

Prof. Dr. Fischer AG, QRS Quantronik, Knochenheilung, QRS Kno 001 Oktober 2006

Klinisch – Pharmakologisches Gutachten

Quantron Resonanz System QRS®

Die Anwendung elektromagnetischer Felder in der
Knochenheilung

Bibliographische Bewertung gemäß Directive 2001/83/EC

QRS Kno 001

Stand: Oktober 2006

MediFo GmbH
Medizinische Forschung
Alexander-Moksel-Straße 48
D-86807 Buchloe

Die Anwendung elektromagnetischer Felder in der Knochenheilung

ABSTRAKT

Magnetfelder werden therapeutisch genutzt. Dazu werden elektromