	1	0	1
Neurochemische Tests	1	1	0

Tafel 6a: An Säugtierembryonen unter dem Einfluß von hochfrequenten Feldern untersuchte medizinische und biologische Parameter.

(27,3%) von insgesamt 22 Untersuchungen festgestellt werden. Dabei waren in 5 dieser Untersuchungen an Ratten die Embryonen bzw. Föten einem 10 MHz-Feld (NELSON et al. 1992; 1994) bzw. einem 27,12 MHz-Feld (DIETZEL 1975, LARY et al. 1982, 1986, Tab. 15) ausgesetzt. In der sechsten Studie an Mäusen (NAWROT et al. 1981, Tab. 16a) wurde ein 2,45 GHz-Feld (cw) untersucht. In allen sechs Studien stieg die Rektaltemperatur der Muttertiere während der Exposition von normalerweise 38 °C auf Werte zwischen 40-43 °C an. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die in diesen Studien festgestellte Zunahme an kongenitalen Missbildungen innerhalb der EMF-exponierten Versuchsgruppen auf thermische Effekte der untersuchten hochfrequenten Felder zurückzuführen ist. Dies gilt auch für die meisten anderen Effekte, die in oben angeführten Veröffentlichungen beschrieben werden. Sowohl der in 4 von 20 Untersuchungen (DIETZEL 1975, CHAZAN et al. 1983, LARY et al. 1986)

festgestellte Anstieg der Embryonalsterblichkeit als auch die erhöhte Anzahl an vorzeitig abgestorbenen Föten in 5 von insgesamt 20 Untersuchungen (DIETZEL 1975, CHAZAN et al. 1983, LARY et al. 1982, 1986), waren in den meisten Studien mit einer deutlich erhöhten Rektaltemperatur bei den exponierten Muttertieren korreliert. Besonders deutlich wird dies bei den Untersuchungen von CHAZAN et al. (1983, Tab. 16a) an Mäusen, bei denen bei einer Leistungsflussdichte von 10 mW/cm² keinerlei Effekte des applizierten 2,45 GHz-Feldes festgestellt wurden. Hingegen konnte bei 40 mW/cm² (Rektaltemperatur ca. 40 °C) ein signifikanter Anstieg der Sterblichkeitsrate bei den exponierten Embryonen und Föten nachgewiesen werden. Dabei konnten die Autoren bei den abgestorbenen Föten Blutungen im Bereich des Abdomens und des Schädels feststellen, ein weiteres Indiz für eine thermische Wirkung des applizierten hochfrequenten Feldes. Lediglich in zwei Studien (BROWN-WOODMAN & HADLEY

1988, MAGRAS & XENOS 1997) konnte kein Zusammenhang zwischen einem thermischen Effekt und dem beobachteten Anstieg der Mortalität hergestellt werden. Allerdings ist die Aussagekraft einer dieser Studien (MAGRAS & XENOS 1997) aufgrund der offenkundlichen Mängel im Versuchsaufbau sowie in der Beschreibung und Darstellung der Ergebnisse als sehr zweifelhaft anzusehen.

Bei den Untersuchungen an Muttertieren sowie den Jungtieren der F1-Generation stehen viele der beschriebenen Effekte ebenfalls im Zusammenhang mit einer während der EMF-Exposition erhöhten Rektaltemperatur (z.B. LARY et al. 1986, CHAZAN et al. 1983, BERMAN et al. 1992, JENSH 1997, Tab. 15-17).

Aufgrund der geringen Anzahl an veröffentlichten und zugänglichen Studien ist eine genauere Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse für die meisten Frequenzbereiche nicht sinnvoll. Lediglich für den Bereich von 2,45 GHz liegen insgesamt 12

Untersuchte Parameter	Untersuchungen	EMF-bedingte Einflüsse	keine Effekte
Histologische Tests:			
Ovarien, Plazenta, Uterus,	6	0	6
Gehirn	5	1 (20,0%)	4 (80,0%)
Innere Organe	5	1 (20,0%)	4 (80,0%)
Fertilität	11	1 (9,1%)	10 (90,9%)
Gewichtszunahme (Tragezeit)	9	1 (11,1%)	8 (88,9%)
Körpergewicht	7	1 (14,3%)	6 (85,7%)
Anzahl der Jungtiere/Wurf	5	1 (20,0%)	4 (80,0%)
Mortalität	5	3 (60,0%)	2 (40,0%)
verschiedene Blutparameter	3	1 (33,3%)	2 (66,6%)
Corpus luteum	2	0	2
Futtermaufnahme	2	0	2
Wasseraufnahme	2	0	2
Anzahl der Würfe/Gruppe	2	1 (50,0%)	1 (50,0%)
Neurochemische Tests	1	1	0
Verhalten (allgemein)	1	1	0

Tafel 6b: An Säugetieren (Muttertiere) unter dem Einfluß von hochfrequenten Feldern untersuchte medizinische und biologische Parameter.

Untersuchte Parameter	Untersuchungen	EMF-bedingte Einflüsse	keine Effekte
Histologische Tests			
Gehirn	7	2 (28,6%)	5 (71,4%)
Innere Organe	3	1 (33,3%)	2 (66,6%)
Ovarien, Hoden, usw.	2	0	2
Körpergewicht	7	4 (57,1%)	3 (42,9%)
Versch. Verhaltensparameter	6	2 (33,3%)	4 (66,7%)
Versch. Blutparameter	4	0	4
Fertilität	4	1 (25,0%)	3 (75,0%)
Öntogenese (allgemein)	4	0	4
Psychophysikalische Tests	4	2 (50,0%)	2 (50,0%)
Geschlechterverhältnis	2	0	2
Gewichtszunahme	2	0	2
Neurochemische Tests	2	2	0
Anfälligkeit f. Infektionen	1	1	0
Immunologische Tests	1	0	1
Knochenbau (Ossifikation)	1	0	1
Missbildungen	1	0	1
Mortalität	1	0	1
Stresssymptome	1	1	0
Toxikologische Tests	1	0	1
Urinproben	1	0	1

Tafel 6c: An Säugetieren (Jungtiere der F1-F2 Generation, pränatal exponiert) unter dem Einfluß von hochfrequenten Feldern untersuchte medizinische und biologische Parameter.

verschiedenen Studien vor, die in der Mehrzahl aus den 80er Jahren stammen. 7 dieser Arbeiten wurden an Mäusen (BERMAN et al. 1978, 1982, 1984, CHAZAN et al. 1983, INOUE et al. 1982, NAWROT et al. 1981, 1985, Tab. 16a) und 5 an Ratten (BERMAN & CARTER 1984, BERMAN et al. 1981, INOUE et al. 1983, JENSH et al. 1983, JENSH 1997, Tab. 16b) durchgeführt. In 10 dieser Studien wurden die Embryonalsterblichkeit, die Anzahl der abgestorbenen Föten und das Auftreten von kongenitalen Missbildungen untersucht. Weitere untersuchte Parameter waren z.B. das Körpergewicht der Föten, der Knochenbau (Ossifikation) und histologische Untersuchungen (Tab. 16a + b). In zwei Studien wurden ausschließlich Jungtiere der F1-Generation sowie deren Muttertiere untersucht (INOUE et al. 1983, BERMAN et al. 1984). Während bei den Untersuchungen an Ratten nur in 2 der 5 Studien bei mindestens einem der untersuchten Parameter ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen EMF-exponierten Embryonen, Föten, Mutter- oder Jungtieren gefunden werden konnte, war dies in 6 der 7 Studien an Mäusen der Fall. Insgesamt beschreiben die Autoren folgende bei Mäusen im 2,45 GHz-Feld beobachteten Effekte: Anstieg der Embryonalsterblichkeit bzw. der Anzahl der abgestorbenen Föten (CHAZAN et al. 1983), ein geringeres Körpergewicht der Föten (BERMAN et al. 1978, BERMAN et al. 1982, NAWROT et al. 1981), geringere Anzahl an Implantationen (NAWROT et al. 1981), erhöhte Anzahl an kongenitalen Missbildung (NAWROT et al. 1981), weniger Schwangerschaften (NAWROT et al. 1981), geringeres Körpergewicht der Jungtiere der F1-Generation (BERMAN et al. 1982, BERMAN et al. 1984),

besondere Anfälligkeit für Infektionen (CHAZAN et al. 1983), geringeres Gewicht des Gehirns (BERMAN et al. 1984). Die bei Ratten festgestellten Effekte waren: geringeres Körpergewicht, verzögerte Ossifikation (BERMAN & CARTER 1984), geringeres Körpergewicht bei der F1-Generation und niedrigere Gewichte von Leber und Gehirn bei den Muttertieren (JENSH 1997). In nahezu allen Fällen führen die Autoren die beschriebenen Effekte auf thermische Wirkungen der untersuchten Felder zurück (z.B. BERMAN et al. 1981).

Betrachtet man sich, unabhängig vom getesteten Frequenzbereich, die Ergebnisse der Untersuchungen aus sämtlichen vorliegenden Arbeiten so zeigt sich, dass insgesamt in 25,4% der Untersuchungen an Ratten und in 29,8% der Untersuchungen an Mäusen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Gruppen (Embryonen, Föten, Muttertiere, Jungtiere) und den Kontrollen nachgewiesen werden konnten. Eine generelle, größere Empfindlichkeit von Mäusen für teratologische Effekte von hochfrequenten Feldern kann man aus dem bisher vorliegenden Datenmaterial deshalb nicht unbedingt ableiten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass über nichtthermische Wirkungen von hochfrequenten Feldern auf die Embryonalentwicklung und Ontogenese von Säugetieren bisher so gut wie keine aussagekräftigen Daten vorliegen. Nahezu alle festgestellten Beeinträchtigungen der Embryogenese und der Ontogenese lassen sich, unabhängig vom untersuchten Frequenzbereich, mit großer Wahrscheinlichkeit auf thermische Effekte zurückführen.

Tabelle 14: Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 10 MHz-1 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Nelson et al. 1991	10 MHz: (cw), SAR: 6,6 W/kg. Durch das applizierte 10 MHz Feld stieg die Rektaltemperatur der exponierten Muttertiere von 38 °C (normal) für 30 min. auf 42 °C. Die Expositionsdauer betrug insgesamt 60 min. In einer zusätzlichen Versuchsreihe wurde den EMF-exponierten Muttertieren eine Dosis von 150 mg/kg 2-Methoxyethanol verabreicht. Die EMF-Exposition sowie die Applikation des 2-Methoxyethanol erfolgten am 13. Tag der Schwangerschaft.	Ratten	<i>Embryonen:</i> Mortalität. <i>Föten:</i> Geschlechterverhältnis, Gewicht, Missbildungen (Skelett, Organe). Die Föten wurden am 20. Tag der Embryonalentwicklung untersucht. <i>Muttertiere:</i> Fertilität, Mortalität, Futter- und Wasseraufnahme, Gewichtszunahme.	In der EMF-exponierten Gruppe (ohne 2-Methoxyethanol) waren 30% der Föten aus 56 % der Würfe missgebildet. Wurde das 2-Methoxyethanol ohne das 10 MHz-Feld appliziert, waren 14 % der Föten aus 58 % der Würfe missgebildet. Wurde das 10 MHz-Feld zusammen mit 150 mg 2-Methoxyethanol appliziert, so konnten bei 76 % der Föten aus allen exponierten Würfen Missbildungen festgestellt werden. Bei den Kontrollen konnten keine Missbildungen nachgewiesen werden. Bei allen anderen untersuchten Parametern sowie bei den untersuchten Muttertieren konnten keine Effekte des untersuchten 10 MHz-Feldes (mit bzw. ohne 2-Methoxyethanol) beobachtet werden.
Nelson et al. 1994	10 MHz, (cw), SAR: 5,3 – 6,6 W/kg, Durch das applizierte 10 MHz Feld stieg die Rektaltemperatur der exponierten Muttertiere von 38 °C für 10; 20 oder 30 min. auf 42 °C. Die Expositionsdauer lag in den verschiedenen Testreihen bei 30; 40; 50 oder 60 min. In weiteren Tests wurde den EMF-exponierten Muttertieren zusätzlich eine bestimmte Dosis 2-Methoxyethanol (75; 100; 125 oder 150 mg/kg) verabreicht. Die Behandlung bzw. EMF-Exposition der Muttertiere erfolgte am 9. bzw. am 13. Tag der Schwangerschaft.	Ratten	<i>Embryonen:</i> Mortalität. <i>Föten:</i> Geschlechterverhältnis, Gewicht, Missbildungen (Skelett, Organe). Die Föten wurden am 20. Tag der Embryonalentwicklung untersucht. <i>Muttertiere:</i> Fertilität, Mortalität, allgemeines Verhalten, Gewichtszunahme.	<i>Föten:</i> Unabhängig von der Applikation von 2-Methoxyethanol führte die EMF-Exposition (30 min bei 42 °C) am 9. Tag der Embryonalentwicklung zu einem Anstieg der Missbildungsrate (Vorder-, Hinterextremitäten, Schwanz). Zusätzlich hatten die EMF-exponierten Föten ein geringeres Körpergewicht als die Kontrollen. Wurde das 10 MHz-Feld am 13. Tag der Embryonalentwicklung (gleichzeitig mit 2-Methoxyethanol) appliziert, konnte eine Zunahme an Missbildungen der Vorder- bzw. Hinterextremitäten festgestellt werden. Zusätzlich war das Gewicht der so behandelten Föten geringer als das der Kontrollen. Alle Unterschiede zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Föten waren statistisch signifikant. <i>Muttertiere:</i> 20 % der EMF-exponierten Tiere, deren Rektaltemperatur für 30 min. auf 42 °C erhöht war, starben 1-2 Tage nach der Exposition. Zusätzlich konnten kurzzeitige Effekte, z.B. Lethargie, beobachtet werden.
Brown-Woodman & Hadley 1988	27,12 MHz: Pulsrate/SAR/Expositionsdauer: 10 Hz/2,8 W/kg/60 min. 20 Hz/4,2 W/kg/45 min. 30 Hz/5,6 W/kg/30 min. 15 Hz/keine Angabe/60 min. 26 Hz/keine Angabe/45 min. 35 Hz/keine Angabe/ 30 min. EMF-Exposition am 9. Tag der Schwangerschaft.	Ratten	<i>Embryonen:</i> Mortalität <i>Föten:</i> Gewicht, Missbildungen. Die Föten wurden am 20. Tag der Embryonalentwicklung entnommen und untersucht. <i>Muttertiere:</i> Fertilität.	Bei einer Pulsrate von 10 Hz und einer Expositionsdauer von 60 min. war in der EMF-exponierten Gruppe der Anteil an abgestorbenen (resorbierten) Embryonen (20,4 %) gegenüber den Kontrollen (7,4 %) erhöht (keine Angaben zur Statistik). Bei keinem der übrigen untersuchten Parameter konnte ein Einfluss des untersuchten 27,12 MHz-Feldes festgestellt werden.

Tabelle 14 (Fortsetzung): Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 10 MHz-1 GHz)

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Dietzel (1975)	27,12 MHz (cw), Drei Testgruppen (55; 70 & 100 W) Die EMF-Exposition dauerte 5 bzw. 10 min. Bei 55 W (5 min.) wurde eine Rektaltemperatur von 39 °C (normal = 38 °C) gemessen, bei 75 W (10 min.) 40,5 °C und bei 100 W (10 min) 42 °C. Die Tiere wurden zwischen dem 1. und 16. Tag der Embryonalentwicklung dem EMF ausgesetzt. Insgesamt sind die Parameter der EMF-Exposition nur sehr ungenau erklärt!	Ratten	Embryonen: Resorptionen, Implantationen Föten (20 Tage alt): Missbildungen, Mortalität.	<i>Embryonen (Blastocysten):</i> In den EMF-exponierten Gruppen war die Anzahl der vor bzw. nach der Implantation abgestorbenen Embryonen gegenüber den Kontrollen erhöht. <i>Föten:</i> In den EMF-exponierten Gruppen konnte ein Anstieg der Mortalitätsrate beobachtet werden. Zusätzlich war die Missbildungsrate gegenüber den Kontrollen erhöht: Kontrollen: 0, 26%; 55 W: 0,27%, 70 W: 12,4% und 100 W: 46,1%. Es finden sich keine Angaben über eine statistische Bearbeitung der Ergebnisse. Der Autor macht eine herabgesetzte DNA-Syntheserate für die beobachteten Effekte verantwortlich.
Lary et al. 1982	27, 12 MHz (elektrisches Feld: 300 V/m; magnetisches Feld: 55 A/m) SAR: 11-12,5 W/kg. 8 Versuchsgruppen: Exposition am 1.; 3.; 5.; 7.; 9.; 11.; 13. oder 15. Tag der Embryonalentwicklung für 20-40 min. bis zum Erreichen einer Rektaltemperatur von 43,0 °C.	Ratten	Embryonen: Implantationen, Resorptionen Föten: Mortalität, Missbildungen, Gewicht, Geschlechterverhältnis, Körpergröße. Muttertiere: Corpus luteum, Mortalität.	Eine EMF-Exposition am 1., 3. oder 5. Tag der Embryonalentwicklung hatte keinen Einfluss auf die Mortalität d. Föten bzw. Embryonen (vor d. Implantation). Wurde d. 27,12 MHz-Feld am 7. (2,9%) oder am 9. Tag (49%) der Embryonalentwicklung appliziert, war die Anzahl der abgestorbenen EMF-exponierten Föten (29 & 49%) gegenüber den Kontrollen (12 & 6%) und den scheinexponierten Föten (22 & 16%) statistisch signifikant erhöht. Die EMF-Exposition am 11., 13. bzw. 15. Tag führte zu keiner statistisch signifikanten Erhöhung der Sterblichkeitsrate. Sowohl die Körpergröße (EMF am 1.-15. Tag) als auch das Gewicht (EMF am 7.-15. Tag) lagen unter den Werten der Kontrollen bzw. Scheinexponierten (statistisch signifikant). In allen Testreihen war die Missbildungsrate (Extremitäten, Knochenbau, Innere Organe usw.) bei den EMF-exponierten Embryonen bzw. Föten gegenüber den Kontrollen und Scheinexponierten statistisch signifikant erhöht. Dabei stieg die Missbildungsrate in den EMF-exponierten Gruppen, je nachdem an welchen Tagen das EMF appliziert wurde, bis auf 87-94% (Kontrollen 0-24%). 26 (11%) der EMF-exponierten Muttertiere starben während bzw. kurz nach der EMF-Exposition. Bei den Kontrollen bzw. den scheinexponierten Muttertieren waren keine Todesfälle zu verzeichnen
Lary et al. 1986	27, 12 MHz , SAR: 10,8 (±0,3) W/kg. Magnetfeld: 55 A/m; elektrisches Feld: 300 V/m. Exposition am 9. Tag der Embryonalentwicklung für 10-40 min. (je nach beabsichtigter Rektaltemperatur). Es wurden folgende Rektaltemperaturen bei den Muttertieren gemessen: 41 °C; 41,5 °C; 42 °C; 42,5 °C bzw. 43 °C. Normal sind 38 °C.	Ratten	Embryonen: (Resorptionen, Implantationen. Föten: (20. Tag der Embryonalentwicklung): Mortalität, Missbildungen. Muttertiere: Mortalität.	Ab einer Rektaltemperatur von 41, °C konnte ein Anstieg der Sterblichkeitsrate (Embryonen/Föten) und der Anzahl an Missbildungen festgestellt werden. Bei 43 °C starben einige der Muttertiere. Die Ergebnisse waren denen der Studie von Lary et al. 1982 (s.o.) vergleichbar.

Tabelle 14 (Fortsetzung): Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 10 MHz-1 GHz)

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Smialowicz et al. 1981	100 MHz (cw), Leistungsflussdichte: 46 mW/cm ² SAR: 2,8 mW/g (\pm 1,5). Exposition: 4 h/Tag ab dem 6. Tag der Embryonalentwicklung. Die Muttertiere sowie ihr Nachwuchs wurden bis zum 97. Lebenstag der F1-Generation befledet.	Ratten	Gewichtszunahme der Muttertiere während der Tragezeit. Verschiedene Tests zur postnatalen Entwicklung der Jungtiere (Augenöffnen, Muskelreflexe, lokomotorische Aktivität) am 35. und 84. Tag. Verschiedene Blutparameter: z.B. Lymphocyten, Erythrocyten, Leukocyten, Hämatokritwert, Hämoglobin bei 22 und 42 Tage alten Ratten der F1-Generation. Verschiedene immunologische und toxikologische (Mitose, Mutagenität, Antikörper). Neurochemische Untersuchungen an 22, 40 und 97 Tage alte Ratten (Striatum, Cerebellum Hippocampus, Cortex, Hypothalamus, Medulla, Mesencephalon).	Bei 22 Tage (Striatum, Medulla) und 40 Tage (Mesencephalon) alten Ratten (EMF-Exposition pränatal) war die Acetylcholinesterase-Aktivität vorübergehend geringer als die der Kontrollen (kein Effekt am 97. Tag). Der Unterschied war statistisch signifikant. Die exponierten Jungtiere öffneten ihre Augen früher als die Kontrollen. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Tieren und den Kontrollen festgestellt werden.
Bornhausen & Schein-gräber 2000	900 MHz (217 Hz), Leistungsflussdichte: 0,1 mW/cm ² . SAR: 17,5 – 75 mW/kg Expositionsdauer: 1.-20. Tag der Embryonalentwicklung.	Ratten	Verhaltenstests an Ratten nach pränataler EMF-Exposition. 2 Verhaltenstests in der „Skinner-Box“: 1. „Differential Reinforcement of High Rate“ (DRH) = Der Test erfordert v. d. Versuchstieren eine hohe Hebelrate. 2. „Differential Reinforcement of Low Rate (DRL) = Test erfordert eine niedrige Hebelrate. In beiden Testverfahren werden die Tiere mit Futter belohnt. Zusätzlich zu den Verhaltensversuchen wurden noch folgende Parameter ausgewertet: Anzahl der Jungen pro Wurf, Entwicklung der Körpergewichte bei Jung- und Altieren.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein Einfluss des untersuchten 900 MHz-Feldes nachgewiesen werden.
Jensh et al. 1982	915 MHz , Leistungsflussdichte: 10 mW/cm ² , SAR: 3,57 W/kg. Exposition: 6h/Tag, 1.-21. Tag der Embryonalentwicklung.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen, Gewicht (22. Tag der Embryonalentwicklung). Muttertiere: histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Plazenta, Ovarien, Körpergewicht.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Embryonen, Föten und Muttertieren festgestellt werden.
Jensh 1997	915 MHz (cw), Leistungsflussdichten: 10; 20; 30 mW/cm ² . Exposition: 6h/Tag, 1.-21. Tag d. Schwangerschaft. Zusätzliche Tests mit 2,45 & 6,0 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen, Gewicht (22. Tag der Embryonalentwicklung). F1-Generation: Ontogenese, Verhalten, Fertilität, histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Ovarien bzw. Hoden am 100. Tag. Psychophysisalische Tests: u.a. negative Geotaxis, Reflexe, Schwimmen, lokomotorische Aktivität., Blutparameter (s. unten). F2-Generation: teratologische Untersuchungen (z.B. Gewicht, Größe der Würfe, Missbildungen) Muttertiere: histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Plazenta, Ovarien, Körpergewicht, Fertilität, Blutparameter: Leukozyten, Erythrocyten, Lymphocyten, Monocyten Hämoglobin, Hämatokritwert.	Das Körpergewicht der EMF-exponierten F1-Generation lag über dem der Kontrollen (statistisch signifikant). Weiterhin konnten statistisch signifikante Unterschiede bei einigen Verhaltenstests (Reflexe) beobachtet werden. Bei allen anderen untersuchten Parametern waren keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EMF-exponierten Föten bzw. Jungtieren und Kontrollen nachweisbar. Die Arbeit ist zum größten Teil ein Review früherer Studien des Autors.

Tabelle 14 (Fortsetzung): Säugtierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 10 MHz-1 GHz)

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Berman et al. 1992	970 MHz , SAR Werte: 0,07; 2,4 & 4,8 W/kg. Exposition: 22h/Tag; 1.-19. Tag der Embryonalentwicklung.	Ratten	Embryonen/Föten: Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen), Anzahl der abgestorbenen und lebenden Föten, Gewicht der Föten, Knochenbau (Ossifikation der Brust-, beinknochen), Missbildungen. Muttertiere : Körpergewicht, Fertilität, Anzahl und Größe der Würfe, Corpus luteum, Gewichtszunahme.	SAR 4,8 W/kg: Die EMF-exponierten Muttertiere hatten eine geringere Gewichtszunahme während der Versuche zu verzeichnen als die Kontrollen im gleichen Zeitraum. Das Gewicht der EMF-exponierten Föten lag 12% unter dem der Kontrollen. Beide Unterschiede waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede gefunden werden. Bei den Tests mit 0,07 & 2,4 W/kg konnten keinerlei statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Die bei 4,8 W/kg beobachteten Unterschiede werden auf eine EMF-bedingte Hyperthermie zurückgeführt.
Magras & Xenos 1997	Verschiedene Frequenzen im RF- und UHF-Bereich (88,5 – 950 MHz) mit Leistungsflussdichten v. 168 – 1053 nW/cm ² . SAR-Wert: 1,935 mW/kg. Exposition konstant über die gesamte Versuchsdauer.	Mäuse	Embryonen : Mortalität. Föten : Mortalität, Missbildungen, Körpergröße, Körpergewicht, Skelettbau (Ossifikation). Muttertiere : Anzahl der Würfe & Jungtiere.	In den EMF-exponierten Versuchsgruppen war die Anzahl der Würfe sowie die der lebenden Föten und Jungtiere geringer als in der Kontrollgruppe. Bei allen anderen Parametern konnte kein EMF-bedingter Einfluss nachgewiesen werden. Anmerkung: die Datenpräsentation ist sehr unzulänglich. Angaben zur Statistik fehlen völlig.
Cobb et al. 2000	UWB (Ultra-wideband), 0,1-1 GHz , SAR: 45 mW/kg (kalkuliert f. Ganz-Körper), Absorptionsrate per Puls: 0,45 mJ/kg. Elektrisches Feld: 55 kV/m, Anstiegsdauer eines Pulses: 300 ps, Pulsdauer: 1,8 ns, Pulsrate: 1000 pps. Dauer der Exposition: 2 min., vom 3.-18. Tag der Embryonalentwicklung sowie in einer Gruppe zusätzlich vom 1.-10. Tag postnatal. Positivkontrolle mit Applikation von Bleiacetat (2 g/l vom 3.-18. Tag pränatal).	Ratten	Muttertiere : Körpergewicht, Wasserverbrauch, Fertilität, Anzahl der Jungtiere, Mortalität. F1-Generation : Verlauf der Juvenilentwicklung, histologische Untersuchungen des Hippocampus, verschiedene Verhaltensparameter (lokomotorische Aktivität, Morris Water-Maze-Test, Nahrungsaufnahme), Körpergewicht bei der Geburt, Gewichtszunahme, Fertilität der männlichen Tiere. Missbildungen bei der F2-Generation, Ultraschalllaute (als Folge von Stress), Geschlechterverhältnis.	Bei den UWB-exponierten Tieren der F1-Generation konnten die folgenden, statistisch signifikanten Unterschiede zu den UWB-exponierten Kontrollen festgestellt werden: Die UWB-exponierten Tiere gaben mehr (stressbedingte) Ultraschalllaute von sich, hatten einen größeren (medial nach lateral) Hippocampus als die Kontrollen. Zudem wurde bei den UWB-exponierten Männchen (F1-Generation) eine geringere Verpaarungsrate beobachtet. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und UWB-exponierten Tieren festgestellt werden.

Tabelle 15a: Säugtierembryonen (Mäuse): Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (2,45 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Berman et al. 1978	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichten: 3,4; 13,6 & 14 mW/cm ² . SAR Wert: 2,1; 8,1; 8,3 & 22,2 W/kg. Expositionsdauer: 100 min./Tag, 1. – 17. Tag der Embryonalentwicklung. Versuche mit 28 mW/cm ² vom 6. – 15. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	Embryonen: Mortalität. Föten: Mortalität, Missbildungen, Gewicht (am 18. Tag der Embryonalentwicklung).	Bei einer Exposition mit einem SAR-Wert von 22 W/kg war das Körpergewicht der EMF-exponierten Föten geringer als das der Kontrollen. Der Unterschied war statistisch signifikant. Bei allen anderen Untersuchungen konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen bzw. Föten gefunden werden. Insgesamt betrachtet war bei den exponierten Föten die Anzahl an Missbildungen des Kopfes (Kraniochisis) statistisch signifikant erhöht (alle Daten zusammengefasst).
Berman et al. 1982	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 28 mW/cm ² , Expositionsdauer: 100 min./Tag; vom 6. – 17. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	Embryonen: Mortalität. Föten: Mortalität, Missbildungen, Knochenbau (Ossifikation), FI-Generation: Körpergewicht v. 7 Tage alten Jungtieren, Mortalität.	Sowohl bei den EMF-exponierten Föten (am 18. Tag der Embryonalentwicklung) als auch bei der EMF-exponierten (pränatal) F1-Generation konnte ein im Vergleich zu den Kontrollen geringeres Körpergewicht festgestellt werden. Die Unterschiede waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.
Berman et al. 1984	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 28 mW/cm ² ; SAR: 16,5 W/kg. Expositionsdauer: 100 min./Tag, vom 6.-15. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	Jungtiere (1; 5; 10; 12; 15 & 17 Tage alt) nach pränataler Exposition: Körpergewicht, Urin, Entwicklung von Gehirn sowie Knochenbau.	Bei den 1 Tag alten Jungtieren der EMF-exponierten Gruppe lag das Körpergewicht statistisch signifikant unter dem der scheinexponierten Kontrollen. Die Gehirne von 10, 12 und 17 Tage alten EMF-exponierten (pränatal) Jungtieren hatten im Vergleich zu denen der Kontrollen ein geringeres Gewicht. Die Unterschiede waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.
Chazan et al. 1983	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichten: 10 & 40 mW/cm ² . SAR: 4-5 bzw. 16-18 W/kg. Expositionsdauer: 2 h/Tag, vom 1.-7.; 8.-18. bzw. 1.-18. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Implantationen, Resorptionen). Föten: Sterblichkeit, Missbildungen FI-Generation: Widerstandsfähigkeit gegenüber Infektionen.	Bei einer Exposition mit einer Leistungsflussdichte von 40 mW/cm ² (Rektaltemperatur der Muttertiere um ca. 2 °C erhöht) konnte ein Anstieg der Embryonal- bzw. Fetalsterblichkeit festgestellt werden. Bei den EMF-exponierten Föten wurden Blutungen im Abdomen sowie im Schädel beobachtet. Die Jungtiere der F1-Generation waren nach einer pränatalen EMF-Exposition anfälliger gegenüber viralen oder bakteriellen Infektionen. Alle Unterschiede gegenüber den Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei den Untersuchungen mit 10 mW/cm ² konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EMF-Exponierten und Kontrollen festgestellt werden.
Inouye et al. 1982	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichten: 9 & 19 mW/cm ² . SAR: 11,7 & 24,7 W/kg. Exposition für 3 h am 2. o. 3. Tag der Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit Hitzestress (Halftung der Muttertiere bei 38 °C).	Mäuse	Embryonalsterblichkeit, Embryonalstadien und Missbildungen bei 4 Tage alten Embryonen.	Es konnten keine statistisch signifikant absicherbaren Effekte der untersuchten 2,45 GHz-Felder (9 & 19 mW/cm ²) nachgewiesen werden.

Tabelle 15a (Fortsetzung). Säugetierembryonen (Mäuse): Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (2,45 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Nawrot et al. 1981	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichten: 5; 2,1; und 30 mW/cm ² . SAR: 6,7; 28,14 bzw. 40,2 W/kg. Expositionsdauer: 5 mW/cm ² : 8 h/Tag vom 1.-15. Tag der Embryonalentwicklung. 21 & 30 mW/cm ² : 8 h/Tag vom 1.-6. bzw. 6.-15. Tag der Embryonalentwicklung. Bei 21 bzw. 30 mW/cm ² stieg die Rektal- temperatur der exponierten Tiere um 1 bzw. 2,3 °C.	Mäuse	<i>Embryonen</i> : Anzahl der Implantationen, Mortalität (Resorptionen). <i>Föten (18 Tage alt)</i> : Anzahl der lebenden bzw. abgestorbenen Föten, Geschlecht, Gewicht, Missbildungen. <i>Muttertiere</i> : Gewichtszunahme während der Schwangerschaft.	Bei einer Exposition mit einer Leistungsflussdichte von 30 mW/cm ² vom 1.-6. Tag der Embryonalentwicklung war die Anzahl der Implantationen in der EMF-exponierten Gruppe gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant herabgesetzt. Zusätzlich waren die EMF-exponierten Föten leichter (statistisch signifikant) als die Kontrollen. Eine EMF- Exposition vom 6-15. Tag der Embryonalentwicklung (mit 30 mW/cm ²) führte in der EMF-exponierten Gruppe zu einem statistisch signifikanten Anstieg an Missbildungen (über- wiegend Gaumenspalten). Bei allen anderen Tests konnten keine statistisch signifikant absicherbaren Effekte der untersuchten 2,45 GHz-Felder nachgewiesen werden.
Nawrot et al. 1985	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 30 mW/cm ² , SAR: 40,2 W/kg. Expositionsdauer: 8 h/Tag vom 1.-6. bzw. 6.-15. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	<i>Embryonen</i> : Anzahl der Implantationen, Mortalität (Resorptionen). <i>Föten (18 Tage alt)</i> : Anzahl der lebenden bzw. abgestorbenen Föten, Geschlecht, Gewicht, Missbildungen (Knochenbau, innere Organe), Cholinesterase-Aktivität im Gehirn, histologische Untersuchungen des Gehirns, der Zunge, Zähne, Augen, Ohren und des Gaumens. <i>Muttertiere</i> : Gewichtszunahme während der Schwangerschaft, Anzahl der Schwangerschaften.	Bei den weiblichen Tieren, die während der ersten 6 Tage dem 2,45 GHz-Feld ausgesetzt waren, konnte im Ver- gleich zu den Tieren der Kontrollgruppe ein geringerer Prozentsatz an Schwangerschaften festgestellt werden. Der Unterschied gegenüber den Kontrollen war statistisch signifikant. Bei allen anderen Untersuchungen konnten keine statistisch signifikant absicherbare Effekte des untersuchten 2,45 GHz- Feldes nachgewiesen werden.

Tabelle 15b: Säugerembryonen (Ratten): Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (2,45 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Berman & Carter 1984	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 40 mW/cm ² . SAR Wert: 2 & 4 W/kg. Expositionsdauer: 100 min/Tag, 6.-15. Tag der Embryonalentwicklung.	Ratten	Föten: Anzahl der lebenden bzw. abgestorbenen Föten, Missbildungen, Knochenbau (Ossifikation), Gewicht. Muttertiere: Fertilität.	Die Föten der EMF-exponierten Gruppe waren um 9% leichter als die der Kontrollgruppe. Die Ossifikation im Brustbereich war bei den EMF-exponierten Föten im Vergleich zu den Kontrollen weniger weit fortgeschritten. Beide Unterschiede waren statistisch signifikant. Durch das 2,45 GHz-Feld stieg während der Exposition die Temperatur im Dickdarm der Tiere um 2 °C auf ca. 40 °C. Die beobachteten Veränderungen werden einem thermischen Effekt des untersuchten 2,45 GHz-Feldes zugeschrieben.
Berman et al. 1981	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 28 mW/cm ² , SAR: 4,2 W/kg, Expositionsdauer: 100min/Tag vom 6.-15. Tag der Embryonalentwicklung.	Ratten	Föten: Mortalität, Missbildungen (Extremitäten, Eingeweide, Skelett), Körpergewicht. Muttertiere: Schwangerschaftsrate.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen EMF-exponierten Föten und den Kontrollen nachgewiesen werden.
Inouye et al. 1983	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 10,34 mW/cm ² , Ratten SAR (Muttertiere): 1,76 W/kg. SAR Gehirn: 2 Tage alte Tiere: 13,95 W/kg. 15 Tage: 19,18 W/kg. 20 Tage: 10,05 W/kg. 30 Tage: 9,72 W/kg. 40 Tage: 9,52 W/kg. Expositionsdauer: 3 h/Tag, vom 4.-21. Tag der Embryonalentwicklung sowie vom 2.-40. Lebenstag (postnatal).	Ratten	Jungtiere (postnatal) Gehirn: Gewicht und Größe, Histologische Untersuchungen des Cerebellums, Missbildungen, Körpergewicht, Geschlechterverhältnis. Muttertiere: Anzahl der Schwangerschaften, Anzahl der Jungtiere pro Wurf.	Es konnten keine statistisch signifikant absicherbaren Effekte des untersuchten 2,45 GHz-Feldes nachgewiesen werden.
Jensh et al. 1983	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 20 mW/cm ² . SAR: 2-4 W/kg. Expositionsdauer: 6 h/Tag während der gesamten Embryonalentwicklung. Die Muttertiere wurden am Tag der Entbindung abgetötet und ebenso wie die Föten untersucht.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Mortalität, Gewicht, Missbildungen. Muttertiere: Gewichtszunahme während der Schwangerschaft, Gewicht v. Leber, Gehirn, Nieren und Ovarien.	Bei keinem der untersuchten Parameter konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen/Föten bzw. Muttertieren nachgewiesen werden.
Jensh 1997	2,45 GHz (cw), Leistungsflussdichten: 10, 20; 30 mW/cm ² Exposition: 6h/Tag, 1.-21. Tag der Embryonalentwicklung. Weitere Tests mit 915 MHz & 6,0 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Ratten	Embryonen: Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). Föten: Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen, Gewicht (22. Tag der Embryonalentwicklung). F1-Generation: Ontogenese, Verhalten, Fertilität, histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Ovarien bzw. Hoden am 100. Tag. Psychophysikalische Tests: u.a. negative Geotaxis, Reflexe, Schwimmen, lokomotorische Aktivität, Blutparameter (s. unten), Gewicht. F2-Generation: teratologische Untersuchungen. (z.B. Gewicht, Größe der Würfe, Missbildungen) Muttertiere: histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Plazenta, Ovarien, Körpergewicht, Fertilität, Blutparameter: Leukocyten, Erythrocyten, Lymphocyten, Monocyten Hämoglobin, Hämatokritwert.	Das Körpergewicht der EMF-exponierten F1-Generation lag in den ersten 8 Lebenswochen über denen der Kontrollen. Der Unterschied war statistisch signifikant. Bei den EMF-exponierten Muttertieren war das Gewicht der Leber gegenüber dem der Kontrolltiere erhöht. Der Unterschied war statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Föten bzw. Jungtieren und den Kontrollen nachgewiesen werden. Die Arbeit ist zum größten Teil ein Review früherer Studien des Autors.

Tabelle 16: Säugerierembryonen: Untersuchungen (in vivo) zum Einfluss von hochfrequenten EMF (Frequenzbereich: 6 - 40 GHz) auf die Embryonalentwicklung.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Jensh 1984	6,0 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 35 mW/cm ² . SAR: 7 W/kg. Exposition: 8h/Tag, von 1.-22 Tag der Embryonalentwicklung	Ratten	<i>Embryonen:</i> Embryonalsterblichkeit, (Implantationen, Resorptionen). <i>Föten:</i> Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen, Gewicht und Entwicklungsstadium. <i>Muttertiere:</i> Körpergewicht; Gewicht versch. Organe (Gehirn, Leber, Nieren; Ovarien), Blutproben (Hämatokrit; Hämoglobin; Leukozyten, Monocyten).	<i>Föten:</i> Verzögertes Wachstum bei den EMF-exponierten Föten. Der Unterschied zu den Kontrollen war statistisch signifikant. <i>Muttertiere:</i> Die Anzahl der Monocyten war bei den EMF-exponierten Tieren im Vergleich zu den Kontrollen geringer. Der Unterschied war statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Föten bzw. Muttertieren nachgewiesen werden.
Jensh 1997	6,0 GHz (cw), Leistungsflussdichten: 10; 20; 30 mW/cm ² . Exposition: 6h/Tag, 1.-21. Tag der Embryonalentwicklung. Zusätzliche Tests mit 915 MHz & 2,45 GHz. S. entsprechende Tabellen.	Ratten	<i>Embryonen:</i> Embryonalsterblichkeit (Resorptionen, Implantationen). <i>Föten:</i> Anzahl der abgestorbenen Föten, Missbildungen, Gewicht (22. Tag der Embryonalentwicklung) Entwicklungsstadien. <i>F1-Generation:</i> Ontogenese, Verhalten, Fertilität, histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Ovarien bzw. Hoden am 100. Tag. Psychophysikalische Tests: u.a. negative Geotaxis, Reflexe, Schwimmen, lokomotorische Aktivität., Blutparameter (s. unten). <i>F2-Generation:</i> teratologische Untersuchungen (z.B. Gewicht, Größe der Würfe, Missbildungen) <i>Muttertiere:</i> histologische Untersuchungen an Gehirn, Leber, Nieren, Plazenta, Ovarien, Körpergewicht, Fertilität, Blutparameter: Leukozyten, Erythrocyten, Lymphocyten, Monocyten Hämoglobin, Hämatokritwert.	<i>Föten:</i> Verzögertes Wachstum bei den EMF-exponierten Föten. Der Unterschied zu den Kontrollen war statistisch signifikant. <i>F1-Generation:</i> Statistisch signifikante Unterschiede bei einigen psychophysikalischen Untersuchungen sowie den Gewichtsverhältnissen einiger Organen zwischen EMF-exponierten Tieren und den Kontrollen. <i>Muttertiere:</i> Die Anzahl der Monocyten war bei den EMF-exponierten Tieren geringer als die der Kontrollen. Der Unterschied war statistisch signifikant. Zudem wurden bei den Gewichtsverhältnissen von Gehirn, Leber und Nieren statistisch signifikante Unterschiede zu nicht-exponierten Tieren gefunden. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Föten bzw. Muttertieren nachgewiesen werden. Bei dieser Arbeit handelt es sich zum größten Teil um eine Zusammenfassung früherer Arbeiten des Autors.
Zhao et al. 1997	36,11 GHz (cw), Leistungsflussdichte: 10 mW/cm ² . Exposition: 2h/Tag, vom 6.-15. Tag der Embryonalentwicklung.	Mäuse	<i>Föten:</i> Körpergröße (Geburt), Geburtsgewicht, <i>F1-Generation:</i> Entwicklung des Körpergewichtes, verschiedene Verhaltensmuster bzw. Reflexe. <i>Muttertiere:</i> Gewichtszunahme während der Schwangerschaft, Körpergewicht, Gewicht der Plazenta. <i>Föten/F1-Generation/Muttertiere:</i> verschiedene neurochemische Untersuchungen (postnatal) im Gehirn: Anzahl M-cholinergischer Rezeptoren (M-R), Konzentration von Arginin-Vasopressin (AVP), und Somatostatin (SS) im Hypothalamus und der Hypophyse, DOPAC (3,4 dihydroxyphenyllessigsäure, Dopamin (DA), HVA (Homovanillinsäure).	<i>Föten:</i> Die Körpergröße und das Körpergewicht der EMF-exponierten Föten lagen am Tag der Geburt unter dem der Kontrollen. <i>F1-Generation:</i> Das Körpergewicht der pränatal EMF-exponierten Jungtiere lag in den ersten acht Lebenswochen unter dem der Kontrollen. Zusätzlich konnten bei diesen Tieren Beeinträchtigungen bei einigen Verhaltensmustern beobachtet werden. <i>Muttertiere:</i> Sowohl die Gewichtszunahme während der Tragezeit als auch das Körpergewicht zum Zeitpunkt der Geburt waren bei den EMF-exponierten Muttertieren geringer als in der Kontrollgruppe. <i>Neurochemische Untersuchungen:</i> Die Konzentration von AVP (Hypophyse v. Föten; Hypothalamus d. F1-Generation) DOPAC (Gehirn d. F1-Generation) war bei den EMF-exponierten Tieren gegenüber den Kontrollen herabgesetzt. Hingegen waren die Konzentrationen von SS (Hypophyse und Hypothalamus von Föten und F1-Generation), M-R (Hippocampus d. F1-Generation) & HVA (Gehirn d. Muttertiere) gegenüber den Kontrollen erhöht. Bei dieser Arbeit handelt es sich um ein Kongress-Abstract, genauere Angaben zu den Daten bzw. der Statistik liegen nicht vor.

2.3. Vertebraten und Evertbraten: Embryonalentwicklung (in vitro) und Gewebewachstum unter dem Einfluß elektromagnetischer Felder

2.3.1. Magnetfelder

Die in diesem Kapitel vorgestellten Studien beschäftigen sich mit den Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf sehr frühe Embryonalstadien. Untersucht wurde der zeitliche Ablauf der ersten beiden Zellteilungsphasen nach der Befruchtung sowie bei Embryonen bis zum Morula bzw. Blastulastadium. Weitere Untersuchungsparameter waren die Fertilität (Sperma), Missbildungen, embryonale Anomalien (Detektion durch Reportergene) sowie die Histonsynthese. Als Versuchstiere dienten Seeigelembryonen, Fruchtfliegen, Zebrafischembryonen, Mäuseembryonen sowie Planarien.

Die 8 Arbeiten, die in die vorliegende Studie aufgenommen wurden,

untersuchten in insgesamt 18 Untersuchungen Magnetfelder im Bereich von 25 Hz - 6 kHz sowie statische Felder (Tafel 7).

Für die meisten Frequenzen wurden jeweils nur eine Untersuchung durchgeführt (Tafel 7). Eine Ausnahme bilden die 60 Hz-Magnetfelder, für die Ergebnisse aus 6 Untersuchungen vorliegen. Drei dieser Untersuchungen (ZIMMERMANN et al. 1990, CAMERON et al. 1993, LEVIN & ERNST 1995) wurden an Eiern des Seeigels *Strongylocentrotus purpuratus* vorgenommen. In einer Studie (CAMERON et al. 1993) wurden Mäuseembryonen für 48 Stunden kultiviert und einem 60 Hz-Magnetfeld ausgesetzt. Die beiden übrigen Studien untersuchten den Einfluß von verschiedenen 60 Hz-Magnetfeldern auf das Gewebewachstum bei Planarien (*Dugesia tigrina*).

Sowohl bei den Seeigelembryonen als auch bei den Mäuseembryonen konnte unter dem Einfluß der 60 Hz-Felder ein verzögerter Ablauf der frühen Embryonalstadien (Morula Blastula) sowie der Zellteilungsrate festgestellt werden (ZIMMERMANN et al. 1990, CAMERON et al. 1993, LEVIN & ERNST 1995, Tab. 17). Zusätzlich war

bei einer Untersuchung die Histonsynthese der exponierten Embryonen herabgesetzt (CAMERON et al. 1993).

Auch bei den beiden Studien an Planarien (JENROW et al. 1995, 1996) konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Tieren gefunden werden. In diesen Versuchen wurde die Regenerationsfähigkeit der Planarien als biologischer Parameter herangezogen. Die Tiere wurden zunächst durch einen Einschnitt im Kopfbereich verletzt und anschließend verschiedenen 60 Hz-Magnetfeldern ausgesetzt. Bei einigen der untersuchten Felder (1, 10 & 78,4 μ T, AC Feld) war die Regenerationsdauer gegenüber den Kontrollen verlängert. Zusätzlich traten verstärkt Anomalien bzw. Missbildungen auf (JENROW et al. 1996).

Auch bei allen anderen untersuchten niederfrequenten Magnetfeldern war die Embryonalentwicklung der exponierten Embryonen beeinträchtigt. Allerdings gehört der überwiegende Teil der Untersuchungen zu einer umfassenden Studie von LEVIN & ERNST (1995). Bei dieser Studie führte eine EMF-Exposition bei allen untersuchten Frequenzen (25, 60, 100, 150, 240, 360, 420, 600 & 6000 Hz) sowie im statischen Feld zu einer Veränderung des zeitlichen Verlaufs der Embryonalentwicklung. Dieselben Autoren berichten in ihrer Arbeit von 1997 von einem statistisch signifikanten Anstieg an morphologischen Anomalien bei Seeigeleiern in einem statischen 30 mT-Magnetfeld. Zudem war die Embryonalsterblichkeit bei den exponierten Eiern mit 64% gegenüber den Kontrollen mit 18% erhöht (LEVIN & ERNST 1997). Auf die Fertilität

Magnetfelder/Frequenz	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
statisches Feld	2	17
25,0 Hz	1	17
50,0 Hz	2	17
60,0 Hz	6	17
100,0 Hz	1	17
150,0 Hz	1	17
240,0 Hz	1	17
360,0 Hz	1	17
420,0 Hz	1	17
600,0 Hz	1	17
6,0 kHz	1	17

Tafel 7: Teratologische Untersuchungen (in vitro) zum Einfluss von niederfrequenten EMF an Vertebraten und Evertbraten. Untersuchte Felder und Frequenzen (Magnetfelder).

des Spermas hatten die untersuchten EMF keinen Einfluß.

In zwei Arbeiten neueren Datums wurde der Einfluß eines 50 Hz-Magnetfeldes auf die Embryonalentwicklung von Fruchtfliegen (*Drosophila melanogaster*, MICHEL & GUTZEIT 2000) bzw. Zebrafischen (*Danio rerio*, SKAULI et al. 2000) untersucht. Bei den Untersuchungen mit *Drosophila melanogaster* führte das untersuchte 50 Hz-Magnetfeld (100 μ T) in Verbindung mit Hitze-stress zu einem statistisch signifikanten Anstieg von Anomalien sowie einer verzögerten Embryonalentwicklung. Die Anomalien wurden durch lacZ-Reportergene nachgewiesen (MICHEL & GUTZEIT 2000). Bei den Zebrafischen schlüpften 54 Stunden nach der Befruchtung im Vergleich zu den Kontrollen weniger Jungfische wenn das 50 Hz-Feld (1 mT) 48 Stunden nach der Befruchtung appliziert wurde. Wurde die Anzahl der geschlüpften Jungfische 48, 72, 78 oder 96 Stunden nach der Befruchtung kontrolliert, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und Exponierten nachgewiesen werden. Dies war auch der Fall, wenn das EMF bereits zwei Stunden nach der Befruchtung eingeschaltet wurde.

2.3.2. Elektrische Felder

ZUSMAN et al. (1990, Tab. 18) untersuchten den Einfluß von elektrischen Feldern auf den Verlauf der Embryonalentwicklung von Ratten und Mäusen in vitro. Hierzu wurden Mäuseembryonen (Blastocysten) bzw. 10,5 Tage alte Rattenembryonen in einem Kulturmedium gehalten und der Verlauf der Embryonalentwicklung in verschiedenen elektrischen Feldern (0,6 V/m)

untersucht. Die Felder wurden mit folgenden Frequenzen appliziert: 1 (nur Mäuse), 20, 50 & 70 Hz (nur Ratten). Zusätzlich untersuchten ZUSMAN et al. noch die Häufigkeit von Missbildungen sowie Effekte auf DNA und Proteine (keine genauen Angaben). Mit Ausnahme der Versuche mit 1 Hz-Feldern (keine statistisch signifikanten Unterschiede), beschreiben die Autoren für alle übrigen untersuchten Felder eine Reihe von statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den Kontrollen und den exponierten Embryonen. Bei 20 Hz waren nach 72 Stunden 60% und bei 50 Hz 51% der EMF-exponierten Blastocysten (Mäuse) nicht entwickelt. Bei den Kontrollen waren es nur 23%. Bei den EMF-exponierten Rattenembryonen waren in allen Versuchsreihen die Körperlänge, die Anzahl der Somiten sowie der Durchmesser des Dottersackes gegenüber den Kontrollen reduziert. Bei den Versuchen mit 20 Hz besaßen 58% der exponierten Rattenembryonen ein unterentwickeltes Blutgefäßsystem, bei 50 Hz waren es 63% und bei 70 Hz 70%. Bei den Kontrollen hatten 20% der Embryonen ein unterentwickeltes Blutgefäßsystem. Während bei den Kontrollen keine Missbildungen festgestellt werden konnten, waren 22% (50Hz) bzw. 30% (70 Hz) der Rattenembryonen missgebildet (z.B. fehlende optische Vesikel, Exencephalie, fehlende Vesikel des Telencephalons, Hypertrophie des Herzens, fehlende Knospen der vorderen Gliedmaßen).

2.3.3. Hochfrequente Felder

In zwei Arbeiten (Tab. 19) wurde die Embryonalentwicklung von Seeigeln unter dem Einfluss von hochfrequenten Feldern untersucht. LEVIN & ERNST

(1995) untersuchten das Timing und die Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen in Seeigeleiern, die während der gesamten Versuchsdauer in einem 60 bzw. 600 kHz-Feld (2,5 mT) getestet wurden. Zusätzlich wurde noch die Fertilität von EMF-exponiertem Sperma untersucht, wobei jedoch keine Effekte festgestellt werden konnten. Diese Resultate entsprechen im Wesentlichen denen, die von den Autoren in der gleichen Studie (LEVIN & ERNST 1995) bei den Versuchen mit niederfrequenten Magnetfeldern im Bereich von 60 Hz - 6 kHz beschrieben wurden (s. Kap. 2.3.1., Tab. 17). KOLDAYEV & SHCHEPIN (1997) befruchteten Seeigel-Eier, die zuvor für die Dauer von 5-20 min einem 450 MHz-Feld (100, 200 & 300 mW/cm²) ausgesetzt waren, mit normalen, nicht EMF-exponierten Spermien. Je nach Dauer der Exposition sowie der getesteten Leistungsflussdichte verringerte sich im Vergleich zu den Kontrollen (beide Gameten nicht exponiert) die Anzahl an befruchteten Eiern (Zygoten) um das 1,2 - 2,6-fache. Zusätzlich ließen sich bei den Zygoten, bei denen einer der Gameten vor der Befruchtung dem 450 MHz-Feld ausgesetzt war 2 bis 11 mal so viele Anomalien der Zygotenhülle nachweisen, als dies bei den Kontrollen der Fall war. In einer zweiten Versuchsreihe waren anstelle der Oozyten die Spermien für die Dauer von 5-20 min dem hochfrequenten Feld (bei gleichen Leistungsflussdichten) ausgesetzt. Während bei den Untersuchungen mit 100 mW/cm² keine Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Zygoten festgestellt werden konnten, führten die übrigen Versuche mit 200 bzw. 300 mW/cm² zu einer 1,1 - 1,6-fachen Verringerung der Anzahl der be-

fruchteten Eier sowie einer 1,3 - 7,3-fachen Zunahme an Anomalien der Zygotenhülle. Zusätzliche Untersuchungen mit EMF-exponierten Zygoten ergaben, dass nicht nur der Ablauf der weiteren Embryonalentwicklung (Pluteus-Larve, Blastomere, Blastula, Gastrula, Prisma), sondern auch der Lipid-Stoffwechsel und der Anteil an freien Aminosäuren (z.B. Methionin um 58-66%, Valin um 21-23%) gegenüber den Kontrollen herabgesetzt war (KOLDAJEV & SHCHEPIN 1997). Negativ ist allerdings anzumerken, dass in dieser Arbeit zwar eine Reihe von interessanten Effekten beschrieben wird, die Darstellung der Ergebnisse und vor allem deren statistische Bearbeitung jedoch sehr zu wünschen übrig lassen.

In fast allen der in diesem Kapitel vorgestellten Studien wurden sehr frühe Embryonalstadien untersucht. Schädigungen durch teratogene Einflüsse werden in diesen Abschnitten der Embryonalentwicklung beim Menschen vollkommen repariert, sodass es zumeist nicht zu kongenitalen Missbildungen kommt. Ist die Schädigung jedoch zu stark, stirbt der geschädigte Embryo ab und wird, wenn es bereits zu einer Implantation gekommen ist, resorbiert. Die aus solchen Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse könnten allerdings, sofern ihre Übertragbarkeit auf den Menschen sichergestellt werden kann, wesentliche Aufschlüsse auf mögliche Wechselwirkungen zwischen dem sich entwickelnden Organismus und elektromagnetischen Feldern liefern.

Tabelle 17: Vertebraten und Evertebraten: Zellwachstum und Embryonalentwicklung (in vitro) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Levin & Ernst 1995	statisches Magnetfeld, 2,5 & 4 mT. Expositionsdauer: gesamte Versuchsdauer (keine genauen Angaben). Weitere Untersuchungen mit 60 Hz (1,7 – 8,8 mT), mit 25; 100; 150; 240; 360 und 420 Hz (4 mT); 240 Hz (6,5 mT) sowie 0,6; 6; 60 & 600 kHz (2,5 mT). S. entsprechende Tabellen.	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen).	Timing und Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen, Fertilität (Sperma).	Bei den EMF-exponierten Embryonen fanden die ersten beiden Zellteilungsphasen zu einem früheren Zeitpunkt statt. Genauere Angaben und eine statistische Analyse der Daten fehlen. Auf die Fertilität der untersuchten Spermazellen hatte das untersuchte Feld keinen Einfluss.
Levin & Ernst 1997	statisches Magnetfeld, 30 mT. Expositionsdauer: 1 h. Sperma: 1 h. Eier (vor Befruchtung): 6; 15; 30 bzw. 45 min. Eier (nach Befruchtung): 3,5 & 26 h (nur Verlauf der Embryonalentwicklung) sowie für 48-94 h (morphologische Anomalien).	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> und <i>Lytechinus pictus</i> (befruchtete Eizellen, Sperma).	Embryonalentwicklung, Schlupfrate nach 26 h (nach der Befruchtung), Fertilität (Sperma), morphologische Anomalien.	Das statische Magnetfeld (30 mT) führte zu folgenden Effekten: Eine statistisch signifikante Zunahme an morphologischen Anomalien (Exogastrulation). Verzögerte Embryonalentwicklung nach Exposition der Eier sowohl vor als auch nach der Befruchtung (Angaben zur Statistik fehlen). Wurden die Eier nach der Befruchtung für 26 h dem Magnetfeld ausgesetzt, war die Schlupfrate in der exponierten Gruppe (36%) gegenüber den Kontrollen (82%) herabgesetzt. Der Unterschied war statistisch signifikant. Die Exposition des Spermas führte zu keinem Effekt.
Levin & Ernst 1995	Magnetfeld 25 Hz , 4 mT. Expositionsdauer: gesamte Versuchsdauer (keine genauen Angaben). Weitere Untersuchungen mit 60 Hz (1,7 – 8,8 mT), mit 0; 100; 150; 240; 360 und 420 Hz (4 mT); 240 Hz (6,5 mT) sowie 0,6; 6; 60 & 600 kHz (2,5 mT). S. entsprechende Tabellen.	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen).	Timing und Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen, Fertilität (Sperma).	Bei den EMF-exponierten Embryonen fanden die ersten beiden Zellteilungsphasen zu einem früheren Zeitpunkt statt. Detaillierte Angaben und eine statistische Analyse der Daten fehlen. Auf die Fertilität der untersuchten Spermazellen hatte das untersuchte Feld keinen Einfluss.

Tabelle 17 (Fortsetzung): Vertebraten und Evertbraten: Zellwachstum Embryonalentwicklung (in vitro) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Michel & Gutzzeit 2000	Magnetfeld 50 Hz , 100 μ T. Expositionsdauer: 30 min. Zusätzlich zur EMF-Exposition wurden die Eier noch erhöhten Temperaturen (normal = 25 °C) von 34-35 °C bzw. 36-37 °C ausgesetzt (Hitze stress).	<i>Drosophila melanogaster</i> verwendete Stämme: en-lacZ; ftz-lacZ, slp-lacZ.	Verlauf der Embryonalentwicklung, embryonale Anomalien, Detektion von Anomalien durch lacZ-Reportergen und entsprechende Färbung. Die Eier wurden 2h 30 min -3 h; 3 h - 3 h 30 min bzw. 3 h 30 min - 4h nach dem Beginn der Embryonalentwicklung dem EMF bzw. dem Hitze stress ausgesetzt.	Das untersuchte 50 Hz-Feld hatte in Verbindung mit dem Hitze stress (erhöhte Umgebungstemperatur) eine synergetische Wirkung. Im Vergleich zu den Kontrollen bzw. den Eiern mit Hitze stress konnten bei den EMF-exponierten Eiern in Verbindung mit einer erhöhten Umgebungstemperatur ein statistisch signifikanter Anstieg an Anomalien sowie eine verzögerte Embryonalentwicklung nachgewiesen werden.
Skali et al. 2000	Magnetfeld 50 Hz , 1000 μ T. Beginn der Exposition 2 bzw. 48 h nach der Befruchtung. Ende der Exposition 96 h. nach der Befruchtung. Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von 5 μ M Progesteron (48 h nach der Befruchtung) bzw. 0,1 mM Natriumcyanid (78 h. nach der Befruchtung). Durch die verwendeten 5 μ M Progesteron wird der Zeitpunkt des Schlüpfens nach „hinten“ verschoben. 0,1 mM Natriumcyanid führen zu einem sofortigen Ausschlüpfen der Fische.	Befruchtete Eier (Zebrafisch, <i>Danio rerio</i>).	Embryonalsterblichkeit, Missbildungen, Zeitpunkt des Ausschlüpfens. Die Anzahl der ausgeschlüpfen Jungfische wurde jeweils 48; 54; 72; 78 und 96 h nach der Befruchtung der Eier bestimmt.	Wurde die EMF-Exposition 48 h nach der Befruchtung begonnen, waren nach 54 h aus den exponierten Eiern statistisch signifikant weniger Jungfische ausgeschlüpft als aus den scheinexponierten Eiern. Bei allen anderen Messzeitpunkten und bei den Tests mit einer bereits 2 Stunden nach der Befruchtung beginnenden EMF-Exposition konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zu den Kontrollen festgestellt werden. Die Embryonalsterblichkeit und die Anzahl der Missbildungen wurden durch das untersuchte Feld nicht beeinflusst. Ein synergetischer oder potenzierender Effekt bei gleichzeitiger Applikation von Progesteron oder Natriumcyanid konnte nicht festgestellt werden.
Cameron et al. 1993	60 Hz Magnetfelder, 50 μ T (500 mG) Expositionsdauer: 10; 16 & 22 h, ab dem Zeitpunkt der Befruchtung. Weitere Tests mit Mäusen (s. unten). Diese Arbeit ist zum größten Teil eine Zusammenfassung früherer Studien.	Seeigel (Embryonen). <i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	Entwicklungsstadien (Morula, Blastula), Histonsynthese.	Nach einer EMF-Exposition für 16 bzw. 22 h hatten in der EMF-exponierten Gruppe nur 2% der Embryonen das Blastula-Stadium erreicht (40% bei den schein-exponierten Embryonen). Sowohl nach 10 h als auch nach 16 h EMF-Exposition konnte bei den EMF-exponierten Seeigelembryonen keine bzw. nur eine sehr geringe Histonsynthese nachgewiesen werden.
Cameron et al. 1993	60 Hz Magnetfelder, 10 & 50 μ T (100 & 500 mG). Expositionsdauer: 48-64 h. Diese Arbeit ist zum größten Teil eine Zusammenfassung früherer Studien.	Mäuseembryonen (2-Zellstadium in Kultur).	Entwicklungsstadien (Morula, Blastula), Histonsynthese.	Sowohl bei 10 als auch bei 50 μ T konnte bei den EMF-exponierten Mäuseembryonen eine verzögerte Embryonalentwicklung festgestellt werden. Alle Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Embryonen waren statistisch signifikant.
Levin & Ernst 1995	Magnetfelder 60 Hz , 1; 3; 4; 4,8 & 8,8 mT sowie zwei weitere Feldstärken (unvollständige Angaben, z.T. nur in einem Diagramm). Expositionsdauer: für ca. 4,5-5 h. (genaue Angaben fehlen) ab Befruchtung. Zusätzliche Tests mit 4 mT: nur Timing der ersten und zweiten Zellteilungsphase. Weitere Untersuchungen mit 0; 25; 100; 150; 240; 360 und 420 Hz (4 mT); 240 Hz (6,5 mT) sowie 0; 0,6; 6; 60 & 600 kHz (2,5 mT). S. entsprechende Tabellen.	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen).	Zellteilungsrate, Fertilität (Sperma), Timing und Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen.	Ab 3,4 mT konnte eine Verzögerung bei der Zellteilungsrate der EMF-exponierten Embryonen festgestellt werden. Die Dauer dieser Verzögerung nahm mit ansteigender Feldstärke zu. Bei den Untersuchungen mit 4 mT konnten in den EMF-exponierten Zellkulturen die ersten beiden Zellteilungen zu einem früheren Zeitpunkt als bei den Kontrollen beobachtet werden. Die gesamte Embryonalentwicklung verlief bei den EMF-exponierten Embryonen schneller als bei den Kontrollen. Detaillierte Daten sowie Angaben zur Statistik fehlen. Auf die Fertilität der untersuchten Spermazellen hatten die untersuchten Felder keinen Einfluss.

Tabelle 17 (Fortsetzung): Vertebraten und Evertbraten: Zellwachstum Embryonalentwicklung (in vitro) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Jenrow a Ernst 1995	Magnetfelder: 60 Hz , 10,0 & 51,1 μT (AC); 51,1 & 78,4 μT (DC). EMF-Exposition: 23h/Tag während der gesamten Versuchsdauer. Dauer der Studie: 12 Monate.	Planarien (<i>Dugesia tigrina</i>)	Gewebewachstum (Regeneration) nach Läsion im Kopfbereich .	Wurden die Planarien in einem 60 Hz-Feld mit 78,4 μT (DC) und 10 μT (AC) getestet, wobei ihre Längsachse parallel zum Feld ausgerichtet war, ließ sich eine Verlängerung der Regenerationsdauer beobachten (statistisch signifikant). Bei Tests, in denen sich die Planarien innerhalb des Magnetfeldes frei bewegen konnten sowie einem Feld mit 51,1 μT (DC) und 51,1 μT (AC), konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zu den Kontrollen festgestellt werden.
Jenrow et al. 1996	Magnetfelder: 60 Hz , 1,0; 10,0 μT ; 40,0 & 78,4 μT (AC); 51,1 & 78,4 μT (DC). Expositionsdauer: 23h/Tag für 12 Tage. Dauer der Studie: 18 Monate.	Planarien (<i>Dugesia tigrina</i>)	Gewebewachstum (Regeneration) nach Läsion im Kopfbereich.	Bei verschiedenen Intensitäten (1, 10 & 78,4 μT AC) konnte ein Anstieg von Anomalitäten des Gewebewachstums bei den EMF-exponierten Planarien festgestellt werden. Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant. Wurden die Planarien während der Versuche mit ihrer Längsachse parallel zum applizierten Magnetfeld ausgerichtet, war die Anzahl an Anomalien erheblich größer als in den Versuchen, in denen sich die Planarien innerhalb der Magnetfelder frei bewegen konnten. Die Unterschiede waren statistisch signifikant.
Zimmermann et al. 1990	Magnetfelder, 60 Hz , 0,1 mT. Expositionsdauer: 23 h. Beginn der Exposition 2-4 min. nach der Befruchtung.	Seeigel (Eier) <i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	Frühe Stadien der Embryonalentwicklung (Blastula, Gastrula).	Im Zeitraum von 2-18 h nach der Befruchtung konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EMF-exponierten Eiern und den Kontrollen festgestellt werden. Nach 23 Stunden hatten die Kontrollen das mittlere Gastrula-Stadium erreicht, während die EMF-exponierten Eier erst das frühe Gastrula-Stadium erreicht hatten. Der Unterschied war statistisch signifikant.
Levin & Ernst 1995	Magnetfelder, 100; 150; 240; 360 & 420 Hz . Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen). Expositionsdauer: gesamte Versuchs- dauer (keine genauen Angaben). Weitere Untersuchungen mit 60 Hz (1,7 –8,8 mT), mit 0; 25 & 60 Hz (4 mT), sowie 0,6; 6; 60 & 600 kHz (2,5 mT).	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen).	Timing und Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen, Fertilität (Sperma).	Bei den EMF-exponierten Embryonen fanden die ersten beiden Zellteilungsphasen zu einem früheren Zeitpunkt statt. Genaue Angaben sowie eine statistische Analyse der Daten fehlen. Auf die Fertilität der untersuchten Spermazellen hatte das untersuchte Feld keinen Einfluss.
Levin & Ernst 1995	Magnetfeld, 600 Hz & 6 kHz , 2,5 mT. Expositionsdauer: gesamte Versuchs- dauer (keine genauen Angaben). Weitere Untersuchungen mit 60 Hz (1,7 – 8,8 mT), mit 0; 25; 100; 150; 240; 360 und 420 Hz (4 mT); 240 Hz (6,5 mT) sowie 0; 0,6 & 60 Hz (s. entsprechende Tabellen).	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen).	Timing und Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen, Fertilität (Sperma), sowie Spermazellen).	Bei den EMF-exponierten Embryonen fanden die ersten beiden Zellteilungsphasen zu einem späteren Zeitpunkt statt. Genaue Angaben sowie eine statistische Analyse der Daten fehlen. Auf die Fertilität der untersuchten Spermazellen hatte das untersuchte Feld keinen Einfluss.

Tabelle 18: Embryonalentwicklung (in vitro) unter dem Einfluss elektrischer Felder.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Zusman et al. 1990	1, 20 & 50 Hz, 0,6 V/m. Expositionsdauer: 72 h. Zusätzliche „In vivo“ Studien mit Ratten & Mäusen. S. entsprechende Tabellen.	Mäuseembryonen (Blastocysten), 3,5 Tage alt. Für 72 h im Kulturmedium.	Verlauf der Embryonalentwicklung. Bestimmung nach 24 & 72 h.	Bei den Versuchen mit 1 Hz konnten keine embryotoxischen Effekte festgestellt werden. Allerdings hatten die EMF-exponierten Embryonen nach 72 h ein höheres Entwicklungsstadium erreicht als die Kontrollen (stat. signifikant). Bei den Tests mit 20 bzw. 50 Hz hatten die EMF-exponierten Embryonen bereits nach 24 h ein höheres Entwicklungsstadium erreicht. Zusätzlich war die Anzahl an abgestorbenen Blastocysten gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht.
Zusman et al. 1990	20; 50 & 70 Hz, 0,6 V/m. Expositionsdauer: 48 h. Zusätzliche „In vivo“ Studien mit Ratten & Mäusen. S. entsprechende Tabellen.	Rattenembryonen, 10,5 Tage alt. Für 48 h im Kulturmedium.	Entwicklungsstadium, Wachstum, Missbildungen, Proteine & DNA.	Bei allen getesteten Feldstärken hatten die EMF-exponierten Embryonen einen, im Vergleich zu den Kontrollen, kleineren Durchmesser) Dottersack. Darüber hinaus waren die EMF-exponierten Embryonen kleiner und wiesen eine geringere Anzahl an Somiten auf. Das Blutgefäßsystem war bei allen EMF-exponierten Embryonen unterentwickelt. Bei den Versuchen mit 70 Hz war zudem noch die Anzahl an Embryonen mit Missbildungen (fehlende Vorderextremitäten, dorsale Verkrümmung) gegenüber den Kontrollen erhöht. Alle Unterschiede waren statistisch signifikant. Bei allen anderen Tests bzw. untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.

Tabelle 19: Embryonalentwicklung (in vitro) unter dem Einfluss hochfrequenter EMF.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Levin & Ernst 1995	Magnetfeld, 60 & 600 kHz, 2,5 mT. Expositionsdauer: gesamte Versuchsdauer (keine genauen Angaben). Weitere Untersuchungen mit 60 Hz (1,7 – 8,8 mT), mit 0; 25; 100; 150; 240; 360 und 420 Hz (4 mT); 240 Hz (6,5 mT) sowie 0; 0,6 & 6 kHz (2,5 mT). S. entsprechende Tabellen.	Seeigel, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> (Embryonen ab der Befruchtung der Eizellen sowie Spermazellen).	Timing und Dauer der ersten beiden Zellteilungsphasen, Fertilität (Sperma).	Bei den EMF-exponierten Embryonen fanden die ersten beiden Zellteilungsphasen zu einem späteren Zeitpunkt statt. Genaue Angaben sowie eine statistische Analyse der Daten fehlen. Auf die Fertilität der untersuchten Spermazellen hatte das untersuchte Feld keinen Einfluss.
Koldayev & Shchepin 1997	450 MHz, 100; 200 & 300 mW/cm ² ; Expositionsdauer: 1–20 min.	Zygoten, Sperma & Oozyten (Eier) des Seeigels <i>Strongylocentrotus intermedius</i> .	EMF-exponiertes Sperma + nicht-exponierte Eier sowie EMF-exponierte Eier + nicht-exponiertes Sperma: Anomalien, Fertilität. <i>Embryonen</i> : diverse Entwicklungsstadien (Blastomere, Blastula, Gastrula, Prisma, Pluteus-Larve). Konzentration von Alanin, Arginin, Glutamin, Methionin, Phenyl-Alanin, Serin, Valin sowie der Lipid-Stoffwechsel in den Zellmembranen (via Malondialdehyd = MDA Konzentration).	In beiden Versuchsreihen (EMF-exponiertes Sperma + nichtexponierte Eier bzw. nichtexponiertes Sperma + EMF-exponierte Eier) konnte bei allen drei untersuchten Leistungsflussdichten eine Verringerung der Anzahl an befruchteten Eiern festgestellt werden. Gleichzeitig nahm die Anzahl an Eiern mit Anomalien zu (keine genauen Angaben zur Statistik). Der Level an freien Aminosäuren war bei den EMF-Embryonen im Vergleich zu den Kontrollen statistisch signifikant herabgesetzt. Die MDA-Konzentration war in den EMF-exponierten Embryonen erhöht (statistische Angaben fehlen).

2.4. Genetische und zytotoxische Effekte elektromagnetischer Felder.

Im folgenden Kapitel wird eine Auswahl an Veröffentlichungen vorgestellt, in denen der Einfluß von hoch- bzw. niederfrequenten Feldern auf das Erbgut sowie auf zytotoxische Effekte untersucht wurde. Sowohl für onkologische als auch für teratologische Fragestellungen könnten derartige Untersuchungen einige Hinweise auf mögliche Wirkungsmechanismen von EMF in biologischen Systemen liefern. Aus diesem Grund wurde eine Auswahl an solchen Arbeiten, sowohl mit niederfrequenten als auch mit hochfrequenten Feldern, in die vorliegende Literaturübersicht aufgenommen.

2.4.1. Genetische und zytotoxische Effekte niederfrequenter EMF

Insgesamt sind in den Tabellen (20-23) 16 Veröffentlichungen aufgeführt, in denen, in insgesamt 18 Untersuchungsreihen, zyto- bzw. genotoxische Effekte von Magnetfeldern im Bereich von 50 Hz - 6 kHz

untersucht wurden (Tafel 8). In vier Studien (Tab. 23) waren die Zellen bzw. Zellkulturen elektrischen Feldern ausgesetzt.

Die meisten Untersuchungen, insgesamt 9, liegen für Magnetfelder mit einer Frequenz von 50 Hz vor (Tab. 20). Da sich jedoch die jeweiligen Versuchsbedingungen hinsichtlich der verwendeten Generatoren bzw. Spulen, der applizierten magnetischen Flussdichten und auch der untersuchten Zellen bzw. Zellkulturen zum Teil erheblich von einander unterscheiden, lassen sich die vorliegenden Ergebnisse nur schwer miteinander vergleichen. In 5 dieser Untersuchungen wurden menschliche Lymphocyten für jeweils 24 bis 72 Stunden in einem 50 Hz-Magnetfeld kultiviert, wobei die folgenden Parameter untersucht wurden: Schwesterchromatid-Austausch, Chromosomenaberrationen, Mikronukleus-Bildung, Mitose-Index, Zellproliferation.

SCARFI et al. (1994, 1999) konnten bei ihren Untersuchungen mit menschlichen Lymphocyten keinen Einfluss des getesteten 50 Hz-Magnetfeldes auf die Bildung von Mikronuklei bzw. das Auftreten von

Chromosomenaberrationen feststellen. Allerdings war bei den Versuchen für die 1994 veröffentlichte Studie die Mitose-Index bei den EMF-exponierten Lymphocyten gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. Dieser Parameter wurde in der Arbeit von 1999 von SCARFI et al. allerdings nicht mehr untersucht (Tab. 20).

Ebenfalls keine Effekte der untersuchten 50 Hz-Magnetfelder auf die Anzahl von Chromosomenaberrationen sowie dem Schwesterchromatid-Austausch konnten bei den Untersuchungen von MAES et al. (2000) festgestellt werden. In einigen Versuchsreihen wurden zusätzlich zu dem 50 Hz-Feld noch Röntgenstrahlen (1 Gy/min.) bzw. 0,1 µg/ml Mitomycin-C, ein Teratogen, appliziert. Eine synergistische, potenzierende oder antagonistische (protektive) Wirkung des 50 Hz-Feldes ließ sich bei diesen Versuchen jedoch nicht nachweisen (MAES et al. 2000).

Auch bei den Versuchen von ROSENTHAL & OBE (1989) führte das untersuchte 50 Hz-Magnetfeld (Exposition für 48 bzw. 72 h) zu keiner Veränderung bei der Anzahl an Chromosomenaberrationen sowie des Austausches von Schwesterchromatiden. Hingegen war bei diesen Versuchen die Zellproliferationsrate unter dem Einfluss des EMF gegenüber den nicht exponierten Kontrollen statistisch signifikant erhöht.

Im Gegensatz zu den vorher aufgeführten Studien, war bei den Untersuchungen von KHALIL & QASSEM (1991) neben einer verringerten Mitose-Index auch eine Zunahme an Chromosomenaberrationen bei den EMF-exponierten Lymphocyten (24,

Magnetfelder/Frequenz	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
50,0 Hz	9	20
60,0 Hz	4	21
100,0 Hz	1	22
600,0 Hz	1	22
6,0 kHz	1	22
22p/4,8 ms	1	22
Therapiegerät	1	22
elektr. Felder/Frequenz	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
1,0 Hz	1	23
50,0 Hz	2	23
Therapiegerät	1	23

Tafel 8: Zytologische und toxikologische Untersuchungen mit niederfrequenten EMF.

48 & 72 Stunden, s. Tab. 20) zu verzeichnen. Wurden die untersuchten Kulturen für 72 Stunden dem 50 Hz-Feld (1 mT) ausgesetzt, konnte zusätzlich noch eine herabgesetzte Zellproliferationsrate sowie ein Anstieg beim Schwesterchromatid-Austausch festgestellt werden.

In ihrer 1998 veröffentlichten Arbeit testeten SIMKÓ et al. 50 Hz-Magnetfelder mit einer magnetischen Flussdichte von 1 mT, die entweder vertikal oder horizontal appliziert wurden (s. Tab. 20). Die Felder wurden mit Hilfe einer Helmholtz-Spule bzw. einer Merritt-Spule erzeugt. Ziel der Studie war es, zu untersuchen ob die unterschiedlich erzeugten Felder auch einen unterschiedlichen Einfluss auf die Bildung von Mikronuklei bei Zellen aus der Amnionflüssigkeit von Menschen hatten. Die Expositionsdauer betrug 24, 48 bzw. 72 Stunden. Bei den Versuchen mit der Helmholtz-Spule konnte in einem horizontalen Feld unabhängig von der Dauer der EMF-Exposition ein statistisch signifikanter Anstieg bei der Bildung von Mikronuklei festgestellt werden. Im vertikalen Feld ließen sich hingegen keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen Kontrollen und exponierten Zellen nachweisen. Wurde das Magnetfeld mit einer Merritt-Spule erzeugt, war die Anzahl der Mikronuklei nur bei den Zellen statistisch signifikant erhöht, die für 72 Stunden einem vertikalen Feld ausgesetzt waren. Bei allen anderen Versuchen hatten die getesteten Magnetfelder keinen Einfluß auf die Mikronukleusbildung. In einigen Versuchen wurden zusätzlich zum getesteten 50 Hz-Feld noch verschiedene Dosen (0,3-2,5 mM) von *N*-Acetyl-*p*-aminophenol (APAP, hemmt DNA-

Reparaturmechanismen), verabreicht. Bei diesen Versuchen konnten keine synergistischen, antagonistischen oder potenzierenden Wirkungen des 50 Hz-Feldes festgestellt werden (SIMKÓ et al. 1998).

In einer weiteren Arbeit von SIMKÓ et al. (1999) war die Anzahl an Mikronuklei bei Zellen aus der menschlichen Amnionflüssigkeit unter dem Einfluss eines horizontalen 50 Hz-Magnetfeldes (1 mT, Helmholtz-Spule) nach einer Expositionsdauer von 24, 48 bzw. 72 Stunden gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. In zusätzlichen Versuchen wurde in dieser Studie noch der Einfluss einer 6 bzw. 12-tägigen Expositionsdauer auf das Zellwachstum untersucht, wobei allerdings keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Zellen gefunden werden konnten. Ebenso ohne einen nachweisbaren Unterschied blieben Versuchsreihen, in denen zusätzlich zum EMF noch Crocidolit-Asbest ($1 \mu\text{g}/\text{cm}^3$) appliziert wurde (SIMKÓ et al. 1999, Tab. 20).

NORDENSON et al. stellten in einer 1994 veröffentlichten Studie an Zellen aus der menschlichen Amnionflüssigkeit, unter dem Einfluss eines 50 Hz-Magnetfeldes (bei $30 \mu\text{T}$) eine Zunahme an Chromosomenaberrationen fest. Hingegen waren bei einer magnetischen Flussdichte von $300 \mu\text{T}$ die Unterschiede zwischen den exponierten Zellen und den Kontrollen statistisch nicht signifikant. Die Expositionsdauer bei diesen Versuchen betrug 3 Tage. Keinerlei Hinweise auf EMF-bedingte Chromosomenaberrationen ergaben Untersuchungen, bei denen menschliche Spermazellen für 2 Stunden

einem 50 Hz-Magnetfeld (20 mT) ausgesetzt waren (TATENO et al. 1998).

Die Untersuchungen mit 60 Hz-Magnetfeldern ergaben keine Hinweise auf toxische oder teratogene Wirkungen. In den vier vorgestellten Publikationen wurden Bierhefe (Mutationen & Mitose, AGER & RADUL 1992), menschliche Lymphozyten (Schwesterchromatid-Austausch, verschiedene Zellstadien, Chromosomenbrüche, COHEN et al. 1986), Bakterien (*Salmonella typhimurium*, Mutationsrate, MORANDI et al. 1996) sowie embryonale Zellen bzw. Embryonen von Fruchtfliegen (Mikrotubuli, Ganglien, Missbildungen, NGUYEN et al. 1995) untersucht.

Ebenfalls ohne nachweisbare Effekte blieben Untersuchungen zum Einfluss von 100 Hz-, 600 Hz- und 6 kHz-Magnetfeldern (JUUTILAINEN & LIMATAINEN 1986, MORANDI et al. 1996) auf die Mutationsrate von *Salmonella typhimurium* (Tab. 22). JACOBSON-KRAM et al. (1997) untersuchten an *Salmonella typhimurium* und *Escherichia coli* (Mutationsrate), Zellkulturen (Ovarien) von Hamstern (Chromosomenaberrationen), embryonalen Zellen von Mäusen (Zytotoxische Effekte) und Leberzellen von Ratten (DNA-Synthese) mögliche Effekte von Magnetfeldern, die von einem Therapiegerät zur Stimulation des Knochenwachstums erzeugt wurden. Auch bei diesen Untersuchungen konnten keine Effekte der getesteten Magnetfelder auf die untersuchten Parameter nachgewiesen werden (Tab. 22). In der Studie von GREENEBAUM et al. (1996) wurde das Wachstum von Neuriten aus dem Spinalganglion von Hühnerembryonen unter dem Einfluss eines Magnetfeldes ($22 \mu\text{s}$,

4 mT, 22 Pulse/4,8 ms) untersucht. In zusätzlichen Tests wurde den untersuchten Zellkulturen 50 bzw. 100 ng/ml NGF (7S NGF, Neurite Growth Factor) zugeführt. Während das Magnetfeld alleine keinerlei Einfluss auf das Neuritenwachstum zeigte, kam es bei gleichzeitiger Applikation mit 7S NGF verstärkt zu einem asymmetrischen Neuritenwachstum (nicht jedoch bei alleiniger Gabe von 7S NGF).

Bis auf einige Untersuchungen bei 50 Hz hatten die getesteten Magnetfelder, unabhängig von Frequenz, Form, Intensität, Expositionsdauer und Generator (Spule) keinen Einfluss auf die Mutationsrate, das Auftreten von Chromosomenaberrationen und andere zytologische und genetische Parameter. Es ist allerdings möglich, dass es in einigen Fällen zu synergistischen oder sogar potenzierenden Wirkungen im Zusammenhang mit toxischen oder teratogenen Agentien kommen könnte.

Bei den in Tabelle 23 aufgeführten Untersuchungen mit verschiedenen elektrischen Feldern an menschlichen Lymphocyten, Bakterien und verschiedenen Zellkulturen (Hamster, Mäuse Ratten) konnten ebenfalls keine nachweisbaren Effekte festgestellt werden (VALIUS et al. 1993, JACOBSON-KRAM et al. 1997). Dies gilt auch für Versuchsreihen, in denen zusätzlich teratogene oder mutagene Agentien (Mitomycin-C, UV-Strahlung) verabreicht wurden (CHAHAL et al. 1993, SCARFI et al. 1993).

Tabelle 20: Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder, 50 Hz).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Khalil & Qassem 1991	50 Hz Felder, 1 mT. Expositionsdauer: 24; 48 & 72 h.	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen, Zellproliferationsrate, Mitose-Index, Schwesterchromatidaustausch-Test.	In allen drei Versuchsreihen führte die EMF-Exposition zu einem Rückgang der Mitose-Rate und einem Anstieg an Zellen mit Chromosomenaberrationen (beide Unterschiede gegenüber den Kontrollen waren statistisch signifikant). Bei einer Exposition über einem Zeitraum von 72 h waren zusätzlich ein Anstieg des Schwesterchromatid-Austauschs und eine verminderte Zellproliferations-Rate zu beobachten. Beide Unterschiede waren statistisch signifikant.
Maes et al. (2000)	50 Hz Felder, 62,8; 80; 88,4; 504; 1061; 1750 & 2500 μ T. EMF-Exposition während der gesamten Kultivierungsdauer (genaue Angaben fehlen). Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von Mitomycin C (0,1 μ g/ml) oder Röntgenstrahlen (1 Gy/min).	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatidaustausch-Test.	Es konnten keine genotoxischen Effekte der untersuchten 50 Hz-Felder festgestellt werden. Bei einer kombinierten Behandlung der Proben mit 50 Hz und Röntgenstrahlen oder Mitomycin C konnten keine synergistischen, potenzierenden oder antagonistische Effekte nachgewiesen werden.
Nordenson et al. 1994	50 Hz Felder (Sinus), 30 & 300 μ T, (15 s an/15 s aus bzw. 2 s an/20 s aus). Expositionsdauer: 3 Tage.	Amnion-Zellen (Mensch)	Chromosomenaberrationen	Bei den Versuchen mit 30 μ T konnte bei den EMF-exponierten Zellkulturen ein statistisch signifikanter Anstieg an Chromosomenaberrationen (EMF = 4%; Kontrollen = 2%) beobachtet werden. Hingegen waren bei den Versuchen mit 300 μ T keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EMF-exponierten Zellen und Kontrollen nachweisbar.

Tabelle 20 (Fortsetzung): Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder, 50 Hz).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Rosenthal & Obe 1989	50 Hz Feld, 5 mT. Expositionsdauer: 48 bzw. 72 h. Zusätzliche Tests mit 0,1; 0,5; 2,5; 5 & 7,5 mT bei gleichzeitiger Applikation von DEB (Diepoxybutan, C ₄ H ₆ O ₂), Trenimon (2,3,5-triethylenamino-1,4-benzoquinon, wird in der Chemotherapie angewendet) und MNU (Methylnitrosourea, C ₂ H ₅ N ₃ O ₂).	Lymphocyten (Mensch)	Schwesterchromatid austausch-Test., Chromosomenaberrationen, Zellproliferationsrate.	Eine EMF-Exposition für 48 bzw. 72 h führte zu einem Anstieg der Zellproliferationsrate in den exponierten Zellkulturen. Die EMF-Exposition bei gleichzeitiger Applikation von MNU, DEB oder Trenimon führte zu einem verstärkten Schwesterchromatid-Austausch in den EMF-exponierten Zellkulturen. Die Unterschiede gegenüber den Kontrollen waren statistisch signifikant. Bei allen anderen untersuchten Parametern konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.
Scarfi et al. 1994	50 Hz Felder (Sinus), 2,5 mT (genaue Angaben fehlen mit Verweis auf frühere Arbeiten der Autoren). Expositionsdauer: 72 h.	Lymphocyten (Mensch)	Mikronukleus-Test, Mitose-Index, Chromosomenaberrationen.	Es konnten keine genotoxischen Wirkungen der untersuchten Magnetfelder nachgewiesen werden. Hingegen war der Mitose-Index in den EMF-exponierten Zellkulturen gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. (Widerspruch zum Abstract, wo von keinen Veränderungen gesprochen wird!)
Scarfi et al. 1999	50 Hz Felder (Sinus), 0,05; 0,25; 0,5; 0,75 & 1,0 mT. Expositionsdauer: 72 h.	Lymphocyten (Mensch)	Mikronukleus-Test, Zellproliferationsrate.	Es konnten keine genotoxischen Wirkungen der untersuchten Magnetfelder nachgewiesen werden.
Simkó et al. 1998	50 Hz Felder, 1 mT. Merritt-Spule; vertikal. Helmholtz-Spule; horizontal. Helmholtz-Spule; vertikal. Helmholtz-Spule; horizontal. Expositionsdauer jeweils 24, 48 & 72 h. Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von 0,3 – 2,5 mM APAP (N-Acetyl-p-aminophenol, hemmt DNA-Reparaturmechanismen).	Zellen aus der Amnion-Flüssigkeit (Mensch)	Mikronukleus-Test	<i>Helmholtz-Spule</i> : Wurden die Zellkulturen für 24, 48 o. 72 Stunden einem horizontalem Feld (50 Hz, 1 mT) ausgesetzt, konnte ein statistisch signifikanter Anstieg bei der Bildung von Mikronuklei festgestellt werden. Im vertikalen Feld konnten hingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen EMF-exponierten Zellkulturen und den Kontrollen nachgewiesen werden. <i>Merritt-Spule</i> : In diesen Versuchen waren nur bei einer 72-stündigen Exposition in einem vertikalen 50 Hz-Feld statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Zellkulturen zu beobachten. Eine Verstärkung der durch die Applikation von APAP ausgelösten Effekte durch das 50 Hz-Feld konnte nicht festgestellt werden.
Simkó et al. 1999	50 Hz Felder, 1 mT horizontal, Helmholtz-Spule. Expositionsdauer: 24; 48 & 72 h sowie 6 & 12 Tage (nur Zellwachstum). Zusätzliche Applikation von Asbestfasern (Crocidolit-Asbest, 1µg/cm ²).	Zellen aus der Amnion-Flüssigkeit (Mensch)	Mikronukleus-Test, Zellwachstum.	Die EMF-Exposition über 6 & 12 Tage hatte keinen Einfluss auf das Zellwachstum. Bei einer EMF-Exposition für 24; 48 & 72 h war die Bildung von Mikronuklei in den EMF-exponierten Zellen gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. Ein synergetischer Effekt zwischen dem 50 Hz-Feld und den Asbestfasern konnte nicht festgestellt werden.
Tateno et al. 1998	50 Hz Felder, 20 mT. Expositionsdauer: 2 h.	Spermazellen (Mensch)	Chromosomenaberrationen	Es konnte kein Hinweis auf EMF-bedingte Chromosomenaberrationen gefunden werden Zusätzliche Kontrollversuche mit g-Strahlen.

Tabelle 21: Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder 60 Hz).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Ager & Radul 1992	60 Hz Magnetfelder, 1 mT + UV-Licht (254nm) Dosis: 0; 12; 25 & 50 J/m ² . Expositionsdauer: 3 Tage, während der ersten 3 h wurde das EMF alle 15 min. aus- und eingeschaltet.	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Bierhefe)	Mutationen, Mitose.	Es konnten keine statistisch signifikant absicherbaren Effekte der untersuchten Felder nachgewiesen werden.
Cohen et al. 1986	60 Hz Felder: (Sinus) EF: 30 µA/cm ² ; MF: 100 & 200 µT (1 & 2 G).	Lymphocyten (Mensch)	Schwesterchromatidaustausch-Test, Chromosomenbrüche, Zellstadien.	Es konnten keine statistisch signifikant absicherbaren Effekte der untersuchten Felder nachgewiesen werden.
Morandi et al. 1996	Magnetfelder, 60 Hz, 0,3 mT (300V/m) Expositionsdauer 48 h. Es wurden das elektrische bzw. das magnetische Feld getrennt und zusammen appliziert. Weitere Tests mit 600 Hz & 6,0 kHz. S. entsprechende Tabellen.	Salmonella typhimurium verschiedene Stämme: TA97a, TA98, TA100 & TA102.	Mutationsrate	In keiner der verschiedenen Testreihen konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Zellkulturen nachgewiesen werden.
Nguyen et al. 1995	Magnetfelder, 60 Hz, 10 & 100 µT. Expositionsdauer: 16-18 h (Zellkulturen), 24 h (Embryonen, Gastrulastadium) bzw. 10 Tage (bis zum Imago). Zusätzliche Tests (Kulturen) mit Cadmium Sulfat, Hydroxyharnstoff, Vitamin-A-Säure.	Kulturen von embryonalen Zellen sowie Embryonen (ab Gastrulastadium) von <i>Drosophila melanogaster</i> .	Zellkulturen: Entwicklung von Mikrotubuli und Ganglien. Embryonen: Missbildungen.	Es wurden keine teratogenen Effekte der untersuchten Magnetfelder nachgewiesen. Ein Einfluss der untersuchten EMF auf die Wirkungen der gleichzeitig applizierten teratogenen Substanzen konnte nicht festgestellt werden.

Tabelle 22: Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (Magnetfelder).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Juutilainen & Limatainen 1986	Magnetfelder, 100 Hz , 0,1; 1,0; 10 und 100 A/m. Testreihen mit Kulturen auf Agar (Petrischalen); Expositionsdauer: 48 h Testreihen mit Kulturen in flüssigem Kulturmedium (in Flaschen), Expositionsdauer: 6,5 h. Zusätzliche Tests mit der Applikation von Natriumazid bzw. 1,2-Diamino-4-nitro-benzol.	<i>Salmonella typhimurium</i> Stämme: TA 98 TA 100.	Mutationsrate	Es konnten keine mutagene Einflüsse der untersuchten 100 Hz-Felder nachgewiesen werden. Die gilt auch für die Untersuchungen mit gleichzeitiger Applikation von chemischen Mutagenen (Natriumazid & 1,2-Diamino-4-nitro-benzol).
Morandi et al. 1996	Magnetfeld, 600 Hz & 6 kHz , 0,3 mT. (300V/in), Expositionsdauer: 48 h. Es wurden das elektrische bzw. das magnetische Feld getrennt sowie zusammen appliziert. Weitere Tests mit 60 Hz. S. entsprechende Tabelle.	<i>Salmonella typhimurium</i> verschiedene Stämme: TA97a, TA98, TA100 & TA102.	Mutationsrate	Es konnten in keiner der verschiedenen Testreihen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Zellkulturen nachgewiesen werden.
Greenebaum et al. 1996	Magnetfeld, 220µs; 4 mT 22 Pulse/4,8 ms , alle 15 bzw. 25 s. Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von NGF (neurtre growth factor). Expositionsdauer: 18 h.	Neuriten (Hühner)	Wachstum von Neuriten (Spinalganglion) aus Hühnerembryonen isoliert.	Die gleichzeitige Applikation von EMF + NGF führte sowohl zu einem gesteigertem als auch asymmetrischen Neuritenwachstum. Eine EMF-Exposition ohne NGF hatte keinen Einfluss auf das Neuritenwachstum.
Jacobson-Kram et al. 1997	Therapeutisches Gerät z. Stimulation des Knochenwachstums. Magnetische Felder: 9 & 90 T/s Expositionsdauer: 24 h. Elektrische Felder: 3 & 30 mV/cm. S. entsprechende Tabelle.	Zellkulturen von: <i>Salmonella typhimurium</i> <i>Escherichia coli</i> , Hamster & Mäuse (Zellkulturen von Ovar- bzw. embryonalen Zellen), Ratten (Leberzellen).	Mutagenität (Salmonella & E. coli), Chromosomenaberration (Hamster), Cytotoxische Effekte (Mäuse), DNA-Synthese (Leberzellen v. Ratten).	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein Einfluss der untersuchten Felder nachgewiesen werden.

Tabelle 23: Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss niederfrequenter EMF (elektrische Felder).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Jacobson-Kram et al. 1997	Therapeutisches Gerät z. Stimulation des Knochenwachstums. Elektrische Felder: 3 & 30 mV/cm Expositionsdauer: 24 h. Magnetische Felder: 9 & 90 T/s. (s. entsprechende Tabelle).	Zellkulturen von: <i>Salmonella typhimurium</i> <i>Escherichia coli</i> Hamster & Mäuse (Zellkulturen von Ovar- bzw. embryonalen Zellen), Ratten (Leberzellen).	Mutagenität (Salmonella & E. coli), Chromosomenaberration (Hamster), Cytotoxische Effekte (Mäuse), DNA-Synthese (Leberzellen v. Ratten).	Bei keinem der untersuchten Parameter konnte ein Einfluss der untersuchten Felder nachgewiesen werden.
Chahal et al. 1993	Elektrische Felder, 1 Hz , 1 & 3 kV/m. Expositionsdauer: 1 h (3 kV/m) bzw. 16 h (1 kV/m). Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von UV bzw. Mitomycin-C.	<i>Escherichia coli</i> K12 Stamm: AB1157; AB1157 umuC ⁺ ; AB1157 umuC ⁺ uvrB ⁺ ; TK702 umuC ⁺ ; TK702 umuC uvrB ⁺ ; TK501 umuC uvrB.	Mutationsrate, UV-Sensitivität, DNA Reparaturmechanismen.	Es konnten keine statistisch signifikant nachweisbaren Effekte der applizierten elektrischen Felder auf die untersuchten Parameter festgestellt werden.
Scarfì et al. 1993	Elektrische Felder 50 Hz (AC, Sinus), 0,5; 2; 5 & 10 kV/m. Expositionsdauer: 72 h. Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von Mitomycin C.	Lymphocyten (Mensch)	Mikronukleus-Test	In keiner der durchgeführten Versuchsreihen konnte ein genotoxischer Effekt der untersuchten elektrischen Felder festgestellt werden.
Vaijus et al. 1993	Elektrische Felder 50 Hz Untersucht wurden Starkstromelektriker, die über einen Zeitraum von ca. 10 Jahren unter dem Einfluss von Hochspannungsleitungen mit 110-400 kV gearbeitet hatten. Die Referenzgruppe bestand aus Mitarbeitern einer Telefongesellschaft.	Blutproben (Lymphocyten) Mensch	Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatidaustausch-Test, Mikronukleus- Test.	Es konnte kein Nachweis über einen Zusammenhang von Chromosomenaberrationen, der Bildung von Mikrokern oder dem Schwesterchromatid-Austausch und der Langzeitexposition erbracht werden. Die in den Untersuchungen festgestellte höhere Anzahl an Chromatid-Brüchen in der Gruppe der Starkstromelektriker steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit einem erhöhten Zigarettenkonsum.

2.4.2. Genetische und zytotoxische Effekte hochfrequenter EMF.

In der zu diesem Kapitel gehörenden Tabelle 24 sind insgesamt 14 Arbeiten aufgeführt, in denen hochfrequente EMF auf mögliche zytotoxische bzw. genotoxische Wirkungen untersucht wurden. In diesen Arbeiten wurden Frequenzen im Bereich von 900 - 954 MHz, 2,45 und 7,7 GHz getestet (Tafel 9).

Frequenzbereich	Anzahl der Untersuchungen	Tabelle
900 MHz	2	24
935 MHz	1	24
954 MHz	2	24
2,45 GHz	6	24
7,70 GHz	2	24
9,40 GHz	1	24

Tafel 9: Zytologische und toxikologische Untersuchungen mit hochfrequenten EMF.

Für den Bereich von 900 - 954 MHz werden 5 Studien aufgeführt, von denen 4 an menschlichen Lymphocyten (MAES et al. 1995, 1996, 1997, 2001) und eine an Bierhefe (Gos et al. 2000) vorgenommen wurden. Die bei diesen Studien untersuchten Parameter waren: Mutation und Rekombination (Bierhefe, *Saccharomyces cerevisiae*), Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatid-Austausch und Zellkinetik (Lymphocyten). In keiner dieser Studien hatte das untersuchte hochfrequente Feld einen statistisch absicherbaren Effekt auf die getesteten Parameter. Ebenso ließen sich, bis auf eine Ausnahme (MAES et al. 1996) keine synergistischen Wirkungen der untersuchten Felder mit gleichzeitig applizierten Mutagenen

(Mitomycin-C, Methyl-methansulfonat) feststellen. Lediglich in der Studie von MAES et al. (1996) führte das untersuchte 954 MHz-Feld (GSM-Signal) zu einer Erhöhung der Wirkung des in den Versuchen verabreichten Mitomycin-C.

BEECHY et al (1986) stellten bei Mäusen (Sperma), die in einem 2,45 GHz-Feld (cw, 1; 100 & 400 mW/cm²) getestet wurden, keinen Einfluß auf die Anzahl von Chromosomenaberrationen oder die Spermatogenese fest. Lediglich am 12.-13. Tag nach der Exposition konnte bei einigen Tests ein vorübergehender Anstieg der Anzahl an Spermien beobachtet werden. Im Gegensatz dazu beobachteten MANIKOWSKA CZERSKA et al. (1985) bei Spermazellen von Mäusen, die für 2 Wochen (6 Tage/Woche) einem 2,45 GHz-Feld (cw, 0,05-20 mW/cm²) ausgesetzt waren, bei 10 & 20 mW/cm² eine Zunahme an chromosomalen Anomalien.

In zwei Arbeiten an Ratten (Zellen aus dem Bereich des Hippocampus) die für 2 Stunden einem 2,45 GHz-Feld (2 mW/cm², cw & gepulst: 2µs, 500 pps) ausgesetzt waren, ließ sich 4 Stunden nach der Exposition eine statistisch signifikante Zunahme an DNA-Schäden (Doppel- und Einzelstrangbrüche) nachweisen (LAI & SINGH 1995, 1996).

Ohne nachweisbare Effekte auf den Schwesterchromatid-Austausch bzw. die Anzahl von Chromosomenaberrationen blieben Untersuchungen, in denen menschliche Lymphocyten für 20 min. einem Feld von 2,45 GHz (cw, SAR: 4 - 200 W/kg) ausgesetzt waren. Dies galt auch für die Versuchsreihen mit einem erheblichen hyperthermischen Effekt (LLOYD et al. 1986). Hingegen waren in

einer Studie von MAES et al. (1993), die ebenfalls an menschlichen Lymphocyten (2,45 GHz, gepulst mit 50 Hz, SAR: 75,5 W/kg) durchgeführt wurde, sowohl die Anzahl an Chromosomenaberrationen als auch die Mikronukleus-Bildung gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht. Auf die Zellkinetik sowie den Schwesterchromatid-Austausch hatte die Exposition keinen Einfluss. Die Expositionsdauer betrug bei diesen Versuchen 30 bzw. 120 min. Die Autoren führen die beobachteten Effekte auf einen thermischen Effekt der untersuchten Felder zurück (MAES et al. 1993).

GARAJ VRHOVAC et al. untersuchten in ihren beiden Studien (1991 & 1992) die Anzahl an Chromosomenaberrationen sowie die Bildung von Mikronuklei an V79 Zellen (Fibroblasten, Lunge) von Hamstern bzw. menschlichen Lymphocyten, die einem 7,7 GHz-Feld (cw) ausgesetzt waren (Tab. 24). Die verwendeten Leistungsflussdichten lagen bei 0,5 und 10 mW/cm² (Lymphocyten) sowie 30 mW/cm² (V79 Zellen und Lymphocyten). Bei den Tests mit einer Leistungsflussdichte von 0,5 mW/cm² konnten keine nachweisbaren Effekte des untersuchten 7,7 GHz-Feldes festgestellt werden. Bei den Versuchen mit 10 mW/cm² (Lymphocyten) und 30 mW/cm² (V79 Zellen, Lymphocyten) waren sowohl die Anzahl an Chromosomenaberrationen als auch die der Mikronuklei gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht (GARAJ VRHOVAC et al. 1991, 1992). Bei diesen Untersuchungen wurde während der EMF-Exposition ein Temperaturanstieg von 1 °C an der Oberfläche der untersuchten Zellkulturen gemessen. Die Autoren lassen allerdings offen, ob die beobachte-

ten Effekte auf eine Hyperthermie der exponierten Zellen zurückzuführen ist.

Zu einer Zunahme von chromosomalen Anomalien kam es in Versuchen, in denen Spermazellen von Mäusen einem 9,4 GHz-Feld (0,1-10 mW/cm², gepulst mit 1 kHz) ausgesetzt wurden. Bei diesen Tests waren ab einer Leistungsflussdichte von 0,5 mW/cm² sowohl die Anzahl an Translokationen (Metaphase) als auch die Anzahl an Metaphasen mit univalenten Chromosomenpaaren gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht (MANIKOWSKA et al. 1979).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich in keiner der vorliegenden Studien mit hochfrequenten Feldern Hinweise auf eine besondere Bedeutung der Modulation bzw. Pulsform ergeben haben. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann zudem davon ausgegangen werden, dass die in einigen Untersuchungen beobachteten Effekte sehr wahrscheinlich auf thermische Wirkungen der getesteten Felder zurückzuführen sind (vergl. VERSCHAEVE & MAES 1998).

Tabelle 24: Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss hochfrequenter EMF.

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Gos et al. 2000	900 MHz (GSM, pulsmoduliert), SAR: 0,13 bzw. 1,3 W/kg. Expositionsdauer: 1 h (0,13 W/kg) bzw. 36 h (1,3 W/kg). Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von Methyl-methansulfonat (0,01%).	Kulturen von Bierhefe <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Mutation, Rekombination bei ruhenden bzw. aktiven (wachsenden) Hefezellen.	Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Zellkulturen und den Kontrollen festgestellt werden. Ein synergetischer Effekt zwischen dem 900 MHz-Feld und gleichzeitigen Gaben von Methyl-methansulfonat konnte nicht nachgewiesen werden.
Maes et al. 2001	900 MHz (cw, GSM, „Pseudo-Random“), Ausgangsleistung: 0; 2; 8; 15; 25 & %0 W. SAR: 0,4; 2,0; 3,5; 5,5 & 10 W/kg. Expositionsdauer: 2 h. Zusätzliche Tests mit Mitomycin-C (0,1 µg/ml) bzw. Röntgenstrahlen (1 Gy).	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatid austausch-Test.	Es konnte kein Einfluss der getesteten 900 MHz-Felder auf die untersuchten Parameter gefunden werden. Eine kombinierte Behandlung der untersuchten Proben mit 900 MHz und Mitomycin-C bzw. Röntgenstrahlung erbrachte keine Hinweise auf synergetische, potenziierende oder antagonistische Effekte der EMF-Exposition.
Maes et al. 1997	935,2 MHz (GSM), SAR: 0,4 W/kg. Expositionsdauer 2 h. Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von Mitomycin-C (ein Mutagen).	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatid austausch-Test.	Es konnten keine Effekte des applizierten 935,2 MHz-Feldes auf die untersuchten Proben (Lymphocyten) festgestellt werden. Ein synergetischer Effekt bei gleichzeitiger Applikation von Mitomycin-C konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.
Maes et al. 1995	954 MHz (GSM, Basisstation-Antenne). Elektrisches Feld: 49 V/m. Ausgangsleistung: 15 W. SAR: 1,5 W/kg, Expositionsdauer: 2 h. In einer zusätzlichen Pilotstudie wurden Blutproben von 6 Personen, die beruflich mit Sendeanlagen zu tun hatten, auf Chromosomenaberrationen untersucht. Dabei wurden verschiedene Frequenzen aus dem Mobilfunkbereich getestet (u.a. 450 & 900 MHz, genaue Angaben fehlen).	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen. In vitro Versuche mit Zellkulturen sowie in vivo Versuche mit 6 Mobilfunkarbeitern. Kulturen nachgewiesen.	Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den EMF-exponierten Blutproben bzw. Zellkulturen nachgewiesen.
Maes et al. 1996	954 MHz (GSM, Basisstation). Elektrisches Feld: 49 V/m. Ausgangsleistung: 15 W. SAR: 1,5 W/kg, Expositionsdauer: 2 h. Zusätzliche Tests mit gleichzeitiger Applikation von Mitomycin-C.	Lymphocyten (Mensch)	Schwesterchromatid austausch-Test, Zellkinetik (Metaphasestadien, Zellproliferation).	Das untersuchte 954 MHz-Feld hatte einen synergetischen Effekt auf die mutagene Wirkung des gleichzeitig applizierten Mitomycin-C. Der Unterschied gegenüber den Proben mit Mitomycin-C ohne EMF war statistisch signifikant. Wurde das 954 MHz-Feld alleine appliziert, konnte kein Einfluss auf die Zellkinetik bzw. eine Erhöhung des Schwesterchromatid-Austauschs nachgewiesen werden. Ein synergetischer Effekt des EMF bei gleichzeitiger Applikation von Mitomycin-C auf die Zellkinetik wurde nicht festgestellt.
Beechey et al. 1986	2,45 GHz (cw), 1; 100 & 400 mW/cm ² . Expositionsdauer: 30 min/Tag, 6 Tage pro Woche für insgesamt 14 Tage.	Sperma (Mäuse)	Spermazellen (Chromosomenaberrationen) 2-3, 12-13, 30 & 41 Tage nach der EMF-Exposition.	Bei den EMF-exponierten Mäusen konnte 12-13 Tage nach der Exposition ein geringer, jedoch statistisch signifikanter Anstieg bei der Anzahl von Spermazellen festgestellt werden. An den übrigen Untersuchungstagen wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Kontrollen und den EMF-exponierten Mäusen nachgewiesen. Auf das Auftreten von Chromosomenaberrationen hatten die untersuchten 2,45 GHz-Felder keinen Einfluss.

Tabelle 24 (Fortsetzung): Toxikologische Untersuchungen (Genom, Zellwachstum) unter dem Einfluss hochfrequenter EMF (Frequenzbereich: 60 kHz - 8 GHz).

Autoren	EMF-Exposition	Versuchstiere	untersuchte Parameter	Ergebnis
Lai & Singh 1995	2,45 GHz (cw bzw. gepulst: 2µs; 500 pps). SAR: 0,6 bzw. 1,2 W/kg (Gesamt-Körper). 1 (nur bei gepulstem Feld) bzw. 2 mW/cm ² . Expositionsdauer: 2 h.	Gehirnzellen (Ratten)	Schäden an der DNA (Einzelstrang-Brüche) Untersuchungen unmittelbar bzw. 4 h nach der EMF-Exposition.	Gepulstes Feld: Gehirnzellen (Hippocampus & restliches Gehirn, keine Angaben über weitere Regionen) die unmittelbar nach der Exposition untersucht wurden, wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede zu den Kontrollen auf. Würden die Zellen erst 4 h nach der Exposition untersucht, konnte eine Zunahme an DNA-Schäden nachgewiesen werden. Die Unterschiede gegenüber den Kontrollen waren statistisch signifikant. Würden die Zellen einem ungepulsten 2,45 GHz-Feld ausgesetzt, konnte sowohl unmittelbar als auch nach 4 h eine Zunahme an DNA-Schäden festgestellt werden. Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant.
Lai & Singh 1996	2,45 GHz (cw bzw. gepulst: 2µs; 500 pps). SAR: 1,2 W/kg (Gesamt-Körper). 2 mW/cm ² . Expositionsdauer: 2 h.	Gehirnzellen (Ratten)	Schäden an der DNA (Einzel- und Doppelstrang-Brüche). Untersuchungen 4 h nach der EMF-Exposition.	Sowohl im gepulsten als auch im ungepulsten 2,45 GHz-Feld konnte bei den untersuchten Gehirnzellen von Ratten eine Zunahme an DNA-Schäden (Doppel- und Einzelstrang-Brüche) festgestellt werden. Die Unterschiede zu den Kontrollen waren statistisch signifikant.
Lloyd et al. 1986	2,45 GHz (cw), 0; 4; 40; 100 & 200 W/kg. Expositionsdauer: 20 min.	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatidaustausch-Test.	Die applizierten 2,45 GHz-Felder hatten trotz eines hyperthermischen Effektes keine Effekte auf die untersuchten Blutproben (Lymphocyten).
Maes et al. 1993	2,45 GHz (moduliert mit 50 Hz). SAR: 75,5 W/kg. Expositionsdauer: 30 & 120 min.	Lymphocyten (Mensch)	Chromosomenaberrationen, Schwesterchromatidaustausch-Test, Zellkinetik, Mikronukleus-Test.	Bei den EMF-exponierten Lymphocyten konnte eine statistisch signifikante Zunahme an Chromosomenaberrationen sowie ein Anstieg der Mikronukleibildung festgestellt werden. Die Autoren schließen einen thermischen Effekt nicht aus. Auf den Schwesterchromatid-Austausch und die Zellkinetik hatte das untersuchte 2,45 GHz-Feld keinen Einfluss.
Manikowska Czerska et al. 1985	2,45 GHz (cw), SAR: 0,05; 0,5; 10 & 20 mW/g Expositionsdauer: 6 Tage/Woche für einen Zeitraum von 2 Wochen.	Spermazellen (Mäuse)	Spermatogenese, chromosomale Schäden (Translokation).	In den Spermien der EMF-exponierten Mäuse konnte eine Zunahme an chromosomalen Anomalien (Translokation) bei 10 & 20 mW/cm ² festgestellt werden.
Garaj Vrhovac et al. 1991	7,7 GHz (cw), 30 mW/cm ² . Expositionsdauer: 15, 30 & 60 min.	V79 Zellen (Fibroblasten Lunge, Hamster)	Chromosomenaberrationen, Chromatidbrüche, Chromosomenbrüche, Ringe; a- und dizentrische Chromosomen, Mikronukleus-Test.	Bereits nach einer Expositionsdauer von 15 min. war die Anzahl an Chromosomenaberrationen und der Mikronuklei gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht.
Garaj Vrhovac et al. 1992	7,7 GHz (cw), 0,5; 10; 30 mW/cm ² . Expositionsdauer: 0,5 & 10 mW/cm ² für jeweils 30min. 30 mW/cm ² für 10; 30 & 60 min.	Blutproben (Lymphocyten, Mensch)	Chromosomenaberrationen (Chromatidbrüche, Chromosomenbrüche, Ringe; a- und dizentrische Chromosomen), Mikronukleus-Test.	Bei 0,5 mW/cm ² wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und EMF-exponierten Zellen nachgewiesen. Bei 10 mW/cm ² und den Tests mit 30 mW/cm ² war in den EMF-exponierten Zellen die Anzahl der Mikronuklei und der Chromosomenaberrationen gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht.
Manikowska et al. 1979	9,4 GHz (gepulst: 1000 Hz) 01; 0,5; 1,0 & 10 mW/cm ² Expositionsdauer: 1/Tag (über 2 Wochen, 5 Tage/Woche).	Sperma (Mäuse)	Chromosomenaberrationen	Bei allen Versuchen wurden statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und exponierten Spermazellen festgestellt (Anzahl an Translokationen während der Metaphase, Anzahl an Metaphasen mit univalenten Chromosomen).

3. Epidemiologische Studien

Da aus ethischen Gründen in vielen Fällen teratologische Studien am menschlichen Organismus nicht möglich sind, werden in vivo Studien in der Regel an ausgesuchten Tiermodellen durchgeführt. Die aus solchen Laboruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse lassen, selbst wenn sie entsprechend wissenschaftlich abgesichert sind, nur indirekte und in einigen Fällen nicht immer zutreffende Rückschlüsse auf mögliche Gesundheitsrisiken für den menschlichen Organismus zu. Um diese Lücke zu schließen, werden an, nach bestimmten Kriterien ausgewählten Personengruppen sogenannte epidemiologische Studien zu bestimmten Fragestellungen durchgeführt.

In den bisher veröffentlichten, weltweit durchgeführten epidemiologischen Studien wurden die möglichen Einflüsse von folgenden Quellen untersucht, die nieder- bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder erzeugen:

niederfrequente EMF:

- Hochspannungsleitungen und elektrische Installationen der Stromversorgungen im Haushalt
- Fernseh- und Computerbildschirme
- Heizkabel und Heizdecken

hochfrequente EMF:

- Physiotherapiegeräte
- Mikrowellen
- Kurzwellen

Grundsätzlich sollten bei der Konzeption und der Durchführung von epidemiologischen Studien einige wesentliche Punkte beachtet werden. Die ausgewählten Untersu-

chungsgruppen müssen nach, für das angestrebte Untersuchungsziel relevanten Kriterien (Alter, Vorgeschiechte: z.B. bereits bekannte Erbkrankheiten, Vorschädigungen etc.) ausgewählt werden. Des Weiteren ist bei epidemiologischen Studien zu teratologischen Fragestellungen zu beachten, dass das Auftreten von kongenitalen Missbildungen sowie die Embryonalsterblichkeit in vielen Fällen von bereits latent vorhandenen Veränderungen und Beschädigungen des Genmaterials abhängig ist. Darüber hinaus verändert sich im Verlauf der Schwangerschaft die Empfindlichkeit eines Embryos gegenüber teratogenen Einflüssen (s. Kap. 1.4.). Zudem werden Aborte in einem frühen Entwicklungsstadium sehr oft nicht als solche erkannt, was eine Evaluation von epidemiologischen Daten aus diesem kritischen Stadium der Embryonalentwicklung nahezu unmöglich macht.

Die Gruppengröße muss bei Studien mit einer geringen statistischen Power ausreichend groß sein, um statistisch absicherbare Ergebnisse zu erhalten, ein Umstand der, wie ein Blick auf die Anzahl der untersuchten Personen zeigt, in einigen Studien nicht unbedingt ausreichend beachtet wurde.

Bei der Zusammensetzung der entsprechenden Kontrollgruppen sollte eigentlich darauf geachtet werden, dass der entsprechende Personenkreis nach Möglichkeit keinem elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist. Dieser Umstand ist jedoch aufgrund der weltweit nahezu flächendeckenden Stromversorgung und dem gut ausgebauten Radio- Fernseh- und Telefonnetz im Prinzip nicht zu gewährleisten.

Somit fehlen im Grunde sämtlichen epidemiologischen Studien „echte“ Kontrollen, was die vorliegenden Ergebnisse erheblich abwertet. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass in einigen Fällen die Expositionsbedingungen sowohl der Testgruppe, als auch die der Kontrollgruppe nur unzureichend oder gar nicht ausgemessen wurden. Fehler im Studiendesign, bedingt durch mangelnde embryologische/teratologische Kenntnisse sowie Vorurteile und subjektive Einschätzungen sowohl bei den Testpersonen als auch bei den Experimentatoren, erschweren in einigen Fällen die wissenschaftliche Bewertung der vorliegenden Daten. Ein erhöhtes Risiko für Schwangere lässt sich aus den bisher vorliegenden Daten nicht ableiten.

Auf die Ergebnisse der in den Tabellen 25 – 28 aufgeführten Studien wird im Rahmen dieser Übersichtsarbeit nicht genauer eingegangen. Dies liegt nicht zuletzt auch daran, dass die genauen Expositions- und Untersuchungsbedingungen in einigen Fällen gar nicht oder nur unvollständig vorliegen. Zudem ist es fraglich, ob sich die von bestimmten ausgewählten Personengruppen erhaltenen Ergebnisse allgemein übertragen und anwenden lassen, da sich bei den vielfältigen Gruppierungen und Bevölkerungsschichten der heutigen Gesellschaft die sozialen Gegebenheiten, die medizinisch-pathologischen und biologischen Parameter sowie die Umweltfaktoren in erheblichen Maße unterscheiden.

Insgesamt betrachtet, geben die Ergebnisse der bisher durchgeführten epidemiologischen Studien keine Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Schwangere, das von Bildschirmen,

elektrischen Installationen und/oder anderen Quellen von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgeht. Im weitaus größten Teil der Studien war kein Zusammenhang mit der Embryonalsterblichkeit, Missbildungen und anderen Beeinträchtigungen der Embryonalentwicklung und niederfrequenten Feldern ersichtlich. Ob dies jedoch für die gesamte Bevölkerung gilt, oder ob zumindest bestimmte Risikogruppen davon ausgenommen sind, ist aufgrund der vorliegenden Daten bisher nicht geklärt. Dass es solche Risikogruppen geben könnte, zeigen die Ergebnisse einer von Li et al. (1995) durchgeführten Studie, bei der in der Nachkommenschaft von Frauen mit einer bestimmten, diagnostizierten Reproduktionsstörung ein Zusammenhang zwischen einer EMF-Exposition und kongenitalen Missbildungen des Urogenitalsystems festgestellt wurde.

Noch keine Aussagen können über mögliche, von Mobilfunkanlagen und Mobiltelefone ausgehende Risiken und Zusammenhänge mit Reproduktionsstörungen getroffen werden, da hierfür noch keine ausreichenden Daten vorliegen.

Tabelle 25: Epidemiologische Studien (Bildschirme)

Autoren	Titel	Art der EMF-Exposition	Ergebnis der Studie
al Ansary & Babay 1994	Risk factors for spontaneous abortion: a preliminary study on Saudi women.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen Abortrate und EMF-Exposition.
Bracken et al. 1995	Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth retardation.	Bildschirme, elektrische Heizdecken, elektrisch beheizte Wasserbetten	Kein Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und Embryonalentwicklung und Geburtsgewicht.
Brandt & Nielsen 1990	Congenital malformations among children of women working with video display terminals.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen kongenitalen Missbildungen und den untersuchten Feldern.
Brandt & Nielsen 1992	Fecundity and the use of video display terminals.	Bildschirme terminals.	Nur wenn die untersuchten Personen mehr als 21 Stunden pro Woche dem EMF ausgesetzt waren, konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem EMF und der Fruchtbarkeit festgestellt werden.
Bryant & Love 1989	Video display terminal use and spontaneous abortion.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen Abortrate und EMF-Exposition.
Kurppa et al. 1985	Birth defects and exposure to video display terminals during pregnancy. A Finnish case-referent study.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen kongenitalen Missbildungen und EMF-Exposition.
Li et al. 1995	Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility.	Bildschirme, Heizdecken, elektrisch beheizte Wasserbetten	Kein Zusammenhang zwischen kongenitalen Missbildungen des Urogenitalsystems und EMF-Exposition bei gesunden Frauen. Erhöhtes Risiko bei Frauen mit Beeinträchtigungen der Fruchtbarkeit.
Lindbohm et al. 1992	Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion.	Bildschirme	Geringe Zunahme an spontanen Aborten bei höheren Intensitäten (>0,9 mT).
Nielsen & Brandt 1992	Fetal growth, preterm birth and infant mortality in relation to work with video display terminals during pregnancy.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen EMF und Embryonalentwicklung, Frühgeburten sowie Kindersterblichkeit.
Nurminen & Kurppa 1988	Office employment, work with video display terminals, and course of pregnancy. Reference mothers' experience from a Finnish case-referent study of birth defects.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Schwangerschaft und EMF-Exposition.
Parazzini et al. 1993	Video display terminal use during pregnancy and reproductive outcome—a meta-analysis.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen einer EMF-Exposition und der Abortrate, dem Geburtsgewicht oder kongenitalen Missbildungen.
Pastore et al. 1997	Risk of stillborn from occupational and residential exposures.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen Totgeburten und EMF-Exposition.
Roman et al. 1992	Spontaneous abortion and work with visual display units.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen Abortrate und EMF-Exposition.
Schnorr et al. 1991	Video display terminals and the risk of spontaneous abortion.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen Abortrate und EMF-Exposition.
Tikkanen & Heinonen 1990	Occupational risk factors for congenital heart disease.	Bildschirme	Etwas erhöhtes Risiko für erblich bedingte Erkrankungen d. Herzens bei EMF-Exposition.
Tikkanen et al. 1990	Cardiovascular malformations and maternal exposure to video display terminals pregnancy.	Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und kardiovaskulären Missbildungen..
Windham et al. 1990	Use of video display terminals during pregnancy and the risk of spontaneous abortion, low birthweight, or intrauterine growth retardation.	Bildschirme	Die Abortrate war bei den EMF-exponierten Personen in den ersten 12 Schwangerschaftswochen etwas erhöht. Zudem kam es zu einem geringen Anstieg an pränatalen Wachstumsstörungen.

Epidemiologische Untersuchungen

Tabelle 26: Epidemiologische Studien (elektrische Heizdecken, beheizte Wasserbetten & Heizkabel)

Autoren	Titel	Art der EMF-Exposition	Ergebnis der Studie
Belanger et al. 1998	Spontaneous abortion and exposure to electric blankets and heated water beds.	Elektrische Heizdecken, elektrisch beheizte Wasserbetten	Kein Zusammenhang zwischen Abortrate und EMF-Exposition.
Bracken et al. 1995	Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth retardation.	elektrische Heizdecken, elektrisch beheizte Wasserbetten, Bildschirm	Kein Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und Embryonalentwicklung und Geburtsgewicht.
Dlugosz et al. 1992	Congenital defects and electric bed heating in New York State: a register-based case-control study.	elektrische Heizdecken	Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Gaumenspalten und Missbildungen des Neuralrohrs und der Verwendung von elektrischen Heizdecken festgestellt werden.
Li et al. 1995	Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility.	Heizdecken, elektrisch beheizte Wasserbetten, Bildschirme	Kein Zusammenhang zwischen kongenitalen Missbildungen des Urogenitalsystems und EMF-Exposition bei gesunden Frauen. Erhöhtes Risiko bei Frauen mit Beeinträchtigungen der Fruchtbarkeit.
Shaw et al. 1999	Maternal preconception use of electric bed-heating devices and risk for neural tube defects and orofacial clefts.	elektrische Heizdecken, elektrisch beheizte Betten	Leichte Zunahme an kongenitalen Missbildungen (z.B. Gaumenspalten). Risiko nach Auffassung der Autoren sehr gering.
Wertheimer & Leeper 1989	Fetal loss associated with two seasonal Sources of electromagnetic field exposure.	elektrische Heizkabel elektrisch beheizte Wasserbetten (60 Hz, 1 μ T, 10-50 V/m)	Die Abortrate war mit der jahreszeitlich bedingten Verwendung von Deckenheizkabeln und elektrisch beheizten Betten korreliert.

Tabelle 27: Epidemiologische Studien (Hochspannungsleitungen)

Autoren	Titel	Art der EMF-Exposition	Ergebnis der Studie
Martin et al. 1986	Epidemiologic study of Holstein dairy cow performance and reproduction near a high-voltage direct-current powerline.	Hochspannungsleitungen	Kein Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und Beeinträchtigungen der Reproduktion.
Robert 1993	Birth defects and high voltage power lines: an exploratory study based on registry data.	Hochspannungsleitungen (225 & 400 kV)	Statistisch signifikant weniger Missbildungen bei Kindern, die im Bereich von Hochspannungsleitungen geboren waren.
Robert et al. 1996	Case-control study on maternal residential proximity to high voltage power lines and congenital anomalies in France.	Hochspannungsleitungen (225 & 400 kV)	Kein Zusammenhang zwischen d. Entfernung zu Hochspannungsleitungen und kongenitalen Missbildungen.

Tabelle 28: Epidemiologische Studien (Kurz- und Mikrowellen Physiotherapiegeräte)

Autoren	Titel	Art der EMF-Exposition	Ergebnis der Studie
Gubéran et al. 1994	Gender ratio of offspring and exposure to shortwave radiation among female physiotherapists.	Kurzwellen Physiotherapiegeräte	Kein Zusammenhang zwischen dem Geschlechtsverhältnis bei Neugeborenen und EMF-Exposition.
Källén et al. 1982	Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: Is non-ionizing radiation a fetal hazard?	Kurzwellen, Mikrowellen, Ultraschall, Röntgenstrahlung	Geringe Zunahme an Missbildungen und Embryonalsterblichkeit bei Exposition zu Kurzwellen. Alle anderen Expositionen: Kein Zusammenhang zwischen Missbildungen, Embryonalsterblichkeit, Geburtsgewicht und Schwangerschaftsdauer.
Larsen 1991	Congenital malformations and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among Danish physio-therapists.	Kurz- und Mikrowellen Physiotherapiegeräte	Kein Zusammenhang zwischen kongenitalen Missbildungen und EMF-Exposition.
Ouellet Hellstrom & Stewart 1993	Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation.	Kurz- und Mikrowellen Physiotherapiegeräte	<i>Mikrowellen:</i> Geringer Anstieg an Fehlgeburten. <i>Kurzwellen:</i> Kein Zusammenhang zwischen EMF und Fehlgeburten.

4. Reviewartikel

Nur drei der in diesem Kapitel vorgestellten Übersichtsarbeiten befassen sich mit teratologischen Studien, in denen *hochfrequente* elektromagnetische Felder untersucht wurden (O'CONNOR 1999; ROBERT 1999; VERSCHAEVE & MAES 1998). Allerdings werden in der Studie von ROBERT (1999) in der Hauptsache Untersuchungen mit niederfrequenten Feldern vorgestellt. Die übrigen der in Tabelle 29 aufgeführten Arbeiten befassen sich ausschließlich mit niederfrequenten EMF und wurden zum Teil bereits zu Beginn der neunziger Jahre angefertigt.

Die bisher wohl umfassendste Studie ist die von BRENT et al. 1993 angefertigte Übersichtsarbeit, in der rund 100 Arbeiten über teratologische Studien mit niederfrequenten elektromagnetischen Feldern Eingang gefunden haben. Darüber hinaus enthält die Arbeit von BRENT und Kollegen einen Exkurs in die Physik niederfrequenter elektromagnetischer Felder sowie eine kompetente Einführung in die Teratologie. Die einzelnen Arbeiten sind, geordnet nach Labor- und epidemiologischen Studien, in Tabellen aufgeführt. Diese Tabellen enthalten neben Angaben zu den untersuchten elektromagnetischen Feldern, das untersuchte Tiermodell, die Anzahl der Probanden bzw. der Versuchstiere sowie einen kurzen Kommentar der Autoren. Obwohl die Bewertung des Untersuchungsgebietes insgesamt sowie der einzelnen Untersuchungskomplexe an sich, nicht immer völlig wertfrei erscheint, handelt es sich bei der Arbeit von BRENT et al. (1993) um eine sehr kompetente und vorzüglich

ausgearbeitete Übersichtsarbeit über die bis 1992/93 erschienenen Studien zu möglichen teratologischen Effekten niederfrequenter elektromagnetischer Felder. Mehr oder weniger identisch ist eine 1999, diesmal mit BRENT als alleinigem Autor erschienene Übersichtsarbeit (BRENT 1999). Diese Studie befasst sich ausschließlich mit Laboruntersuchungen (in vivo & in vitro). Leider enthält die neue Übersichtsarbeit nur sehr wenige Arbeiten neueren Datums (nach 1993) und auch die Schlüsse und Konsequenzen, die der Autor aus dem besprochenen Material zieht, entsprechen im Wesentlichen denen seiner 1993 veröffentlichten Studie (BRENT et al. 1993). Insgesamt steht BRENT den von ihm bzw. seinen Kollegen vorgestellten Arbeiten sehr kritisch gegenüber. Dies betrifft nicht nur die in den Arbeiten beschriebenen Ergebnisse, sondern auch die in vielen Fällen fehlerhafte Konzeption der Versuche.

Erheblich weniger umfangreich stellt sich eine 1991 erschienene Übersichtsarbeit von JUUTILAINEN dar. Neben einer kurzen Einführung und Abhandlung über niederfrequente elektromagnetische Felder werden vor allem in vivo Versuche an Hühner- und Säugetierembryonen sowie epidemiologische Arbeiten, der größte Teil davon über mögliche Gesundheitsrisiken, die von Bildschirmen und Monitoren ausgehen, diskutiert und analysiert. Insgesamt ist die Interpretation der in der Studie aufgeführten Arbeiten relativ zurückhaltend. Die Ergebnisse der Studien an Hühnerembryonen werden dahingehend beurteilt, dass niederfrequente EMF die Embryonalentwicklung von Hühnern nachteilig beeinflussen können, wobei jedoch

die beteiligten biologischen Faktoren und Umweltparameter bisher noch nicht hinreichend verstanden worden sind. Als weniger eindeutig sieht JUUTILAINEN die Ergebnisse aus den Untersuchungen an Säugetieren. Die Ergebnisse aus diesen Studien deuteten darauf hin, dass vor allem die Embryonalsterblichkeit bei den EMF-exponierten Embryonen erhöht ist, während kongenitale Missbildungen weniger häufig zu beobachten sind (JUUTILAINEN 1991). Darüber hinaus führten, nach Meinung des Autors, die Untersuchungen an Mäusen eher zu teratogenen Effekten als solche an Ratten. Insgesamt geht JUUTILAINEN davon aus, dass niederfrequente EMF nur zu vergleichsweise geringen Beeinträchtigungen der Embryonalentwicklung bei Säugetieren führen. Aus den Ergebnissen der von ihm besprochenen epidemiologischen Studien ergeben sich für JUUTILAINEN keine eindeutigen Hinweise auf mögliche Schwangerschaftsrisiken für EMF-exponierte Frauen.

Derselbe Autor, JUUTILAINEN, war auch an dem 1998 erschienen Review von HUUSKONEN et al. beteiligt. In dieser Übersicht werden epidemiologische Studien sowie Laboruntersuchungen mit niederfrequenten Magnetfeldern vorgestellt. Bei den Laborstudien liegt der Schwerpunkt auf Arbeiten an Säugetieren, die an Hühnern werden nur sehr kurz erwähnt. Die Arbeiten werden sowohl in einem Text besprochen als auch in Übersichtstabellen aufgeführt. Die Autoren gehen davon aus, dass die untersuchten niederfrequenten EMF insgesamt nur ein geringes Risiko für die Embryonalentwicklung darstellen. Lediglich für sehr frühe Embryonalstadien gäbe es ein etwas erhöhtes Risiko (Resorptionen,

Frühaborte). Zukünftige Projekte sollten sich daher, so die Meinung der Autoren, auf frühe Stadien der Embryonalentwicklung, postnatale Effekte (nach pränataler Exposition) sowie die Interaktion von elektromagnetischen Feldern mit bekannten teratogenen Agentien beschränken (HUUSKONEN et al. 1998).

BERMAN behandelt in seinem 1990 erschienenen Reviewartikel fast ausschließlich die bis dahin erschienenen Arbeiten an Hühnerembryonen unter dem Einfluss von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern. Dabei werden die in dieser Studie berücksichtigten Arbeiten anhand der Expositionsbedingungen und der statistischen Methoden diskutiert. Für die teilweise voneinander abweichenden Ergeb-

nisse werden die in vielen Fällen unterschiedlichen Expositionsbedingungen, Umweltparameter und statistischen Methoden verantwortlich gemacht. Die Gesamtbeurteilung der Ergebnisse der in die Studie eingegangenen Arbeiten ist vergleichbar zu der von JUUTILAINEN (1991), wobei mögliche Rückschlüsse über der Übertragbarkeit der beobachteten Effekte auf den Menschen unter dem Hinweis auf die noch ungeklärten Wirkungsmechanismen vermieden werden.

CHERNOFF et al. (1992) stellen in ihrer Literaturübersicht ca. 100 Arbeiten vor. Dabei handelt es sich um epidemiologische Studien sowie um Laboruntersuchungen an verschiedenen Tiermodellen mit elektrischen und magnetischen Feldern. Die

einzelnen Arbeiten werden in den entsprechenden Kapiteln geordnet nach den untersuchten Feldern und verwendeten Tiermodellen in knapper Form vorgestellt. Die in den Arbeiten beschriebenen Ergebnisse werden sehr kritisch diskutiert. Die Untersuchungen an Hühner- bzw. Wachtelembrionen werden aufgrund ihrer heterogenen Ergebnisse sowie, so die Auffassung der Autoren, wegen der morphologischen Unterschiede zwischen Vögeln und Säugern, als „schwer interpretierbar“ angesehen. Auch die Studien an Säugetieren ergeben, da die Ergebnisse vielfach nicht reproduziert wurden, keine eindeutigen Hinweise auf mögliche teratogene Wirkungen von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern. Dies gelte auch für die in der Übersichts-

Tabelle 29: Übersichtsarbeiten

Autoren	Titel	Art der EMF-Exposition	Versuchstiere, -Modelle
Berman 1990	The developmental effects of pulsed magnetic fields on animal embryos.	Niederfrequente Felder	Hühner, Säugetiere
Brent et al. 1993	Reproductive and teratologic effects of electromagnetic fields.	Niederfrequente Felder	Zellkulturen, Einzeller, Insekten, Fische, Amphibien, Hühner, Säugetiere, Epidemiologische Studien
Brent 1999	Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: A review of in vivo and in vitro studies using animal models.	Niederfrequente Felder	u.a. Hühner, Säugetiere
Chernoff et al. 1992	A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields.	Niederfrequente Felder	Vögel (Hühner & Wachteln), Säugetiere, Epidemiologische Studien.
Huuskonen et al. 1998	Teratogenic and reproductive effects of low-frequency magnetic fields.	Niederfrequente Felder	Hühner, Säugetiere (Ratten, Mäuse), Epidemiologische Studien
Juutilainen 1991	Effects of low-frequency magnetic fields on embryonic development and pregnancy.	Niederfrequente Felder	Hühner, Säugetiere (Ratten, Mäuse), Epidemiologische Studien
O'Connor 1999	Intrauterine effects in animals exposed to radiofrequency and microwave fields.	Hochfrequente Felder	u.a.: Insekten, Wachteln, Mäuse, Ratten.
Robert 1999	Intrauterine effects of electromagnetic fields - (low-frequency, mid-frequency RF and microwave): Review of epidemiologic studies.	Nieder- und hochfrequente Felder	Epidemiologische Studien.
Verschaeve & Maes 1998	Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields.	Hochfrequente Felder	Verschiedene in vitro und in vivo Studien an Hamstern, Mäusen, Menschen, Ratten zu genetischen, onkologischen und teratologischen Fragestellungen.

arbeit vorgestellten epidemiologischen Studien (CHERNOFF et al. 1992).

Die 1999 erschienene Übersichtsarbeit von ROBERT befasst sich ausschließlich mit den Ergebnissen aus über 50 epidemiologischen Studien über mögliche Risiken von nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern für die menschliche Embryonalentwicklung. Die Aussagekraft der bisher vorliegenden epidemiologischen Studien wird im Review von ROBERT als gering beurteilt, wobei über hochfrequente Felder, mangels ausreichender Daten, keine Aussage gemacht wird. Insgesamt werden mögliche, von elektromagnetischen Feldern ausgehende Risiken für die menschliche Embryonalentwicklung als sehr gering eingestuft.

Die von VERSCHAEVE & MAES (1997) veröffentlichte Übersichtsarbeit analysiert Arbeiten mit hochfrequenten Feldern zu den Themenkomplexen Genetik, Onkologie und Teratologie.

Insgesamt sind neben zahlreichen Arbeiten zu genetischen und zytologischen Fragestellungen noch etwa 25 teratologische Arbeiten, allesamt an Säugetierembryonen, aufgeführt. Das sich mit teratologischen in vivo Studien befassende Kapitel ist sehr kurz, eine eingehende Analyse der angeführten Arbeiten findet sich nicht. Aus den vorliegenden Arbeiten schließen die Autoren, dass die von hochfrequenten Feldern verursachten Effekte ausschließlich auf thermische Wirkungen der untersuchten Felder zurückzuführen sind (VERSCHEVE & MAES 1997). Der weitaus größere Teil der Übersichtsstudie von VERSCHAEVE & MAES befasst sich mit toxikologischen Untersuchungen (Genetik), Studien zur

Fertilität von HF-exponierten Tieren und Arbeiten zu onkologischen Fragestellungen.

O'CONNOR analysiert in ihrem 1999 erschienenen Reviewartikel teratologische Studien mit hochfrequenten Feldern, die an Insekten, Wachteln, Ratten und Mäusen durchgeführt wurden. Die in einigen dieser Untersuchungen beobachteten Einflüsse auf das Körpergewicht der HF-exponierten Embryonen werden von O'CONNOR als klinisch unbedeutend eingestuft. Ein von hochfrequenten Feldern ausgehendes Risiko wird als relativ gering beurteilt, eventuell auftretende Beeinträchtigungen werden auf thermische Effekte, bedingt durch zu hohe Leistungsflussdichten, zurückgeführt (O'CONNOR 1999).

5. Risiko für Schwangere durch EMF?

Insgesamt betrachtet, deuten die bisher vorliegenden Ergebnisse darauf hin, dass nichtionisierende elektromagnetische Felder im athermischen Bereich für den Menschen sehr wahrscheinlich nur ein vergleichsweise schwaches teratogenes Potential aufweisen. Bei den Untersuchungen an Säugetieren konnten zwar in einigen Studien teratogene Effekte der untersuchten niederfrequenten Felder festgestellt werden, die sich aber entweder nicht reproduzieren ließen oder auf bestimmte Zuchtformen (z.B. CBA/S Mäuse) beschränkt waren (z.B. SVEDENSTÅL & JOHANSON 1995; TYNDALL 1993). Bei den Untersuchungen an Hühner- bzw. Wachtelembrionen wurden fast ausschließlich die ersten 2-3 Tage der Embryonalentwicklung untersucht. Studien, in denen die Embryonen bis zum Ausschlüpfen getestet wurden, fehlen hingegen völlig. Aus diesem Grund ist nicht sichergestellt, dass die in einigen Versuchen festgestellten Störungen bei der Embryonalentwicklung auch notwendigerweise bei den ausgeschlüpfen Küken auftreten.

Die bei den Untersuchungen mit hochfrequenten Feldern bei Säugetieren und Hühnern bzw. Wachteln nachgewiesenen teratogenen und embryoletalen Effekte sind zum größten Teil sehr wahrscheinlich auf thermische Effekte der untersuchten EMF zurückzuführen. Die Frage, in welchem Maße das existierende Mobilfunknetz (Basisstationen, Antennen, Mobiltelefone) ein Risiko für die Embryonalentwicklung beim Menschen (und auch bei Tieren, z.B.

Risiko für Schwangere durch EMF?

Nutzvieh, Wild, Brutvögel) darstellt, kann derzeit noch nicht beantwortet werden. Obwohl diese Problematik schon seit einigen Jahren im Interesse der öffentlichen Diskussion steht, sind mit den im Mobilfunk verwendeten Frequenzen nur sehr wenige (900 MHz, D-Netz) oder überhaupt keine (1,8 GHz, E-Netz, schnurlose Telefone) Studien durchgeführt worden. Immerhin deuten die wenigen, mit Feldern im 900 MHz-Bereich, an Säugetieren (Ratten) durchgeführten Untersuchungen darauf hin, dass auch hier keine bzw. nur sehr geringe Effekte auf die Embryonalentwicklung zu erwarten sind (z.B. BORNHAUSEN & SCHEINGRÄBER 2000, JENSH 1997). Als fehlerhaft oder schlicht unseriös sind hingegen solche Studien zu betrachten, bei denen unter dem Einfluss von hochfrequenten Feldern (z.B. 900 MHz, 1,25 GHz) eine Embryonalsterblichkeit von bis zu 100% (z.B. YOUBICIER-SIMO et al. 1998, VARGA 1992) beschrieben wurde. Leider sind diese Arbeiten bis heute noch nicht durch seriöse Arbeiten wissenschaftlich widerlegt worden. Die bisher vorliegenden Daten aus einer Reihe von zellbiologischen Studien konnten keinen Nachweis über genotoxische bzw. zytotoxische Wirkungen der untersuchten Felder im 900 MHz-Bereich liefern (z.B. MAES et al. 2001, Gos et al. 2000). Die in einigen Studien (z.B. bei 2,45 GHz) beobachteten mutagenen bzw. toxischen Effekte sind auch mit großer Sicherheit auf thermische Wirkungen der getesteten EMF zurückzuführen (MAES et al. 1993). Allerdings fehlen auch hier Studien mit Feldern im 1,8 GHz-Bereich gänzlich.

Ein sehr interessanter Aspekt sind die Untersuchungen, in denen

gleichzeitig zu den untersuchten elektromagnetischen Feldern teratogene, mutagene oder toxische Agentien appliziert wurden, um herauszufinden, ob es möglicherweise zu synergetischen, antagonistischen (protektiven) oder potenzierenden Effekten kommt. Während es hierzu bereits zahlreiche zytologische Untersuchungen (z.B. EMF + Mitomycin C) gibt, sind es bisher nur sehr wenige in vivo Studien. Dass es hier durchaus Interaktionen zwischen EMF und anderen Faktoren bzw. Agentien geben könnte, zeigen z.B. die Studien von CHIANG et al. 1995 (Kap. 2.1.2., Tab. 9) oder NELSON et al. 1991 (Kap. 2.2.2., Tab. 14) bei denen die untersuchten elektromagnetischen Felder bei einer gleichzeitigen Applikation von teratogenen Agentien zu einer deutlichen Zunahme an Missbildungen geführt hatten. Aufgrund des bisher noch sehr geringen Datenmaterials, wäre es notwendig, noch weitere Untersuchungen durchzuführen, wobei vor allem auch noch andere Parameter (z.B. Stress, Krankheiten) oder Genussmittel (z.B. Nikotin, Alkohol) in Verbindung mit elektromagnetischen Feldern überprüft werden sollten.

Wie im Kapitel 1.4. bereits eingehend beschrieben, führt der weitaus größte Teil der bisher bekannten Teratogene erst in Verbindung mit bereits vorhandenen genetischen Defekten zu Anomalien, Missbildungen oder dem Absterben des Embryos bzw. Fötus. Diese genetische Disposition dürfte, neben einigen „exogenen“ Faktoren (z.B. Haltungs- und Versuchsbedingungen), mit einiger Wahrscheinlichkeit eine der Ursachen für die sich widersprechenden Ergebnisse vieler

Studien (z.B. „Henhouse-Project“, Kap. 2.1.1.) sein. Es wäre daher notwendig, auch hierzu gezielte Untersuchungen mit speziellen Zuchtstämmen durchzuführen. Dass tatsächlich ein Zusammenhang zwischen der genetischen Disposition und den teratogenen Wirkungen von elektromagnetischen Feldern bestehen könnte, belegen die Untersuchungen von TYNDALL & SULIK (1991) bzw. TYNDALL (1993) an C57BL/6J Mäusen mit einer genetischen Disposition für Missbildungen der Augen. In beiden Studien war bei den EMF-exponierten Tieren die Anzahl dieser speziellen Anomalien gegenüber den Kontrollen statistisch signifikant erhöht (Kap. 2.1.2., Tab. 11).

Trotz der großen Anzahl an veröffentlichten Studien kann die Frage über die tatsächliche teratogene Potenz von elektromagnetischen Feldern derzeit noch nicht befriedigend beantwortet werden. Aufgrund der vielen noch offenen Fragen besteht daher nach wie vor ein erheblicher Forschungsbedarf. Dies gilt vor allem auch in Hinblick auf die aktuelle Berichterstattung in den Medien, wo Berichte über die Häufung von Missbildungen und eine erhöhte Mortalität im Tierbestand von Bauernhöfen in der Nähe von Sendeanlagen, die Unsicherheit und Angst in der Öffentlichkeit weiter verstärken.

6. Literatur

- AGER, D.D. & J.A. RADUL (1992) Effect of 60-Hz magnetic fields on ultraviolet light-induced mutation and mitotic recombination in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutat. Res.* 283 (4): 279-286
- AL ANSARY, L.A. & Z.A. BABAY (1994) Risk factors for spontaneous abortion: a preliminary study on Saudi women. *J. R. Soc. Health* 114(4): 188-193
- ANDERSON BROWN, A.F. (1988) *Kunstbrut Handbuch für Züchter*, Verlag M. & H. Schaper Alsfeld Hannover
- ANGELL, R.F., SCHOTT, M.R., RALEIGH, R.J. & T.D. BRACKEN (1990) Effects of a high-voltage direct-current transmission line on beef cattle production. *Bioelectromagnetics* 11 (4): 273-282
- BARDASANO, J.L., MEYER, A.J. & L. PICAZO (1986) Pineal cells with multipolar spindles in chicken embryos exposed to magnetic fields - first trials. *Z. mikrosk. Anat. Forsch., Leipzig* (100), 1: 85-92
- BARDASANO, J.L. & J. BUJAN (1986) Pineal cells with multipolar spindles in chicken embryos exposed to magnetic fields II. Quantitative study. *Z. mikrosk. Anat. Forsch., Leipzig* (100), 1: 545-551
- BEECHY, C.V., BROOKER, D., KOWALCZUK, C.I., SAUNDERS, R.D. & A.G. SEARLE (1986) Cytogenetic effects of microwave irradiation on male germ cells of the mouse. *Int. Radiat. Biol. Relat. Stud. Phys. Chem. Med.* 50 (5): 909-918
- BELANGER, K., LEADERER, B., HELLENBRAND, K., HOLFORD, T.R., McSHARRY, J., POWER, M.E. & M.B. BRACKEN (1998) Spontaneous abortion and exposure to electric blankets and heated water beds. *Epidemiology* 9 (1): 36-42
- BERMAN, E. (1990) The developmental effects of pulsed magnetic fields on animal embryos. *Reproductive Toxicology* Vol. 4: 45-49
- BERMAN, E. & H.B. CARTER (1984) Decreased bodyweight in foetal rats after irradiation with 2450-MHz (CW) microwaves. *Health Phys.* 46: 537-542
- BERMAN, E., KINN, J.B. & H.B. CARTER (1978) Observation of mouse foetuses after irradiation with 2.45 GHz microwaves. *Health Phys.* 35: 791-801
- BERMAN, E., CARTER, H.B. & D. HOUSE (1981) Observation of rat foetuses after irradiation with 2450-MHz (CW) microwaves. *J. Microwave Power* 16: 9-15
- BERMAN, E., CARTER, H.B. & D. HOUSE (1982) Reduced weight in mice of offspring after in utero exposure to 2450-MHz (CW) microwaves. *Bioelectromagnetics* 3
- BERMAN, E., CARTER, H.B. & D. HOUSE (1984): Growth and development of mice offspring after irradiation in utero with 2,450-MHz microwaves. *Teratology* Vol. 30 (3): 393-402
- BERMAN, E., CHACON, L., HOUSE, D. KOCH, B.A., KOCH, W.E., LEAL, J., LØVTRUP, S., MANTIPLY, E., MARTIN, A.H., MARTUCCI, G.I., MILD, K.H., MONAHAN, J.C., SANDSTRÖM, M., SHAMSAIFAR, K., TELL, R., TRILLO, M.A.; UBEDA, A. & P. WAGNER (1990) Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field. *Bioelectromagnetics* 11: 169-189
- BERMANN, E., WEIL, C., PHILLIPS, P.A., CARTER, H.B. & D.E. HOUSE (1992) Fetal and maternal effects of continual exposure of rats to 970-MHz circularly-polarized microwaves. *Electro- and Magnetobiology* 11(1): 43-54
- BORNHAUSEN, M. & H. SCHEINGRÄBER (2000): Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effects on operant-behavior performances of adult rats. *Bioelectromagnetics* 21: 566-574
- BRACKEN, M.B., BELANGER, K., HELLENBRAND, K., DLUGOSZ, L., HOLFORD, T.R., McSHARRY, J.E., ADESSO & B. LEADERER (1995) Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth retardation. *Epidemiology* Vol. 6 (3): 263-270
- BRAITHWAITE, L., MORRISON, W., OTTEN, L. & D. PEI (1991): Exposure of fertile chicken eggs to microwave radiation (2.45 GHz, CW) during incubation: technique and evaluation. *J. Microw. Power Electromagn. Energy*: 26:4, 206-214
- BRANDT, L.P. & C.Y. NIELSEN (1990) Congenital malformations among children of women working with video display terminals. *Scand. J. Work. Environ. Health.* 16: 509-515
- BRANDT, L.P. & C.Y. NIELSEN (1992) Fecundity and the use of video display terminals. *Scand. J. Work Environ. Health* 18 (5): 298-301
- BRENT, R. (1999) Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: A review of in vivo and in vitro studies using animal models. *Teratology* 59 (4): 261-286
- BRENT R.L., GORDON, W.E., BENNETT, W.R. & D.A. BECKMAN (1993) Reproductive and teratologic effects of electromagnetic fields. *Reproductive Toxicology* Vol. 7: 535-580
- BROWN-WOODMAN, P.D.C. & J.A. HADLEY (1988) studies of the teratogenic potential of exposure of rats to 27.12 MHz pulsed shortwave radiation. *J. Bioelectricity* 7 (1): 57-67
- BRYANT, H.E. & E.J. LOVE (1989) Video display terminal use and spontaneous abortion risk. *Int. J. Epidemiol.* 18: 132-138
- BYMAN, D., BATTISTA, S.P., WASSERMAN, F.E. & T.H. KUNZ (1985) Effect of microwave irradiation (2.45 GHz, CW) on egg weight loss, egg hatchability, and hatchling growth of the Coturnix quail. *Bioelectromagnetics* 6 (3): 271-282
- CAMERON, I.L., HARDMAN, W.E., WINTERS, W.D., ZIMMERMAN, S. & A.M. ZIMMERMAN (1993) Environmental magnetic fields: influences on early embryogenesis. *J. of Cellular Biochemistry* 51: 417-425
- CHACON, L., TRILLO, M.A., UBEDA, A. & J. LEAL (1990) A 30-Hz pulsed magnetic field can stop early embryonic development. *Journal of Bioelectricity*, 9 (1): 61-66
- CHAHAL, R., CRAIG, D.Q. & R.J. PINNEY (1993) Investigation of potential genotoxic effects of low frequency electromagnetic fields on *Escherichia coli*. *J. Pharm. Pharmacol.* 45 (1): 30-33
- CHAZAN, B., JANIAK, M., KOBUS, M., MARCICKIEWICZ, J., TROSZYESKI, M. & S. SZMIGIELSKI (1983) Effects of microwave exposure in utero on embryonal, fetal and postnatal development of mice. *Biol. Neonate* 44 (6): 339-348
- CHERNOFF, N., ROGERS, J.M. & R. KAVET (1992) A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields. *Toxicology* 74: 91-126
- CHIANG, H., WU, R.Y., SHAO, B.J., FU, Y.D., YAO, G.D. & D.J. LU (1995) Pulsed magnetic field from video display terminals enhances teratogenic effects of cytosine arabinoside in mice. *Bioelectromagnetics* 16: 70-74
- COBB, L.C., JAUCHEM, J.R., MASON, P.A., DOOLEY, M.P., MILLER, S.A., ZIRIAX, J.M. & M.R. MURPHY (2000) Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposed to Ultra-Wideband electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 21: 524-537
- COHEN, M.M., KUNSKA, A., ASTEMBERSKI, J.A. & D. McCULLOCH (1986) The effect of low-level-60-Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells. II. Sister-chromatid exchanges in peripheral lymphocytes and lymphoblastoid cell lines. *Mutat. Res.* 172 (2): 177-184
- COX, C.F., BREWER, L.J., RAEMAN, C.H., SCHRYVER, C.A. CHILD, S.Z. & E.L. CARSTENSEN (1993) A test for teratological effects of power frequency magnetic fields on chick embryos. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 40, No. 7: 605-610
- DAWSON, B.V., ROBERTSON, I.G.C., WILSON, W.R., ZWI, L.J., BOYS, J.T. & A.W. GREEN (1998) Evaluation of potential health effects of 10 kHz magnetic fields: a rodent reproductive study. *Bioelectromagnetics* 19: 162-171
- DELGADO, J.M.R., MONTEAGUDO, J.L., GARCIA GRACIA, M. & J. LEAL (1981) Teratogenic effects of weak magnetic fields. *IRCS Med. Sci.* 9: 392
- DELGADO, J.M.R., LEAL, J. MONTEAGUDO, J.L. & M. GARCIA GRACIA (1982) Embryological changes influenced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields. *J. Anat.* 134: 533-551
- DIETZEL F. (1975) Effects of electromagnetic radiation on implantation and intrauterine development of the rat. *Ann NY Acad. Sci.* 247: 367-376
- DLUGOSZ, L., VENA, J. BYERS, T., SEVER L., BRACKEN, M. & E. MARSHALL (1992) Congenital defects and electric bed heating in New York State: a register based case-control study. *Am. J. Epidemiol.* Vol. 135 (9): 1000-1011

- ESPINAR, A., PIERA V., CARMONA A. & J.M. GUERRERO (1997) Histological changes during development of the cerebellum in the chick embryo exposed to a static magnetic field. *Bioelectromagnetics* 18: 36-46
- FARREL, J.M., LITOVITZ, T.L., PENAFIEL, M., MONTROSE, C.J., DOINOV, P., BARBER, M., BROWN, K.M. & T.A. LITOVITZ (1997): The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics* 18: 431-438
- FARREL, J.M., BARBER, M., KRAUSE, D. & T.A. LITOVITZ (1998) The superposition of a temporally incoherent magnetic field inhibits 60 Hz-induced changes in the OCD activity of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics* 19: 53-56
- FROLEN, H., SVEDENSTÅL, B.M. & L.E. PAULSSON (1993) Effects of pulsed magnetic fields on the developing mouse embryo. *Bioelectromagnetics* 14: 197-204
- GARAJ VRHOVAC, V., HORVAT, D. & Z. KOREN (1991) The relationship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 Chinese hamster cells exposed to microwave radiation. *Mutat. Res.* 263 (3): 143-149
- GARAJ VRHOVAC, V., FUCIC, A. & D. HORVAT (1992) The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutat. Res.* 281 (3): 181-186
- GOODMAN, E.M., GREENEBAUM, B. & M.T. MARRON (1995) Effects of electromagnetic fields on molecules and cells. *International Review of Cytology*, Vol. 158: 279-338
- GOS, P., EICHER, B., KOHLI, J. & W.-D. HEYER (2000): No mutagenic or recombinogenic effects of mobile phone fields at 900 MHz detected in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioelectromagnetics* 21: 515-523
- GREENEBAUM, B., SUTTON, C.H., SUBRAMANIAN VADULA, M., BATTOCLETTI, J.H., SWIONTEK, T., DEKEYSER, J. & B.F. SISKEN (1996) Effects of pulsed magnetic fields on neurite outgrowth from chick embryo dorsal root ganglia. *Bioelectromagnetics* 17: 293-302
- GUBÉRAN, E., CAMPANA, A., FAVAL, P., GUBÉRAN, M., SWEETNAM, P.M. TUYN, J.W. & M. USEL (1994) Gender ratio of offspring and exposure to shortwave radiation among female physiotherapists. *Scand. J. Work Environ. Health* 20 (5): 345-348
- HUUSKONEN, H., JUUTILAINEN, J. & H. KOMULAINEN (1993) Effects of low-frequency fields on fetal development in rats. *Bioelectromagnetics* 14: 205-213
- HUUSKONEN, H., JUUTILAINEN, J., JULKUNEN, A., MÄKI-PAAKANEN, J. & H. KOMULAINEN (1998) Effects of gestational exposure to a video display terminal-like magnetic field (20 kHz) on CBA/S mice. *Teratology* 58 (5): 190-196
- HUUSKONEN H., LINDBOHN M.-L. & J. JUUTILAINEN (1998) Teratogenic and reproductive effects of low-frequency magnetic fields. *Mutation Research* 410: 167-183
- INOUE, M., GALVIN, M.J. & D.I. McREE (1982) Effect of 2.45 GHz microwave radiation on the development of Japanese quail cerebellum. *Teratology* 25: 115-121
- INOUE, M., GALVIN, M.J. & D.I. McREE (1983) Effect of 2,450 MHz microwave radiation on the development of the rat brain. *Teratology* 28: 413-419
- INOUE, M., MATSUMOTO, N., GALVIN, M.J. & D.I. McREE (1982) Lack of effect of 2.45 GHz microwave radiation on the development of preimplantation embryos of mice. *Bioelectromagnetics* 3: 275-283
- JACOBSON-KRAM, D., TEPPER, J., KUO, P., SAN, R.H.C., CURRY, P.T., WAGNER, V.O. & PUTMAN D.L. (1997) Evaluation of potential genotoxicity of pulsed electric and electromagnetic fields used for bone growth stimulation. *Mutation Res.* 388: 45-47
- JENROW, K.A., SMITH, C.H. & A.R. LIBOFF (1995) Weak extremely-low-frequency magnetic fields and regeneration in the planarian *Dugesia tigrina*. *Bioelectromagnetics* 16: 106-112
- JENROW, K.A., SMITH, C.H. & A.R. LIBOFF (1996) Weak extremely-low-frequency magnetic fields-induced regeneration anomalies in the planarian *Dugesia tigrina*. *Bioelectromagnetics* 17: 467-474
- JENSCH, R.P. (1984) Studies of the teratogenic potential of exposure of rats to 6000-MHz microwave irradiation. I. Morphologic analysis at term. *Radiat. Res.* 97: 272-281
- JENSCH, R.P. (1997) Behavioral teratologic studies using microwave radiation: is there an increased risk from exposure to cellular phone and microwave ovens? *Reprod. Toxicol.* Vol. 11 No. 4: 601-611
- JENSCH, R.P., WEINBERG, I. & R.L. BRENT (1982) Teratologic studies of prenatal exposure of rats to 915-MHz microwave radiation. *Radiat. Res.* 92: 160-171
- JENSCH, R.P., WEINBERG, I. & R.L. BRENT (1983) An evaluation of the teratogenic potential of protracted exposure of pregnant rats to 2450 MHz microwave radiation: I Morphologic analysis at term. *J. Toxicol. Environ. Health* 11: 23-35
- JOSHI, M.V., KHAN, M.Z. & P.S. DAMLE (1978) Effect of magnetic field on chick morphogenesis. *Differentiation* 10: 39-43
- JUUTILAINEN, J. (1986) Effects of low frequency magnetic fields on chick embryos. Dependence on incubation temperature and storage of the eggs. *Z. Naturforsch.* 41c: 1111-1115
- JUUTILAINEN, J. (1991) Effects of low-frequency magnetic fields on embryonic development and pregnancy. *Scand. J. Work Environ. Health* 17: 149-158
- JUUTILAINEN, J. & A. LIIMATAINEN (1986) Mutation frequency in salmonella exposed to weak 100-Hz magnetic fields. *Hereditas* 104: 145-147
- JUUTILAINEN, J. & K. SAALI (1986) Development of chick embryos in 1 Hz to 100 kHz magnetic fields. *Radiat. Environ. Biophys.* 25: 135-140
- JUUTILAINEN, J., HUUSKONEN, H. & H. KOMULAINEN (1997) Increased resorptions in CBA mice exposed to low-frequency magnetic fields: an attempt to replicate earlier observations. *Bioelectromagnetics* 18: 410-417
- KÄLLÉN, B., MALMQUIST, G. & U. MORITZ (1982) Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: Is non-ionizing radiation a fetal hazard? *Arch. Environ health* 37 (2): 81-85
- KHALIL, A.M. & W. QASSEM (1991) Cytogenetic effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes in vitro: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics. *Mutat. Res.* 247 (1): 141-146
- KOCH, W.E. & B.A. KOCH (1991) Exposure of chicken embryos to selected magnetic fields. *Journal of Bioelectricity* 10 (1&2): 65-80
- KOLDAYEV, V.M. & Y.V. SHCHEPIN (1996) Effects of electromagnetic radiation on embryos of sea-urchins. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 43: 161-164
- KOWALCZUK, C.I., ROBBINS, L., THOMAS, J.M., BUTLAND, B.K. & R.D. SAUNDERS (1994) Effects of prenatal exposure to 50 Hz magnetic fields on development of mice: I Implantation rate and fetal development. *Bioelectromagnetics* 15: 349-361
- KOWALCZUK, C.I., ROBBINS, L., THOMAS, J.M. & R.D. SAUNDERS (1995) Dominant lethal studies in male mice after exposure to a 50 Hz magnetic field. *Mutation Research* 328: 229-237
- KRUEGER, W.F., GIAROLA, A.J., BRADLEY, J.W. & A. SHREKHAMER (1979) Effects of electromagnetic fields on fecundity in the chicken. *Ann. NY Acad. Sci.* 247: 391-400
- KURPPA, K., HOLMBERG, P.C., RANTALA, K., NURMINEN, T. & L. SAXÉN (1985) Birth defects and exposure to video display terminals during pregnancy. A Finnish case-referent study. *Scand. J. Work Environ. Health* 11(5): 353-356
- LAI, H. & N.P. SINGH (1995) Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 16: 207-210
- LAI, H. & N.P. SINGH (1996) Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 69 (4): 512-521
- LANGMAN, J. (1985) *Medizinische Embryologie*. Thieme Verlag, Stuttgart New York
- LARSEN, A.I. (1991) Congenital malformations and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among Danish physiotherapists. *Scand. J. Work. Environ. Health* 17 (5): 318-323
- LARY, J.M., CONOVER, D.L., FOLEY, E.D. & P.L. HANSEN (1982) Teratogenic effects of 27.12 MHz radiofrequency radiation in rats. *Teratology* 26: 299-309
- LARY, J.M., CONOVER, D.L., JOHNSON, P.H. & R.W. HORNING (1986) Dose-response relationship between body temperature and birth defects in radiofrequency-irradiated rats. *Bioelectromagnetics* 7: 141-149

- LEAL, J., TRILLO, M.A., UBEDA, A., ABRAIRA, V., SHAMSAIFAR, K. & L. CHACON (1986) Magnetic environment and embryonic development: a role of the earth's magnetic field. *IRCS Med. Sci* 14: 1145-1146
- LEAL, J., SHAMSAIFAR, K., TRILLO, M.A., UBEDA, A., ABRAIRA, V. & L. CHACON (1989) Embryonic development and weak changes of the geomagnetic field. *Journal of Bioelectricity* 7 (2): 141-153
- LEVIN, M. & S.G. ERNST (1995) Applied AC and DC magnetic fields cause alterations in the mitotic cycle of early sea urchin embryos. *Bioelectromagnetics* 16: 231-240
- LEVIN, M. & S.G. ERNST (1997) Applied DC magnetic fields cause alterations in the time of cell divisions and developmental anomalies in early sea urchin embryos. *Bioelectromagnetics* 18: 255-263
- LI, D.K., CHECKOWAY, H. & B.A. MUELLER (1995) Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility. *Epidemiology* 6(5): 485-489
- LINDBOHM, M.L., HIETANEN, M., KYIROÖNEN, P., SALLMEN, M., VON NANDELSTADH, P., TASKINEN, H., PEKKARINEN, M., YLIKOSKI, M. & K. HEMMINKI (1992) Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion. *Am. J. Epidemiol.* 136 (9): 1041-1051
- LITOVITZ, T.A., MONTROSE, C.J. DIONOV, P., BROWN, K.M. & M. BARBER (1994) Superimposing spatially coherent electromagnetic noise inhibits field-induced abnormalities in developing chick embryos. *Bioelectromagnetics* 15: 105-113
- LOYD, D.C., SAUNDERS, R.D., MOQUET, J.E. & C.I. KOWALCZUK (1986) Absence of chromosomal damage in human lymphocytes exposed to microwave radiation with hyperthermia. *Bioelectromagnetics* 7 (2): 235-237
- MAES, A., VERSCHAEVE L., ARROYO, A., DE WAGTER, C. & L. VERCRUYSSSEN (1993) In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 14 (6): 495-501
- MAES, A., COLLIER, M., SLAETS, D. & L. VERSCHAEVE (1995) Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (954 MHz). *Electro-magneto Biol.* 14: 91-98
- MAES, A., COLLIER, M., SLAETS, D. & L. VERSCHAEVE (1996) 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of Mitomycin C. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 28: 26-30
- MAES, A., COLLIER, M., VAN GORP, U., VANDONNINCK, S. & L. VERSCHAEVE (1997) Cytogenetic effects of 935,2-MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C. *Mutat. Res.* 393 (1-2): 151-156
- MAES, A., COLLIER, M., VANDONNINCK, S., SCARPA, P. & L. VERSCHAEVE (2000) Cytogenetic effects of 50 Hz magnetic fields of different magnetic flux densities. *Bioelectromagnetics* 21: 589-596
- MAES, A., COLLIER, M. & L. VERSCHAEVE (2001) Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) Microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 22: 91-96
- MAFFEO, S., MILLER, M.W. & E.L. CARSTENSEN (1984) Lack of effect of weak low frequency electromagnetic fields on chick embryogenesis. *J. Anat.* 139: 613-618
- MAFFEO, S., BRAYMAN, A.A., MILLER, M.W., CARSTENSEN, E.L., CIARAVINO, V. & C. COX (1988) Weak low frequency electromagnetic fields and chick embryogenesis: failure to reproduce positive findings. *J. Anat.*:157: 101-104
- MAGRAS, I.N. & T.D. XENOS (1997) RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics* 18: 455-461
- MANIKOWSKA, E., LUCIANI, J.M., SERVANTIE, B., CZERSKI, P., OBRENOVITCH, J. & A. STAHL (1979) Effects of 9.4 GHz microwave exposure on meiosis in mice. *Experientia* 35: 388-390
- MANIKOWSKA CZERSKA, E., CZERSKI, P. & W.M. LEACH (1985) Effects of 2.45 GHz microwaves on meiotic chromosomes of male CBA/CAY mice. *J. Herd.* 76 (1): 71-73
- MARINO, A.A., BECKER, R.O. & B. ULLRICH (1976) The effect of continuous exposure to low frequency electric fields on three generations of mice: a pilot study. *Experientia* 32 (5): 565-566
- MARTIN A.H. (1988) Magnetic fields and the time dependent effects of development. *Bioelectromagnetics* 9: 393-396
- MARTIN, A.H. (1992) Development of chicken embryos following exposure to 60-Hz Magnetic fields with differing waveforms. *Bioelectromagnetics* 13: 223-230
- MARTIN, A.H. & G.C. MOSES (1995) Effectiveness of noise in blocking electromagnetic effects on enzyme activity in the chick embryo. *Biochemistry and Molecular Biology International* Vol. 36 No. 1: 87-94
- MARTIN, F.B., BENDER, A., STEUERNAGEL, G., ROBINSON, R.A., REVSBECH, R., SORENSEN, D.K., WILLIAMSON, N. & A. WILLIAMS (1986) Epidemiologic Study of Holstein dairy cow performance and reproduction near a high-voltage direct-current powerline. *J. Toxicol. Environ. Health* 19 (3): 303-324
- MARTUCCI, G., GAILEY, P.C. & R.A. TELL (1984) Investigations of possible effects of weak pulsed magnetic fields on the chick embryo. Abstract of the 6th annual meeting of the Bioelectromagnetic Society, Atlanta; GA.
- McREE, D.I., HAMRICK, P.E., ZINKL, J., THAXTON, P. & C.R. PARKHURST (1975) Some effects of exposure of the Japanese quail embryo to 2.45-GHz microwave radiation. *Ann N Y Acad. Sci.* 247: 377-390
- MEVISSSEN, M., BUNTENKÖTTTER, S. & W. LÖSCHER (1994) Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. *Teratology* 50: 229-237
- MICHEL, A. & H.O. GUTZEIT (1999) Electromagnetic fields in combination with elevated temperatures affect embryogenesis of *Drosophila*. *Biochemical and Biophysical Research Communications* Vol. 265 (1): 73-78
- MOORE, K.L. & T.V.N. PERSAUD (1996) Embryologie: Lehrbuch und Atlas der Entwicklungsgeschichte des Menschen. 4. Auflage. Schattauer Verlag Stuttgart New York
- MORANDI, M.A., PAK, C.M., CAREN, R.P. & L.D. CAREN (1996) Lack of an EMF-induced genotoxic effect in the Ames assay. *Life Sci.* 59 (3): 263-271
- MURAKAMI, J., YOSHIKUNI, T. & K. MASUDA (1992) Fetal development of mice following intrauterine exposure to a static magnetic field of 6.3 T. *Magn. Reson. Imaging* 10: 433-437
- NAWROT, P.S., McREE, D.I. & R.E. STAPLES (1981) Effects of 2.45 GHz Microwave radiation on embryofetal development in mice. *Teratology* 24: 303-314
- NAWROT, P.S., McREE, D.I. & M.J. GALVIN (1985) Teratogenic, biochemical, and histological studies with mice prenatally exposed to 2.45-GHz microwave radiation. *Radiat. Res.* 102: 35-45
- NELSON, B.K., CONOVER, D.L., SHAW, P.B., WERREN, D.M., EDWARDS, R.M. & A.M. HOBBERMAN (1994) Interactive developmental toxicity of radiofrequency radiation and 2-methoxyethanol in rats. *Teratology* 50: 275-293
- NELSON, B.K., CONOVER, D.L., BRIGHTWELL, W.S., SHAW, P.B., WERREN, D., EDWARDS, R.M. & J.M. LARY (1991) Marked increase in the teratogenicity of the combined administration of the industrial solvent 2-methoxyethanol and radiofrequency radiation in rats. *Teratology* 43: 621-634
- NIELSEN, C.V. & L.P. BRANDT (1992) Fetal growth, preterm birth and infant mortality in relation to work with video display terminals during pregnancy. *Scand. J. Work Environ Health* 18 (6): 346-350
- NORDENSON, I., MILD, K.H., ANDERSSON, G. & M. SANDSTRÖM (1994) Chromosomal aberrations in human amniotic cells after intermittent exposure to fifty hertz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 15 (4): 293-301
- NURMINEN, T. & K. KURPPA (1988) Office employment, work with video display terminals, and course of pregnancy. Reference mothers' experience from a Finnish case-referent Study of birth defects. *Scand. J. Work Environ. Health* 14(5): 293-298
- NGUYEN, P., BOURNIAS-VARDIABASIS, N., HAGGREN, W., ADEY, W.R. & J.L. PHILLIPS (1995) Exposure of *Drosophila melanogaster* embryonic cell cultures to 60-Hz sinusoidal magnetic fields: assessment of potential teratogenic effects. *Teratology* 51: 273-277
- O'CONNOR M.E. (1999) Intrauterine effects in animals exposed to radiofrequency and microwave fields. *Teratology* 59 (4): 287-291

- OUELLET HELLSTROM, R. & W.F. STEWART (1993) Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave - frequency electromagnetic radiation. *Am J. Epidemiol.* 138 (10): 775-786
- PARAZZINI, F., LUCHINI, L., LA VECCHIA, C. & P.G. CROSIGNANI (1993) Video display terminal use during pregnancy and reproductive outcome - a meta-analysis. *J. Epidemiol. Community Health* 47(4): 265-268
- PASTORE, L.M., HERTZ PICCIOTTO, I. & J.J. BEAUMONT (1997) Risk of stillbirth from occupational and residential exposures. *Occup. Environ. Med.* 54(7): 511-518
- PAVOKA, H., TEJNOROVA, I. & J. JERABEK (1994) Study of the effects of 50 Hz magnetic field on embryonic development: dependence on field level and field vector. *Rev. Environ. Health* Vol. 10, No. 3-4: 22-233
- ROBERT, E. (1993) Birth defects and high voltage power lines: an exploratory study on registry data. *Reproductive Toxicology* 7: 283-287
- ROBERT, E., HARRIS, J.A., O. ROBERT & S. SELVIN (1996) Case-control study on maternal residential proximity to high voltage power lines and congenital anomalies in France. *Paediatr. Perinat. Epidemiol.* 10: 32-38
- ROBERT, E. (1999) Intrauterine effects of electromagnetic fields- (low frequency, mid-frequency RF, and microwave): Review of epidemiologic studies. *Teratology* 59 (4): 292-298
- ROMAN, E., BERAL, V., PELERIN, M. & C. HERMON (1992) Spontaneous abortion and work with visual display units. *Br. J. Ind. Med.* 49(7): 507-512
- ROMMEREIM, D.N., KAUNE, W.T., BUSCHBOM, R.L., PHILLIPS, R.D. & M.R. SIKOV (1987) Reproduction and development in rats chronologically exposed to 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics* 8: 243-258
- ROMMEREIM, D.N., ROMMEREIM R.L., SIKOV, M.R., BUSCHBOM R.L. & L.E. ANDERSON (1990) Reproduction, growth, and development of rats during chronic exposure to multiple field strengths of 60-Hz electric fields. *Fundam. Appl. Toxicol.* 14 (3): 608-621
- ROSENTHAL M. & G. OBE (1989) Effects of 50-hertz electromagnetic fields on proliferation and on chromosomal alterations in human peripheral lymphocytes untreated or pretreated with chemical mutagens. *Mutat. Res.* 210 (2): 329-335
- RYAN, B.M., MALLETT, JR., E., JOHNSON, T.R. GAUGER, J.R. & McCORMICK, D.L. (1996) Developmental toxicity study of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in rats. *Teratology* 54: 73-83
- RYAN, B.M., SYMANSKI, R.R., POMERANZ, L.E., JOHNSON, T.R., GUAGER, J.R. & D.L. McCORMICK (1999) Multigeneration reproductive toxicity assessment of 60-Hz magnetic fields using a continuous breeding protocol in rats. *Teratology* 59 (3): 156-162
- SAITO, K. & K. SUZUKI (1995) Maldevelopment of early chick embryos induced by non-thermogenic dose radio frequency radiation at 428 MHz for the first 48 hours. *Cong Anom.* 35: 275-283
- SAITO, K., SUZUKI, K., & S. MOTOYOSHI (1991) Lethal and teratogenic effects of long-term low-intensity radio frequency radiation at 428 MHz on developing chick embryo. *Teratology* 43: 609-614
- SCARFI, M.R., BERSANI, F., COSSARIZZA, A., MONTI, D., ZENI, O., LIOI, M.B., FRANCESCHETTI, G., CAPRI, M. & C. FRANCESCHI (1993) 50 Hz AC sinusoidal electric fields do not exert genotoxic effects (micronucleus formation) in human lymphocytes. *Radiat. Res.* 135 (1): 64-68
- SCARFI, M.R., LIOI, M.B., ZENI, O., FRANCESCHETTI, G., FRANCESCHI, C. & F. BERSANI (1994) Lack of chromosomal aberration and micronucleus induction in human lymphocytes exposed to pulsed magnetic fields. *Mutation Research* 306: 129-133
- SCARFI, M.R., LIOI, M.B., ZENI, O., DELLA NOCE, M., FRANCESCHI, C. & F. BERSANI (1999) Micronucleus frequency and cell proliferation in human lymphocytes exposed to 50 Hz sinusoidal magnetic fields. *Health Phys.* 76 (3):244-250
- SCHNORR, T.M., GRAJEWSKI, B.A., HORNUNG, R.W., THUN, M.J., EGELAND, G.M., MURRAY, W.E., CONOVER, D.L. & W.E. HALPERIN (1991) Video display terminals and the risk of spontaneous abortion. *N. Engl. J. Med.* 324 (11): 727-733
- SCHUMACHER, G.H.; FANGHÄNEL, J. & T.V. PERSAUD (1992) *Teratologie*. Gustav Fischer Verlag, Jena
- SHAW, G.M., NELSON, V., TODOROFF, K., WASSERMAN, C.R. & R.R. NEUTRA (1999) Maternal periconceptional use of electric bed-heating devices and risk for neural tube defects and orofacial clefts. *Teratology* 60 (3): 124-129
- SIKOV, M.R., MONTGOMERY, L.D., SMITH, L.G. & R.D. PHILLIPS (1984) Studies on prenatal and postnatal development in rats exposed to 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics* 5 (1): 101-112
- SIKOV, M.R., ROMMEREIM, D.N., BEAMER, J.L., BUSCHBOM, R.L., KAUNE, W.T. & R.D. PHILLIPS (1987) Developmental studies of Hanford Miniature Swine exposed to 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics* 3: 229-242
- SIMKÓ, M., KRIEHLER, R. & S. LANGE (1998) Micronucleus formation in human amnion cells after exposure to 50 Hz MF applied horizontally and vertically. *Mutat. Res.* 418 (2-3): 101-111
- SIMKÓ, M., DOPP, E. & R. KRIEHLER (1999) Absence of synergistic effects on micronucleus formation after exposure to electromagnetic fields and asbestos fibers in vitro. *Toxicology letters* 108: 47-53
- SKAULI, K.S., REITAN, J.B. & B.T. WALTHER (2000) Hatching in Zebrafish (*Danio rerio*) Embryos exposed to a 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 21: 407-410
- SMIALOWICZ, R.J., ALI, J.S., BERMAN, E., BURSIA, S.J., KINN, J.B. LIDDLE, C.G., REITER, L.W. & C.M. WEIL (1981) Chronic exposure of rats to 100-MHz (CW) radiofrequency radiation: assessment of biological effects.
- STUCHLY, M.A., RUDDICK, J., VILLENEUVE, D., ROBINSON, K., REED, B., LECUYER, D.W., TAN, K. & J. WONG (1988) Teratological assessment of exposure to time-varying magnetic field. *Teratology* 38: 461-466
- SVEDENSTÅL, B.M. & K.J. JOHANSON (1995) Fetal loss in mice exposed to magnetic fields during early pregnancy. *Bioelectromagnetics* 16: 284-289
- TATENO, H., IJIMA, S., NKANISHI, Y., KAMIGUCHI, Y. & A. ASAKA (1998) No induction of chromosome aberrations in human spermatozoa exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *Mutat. Res.* 414 (1-3): 31-35
- TEROL, F.F. & PANCHON, A. (1995) Exposure of domestic quail embryos to extremely low frequency magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.* Vol. 68, No. 3: 321-330
- TIKKANEN, J. & O.P. HEINONEN (1992) Occupational risk factors for congenital heart disease. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64(1): 59-64
- TIKKANEN, J., HEINONEN, O.P., KURPPA, K. & K. RANTALA (1990) Cardiovascular malformations and maternal exposure to video display terminals during pregnancy. *Eur. J. Epidemiol.* 6(1): 61-66
- TYNDALL, D.A. (1993) MRI effects on craniofacial size and crown-rump length in C57BL/6J mice in 1.5 T fields. *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol.* 76 (5): 655-660
- TYNDALL, D.A. & K.K. SULIK (1991) Effects of magnetic resonance imaging on eye development in the C57BL/6J mouse. *Teratology* 43 (3) 263-275
- UBEDA, A., LEAL, J., TRILLO, M.A., JIMENEZ, M.A. & J.M.R. DELGADO (1983) Pulse shape of magnetic fields influences chick embryogenesis. *J. Anat.* 137: 513-536
- UBEDA, A., TRILLO, M.A., CHACON, L., BLANCO, M.J. & J. LEAL (1994) Chick embryo development can be irreversibly altered by early exposure to weak extremely-low-frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 15: 385-398
- VALIUS, J., NORPPA, H., JÄRVENTAU, H., SORSA, M., NYKYRI, E., SALOMAA, S., JÄRVINEN, P. & J. KAJANDER (1993) Analysis of chromosomal aberrations, sister chromatid exchanges and micronuclei among power linesmen with long-term exposure to 50-Hz electromagnetic fields. *Radiat. Environ. Biophys.* 32 (4): 325-336
- VARGA, A. (1992) Warum Elektrosmog lebensbedrohlich werden kann. *Raum und Zeit* 60 Sonderdruck: 1-9
- VEICSTEINAS, A., BELLERI, M., CINQUETTI, A., PAROLINI S., BARBATO, G. & M.P. MOLINARI TOSATTI (1996) Development of chicken embryos exposed to an intermittent horizontal sinusoidal 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 17: 411-424

- VERSCHAEVE, L. & A. MAES (1998) Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. *Mutation Research* 410: 141-165
- WERTHEIMER, N. & E. LEEPER (1989) Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am. J. Epidemiol.* 1989 Vol. 129 (1): 220-224
- WILEY, M.J., COREY, P., KAVET, R.; CHARRY, J., HARVEY, S., AGNEW, D. & M. WALSH (1992) The effects of continuous exposure to 20-kHz sawtooth magnetic fields on the litters of CD-1 mice. *Teratologie* 46: 391-398
- WINDHAM, G.C., FENSTER, L., SWAN, S.H. & R.R. NEUTRA (1990) Use of video display terminals during pregnancy and the risk of spontaneous abortion, low birthweight, or intrauterine growth retardation. *Am. J. Ind. Med.* 18 (6): 675-688
- YIP, Y.P., CAPRIOTTI, C., TALAGALA; S.L. & J.W. YIP (1994a) Effects of MR exposure at 1.5 T on early embryonic development of the chick. *J. Magn. Reson. Imaging* 4 (5): 742-748
- YIP, Y.P., CAPRIOTTI, C., NORBASH, S.G., TALAGALA; S.L. & J.W. YIP (1994b) Effects of MR exposure on cell proliferation and migration of chick motoneurons. *J. Magn. Reson. Imaging* 4 (6): 799-804
- YIP, Y.P., CAPRIOTTI, C. & J.W. YIP (1995) Effects of MR exposure on axonal outgrowth in the sympathetic nervous system of the chick. *J. Magn. Reson. Imaging* 5 (4): 457-462
- YOUNG-SIMO; B.J., BOUDARD, F., CABANER, C. & M. BASTIDE (1997) Biological effects of continuous exposure of embryos and young chickens to electromagnetic fields emitted by video display units. *Bioelectromagnetics* 18: 514-523
- YOUNG-SIMO, B.J., LEBECCO, J.C. & M. BASTIDE (1998a) Mortality of chicken embryos exposed to EMFS from mobile phones. BEMS Twentieth annual meeting, St. Pete Beach, Florida, abstract book, P-16B pp: 100-102
- YOUNG-SIMO, B.J., LEBECCO, J.C. & M. BASTIDE (1998b) Damage of chicken embryos by EMFS from mobile phones: protection by a compensation antenna. BEMS Twentieth annual meeting, St. Pete Beach, Florida, abstract book, P-16B pp: 102-103
- YOUNG-SIMO, B.J., LEBECCO, J.C., BASTIDE, M. & V.N. BINHI (1998c) Damage of chicken embryos by EMFS from mobile phones: protection by a compensation antenna (Tecno AO). First World Congress on the effects of electricity and magnetism on the natural world. Abstract book. Funchal, Madeira, October 1-6 1998. pp: 39-40
- ZECCA, L., FERRARIO, P. & G. DAL CONTE (1985) Toxicological and teratological studies in rats after exposure to pulsed magnetic fields. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 14: 63-69
- ZHAO, A.G., GUO, Y. & F.F. WU (1997) The effects of millimeter wave irradiation on the development of postimplanted mouse embryos and their neurochemistry (meeting abstract). Abstracts from the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 June 1997, Bologna, Italy. P-244-A, 305
- ZIMMERMANN, B. & D. HENTSCHEL (1987) Effect of a static magnetic field (3.5 T) on the reproductive behavior of mice, on the embryo and fetal development and on selected hematologic parameters. *Digitale Bilddiag.* 7 (4): 155-161
- ZIMMERMAN, S., ZIMMERMAN, A.M., WINTERS, W.D. & I.L. CAMERON (1990) Influence of 60-Hz magnetic fields on sea urchin development. *Bioelectromagnetics* 11: 37-45
- ZUSMAN, I., YAFEE, P., PINUS, H. & A. ORNOY (1990) Effects of pulsing electromagnetic fields on the prenatal and postnatal development in mice and rats: in vivo and in vitro studies. *Teratology* 42: 157-170

Impressum

Edition Wissenschaft der FGF e. V.

Herausgeber: Forschungsgemeinschaft Funk e. V., Rathausgasse 11a,
D-53111 Bonn, Telefon: 0228 / 72 62 2-0, Telefax: 0228 / 72 62 21 1
E-Mail: info@fgf.de, <http://www.fgf.de>

Redaktion: Gerd Friedrich (verantw.), Gudrun Westendörpf

Layout: setz it. Richert GmbH, Sankt Augustin

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Funk e. V. durchgeführt. Die Berichte geben die Meinungen der Autoren wieder und stellen daher nicht unbedingt auch die Meinung der FGF dar.

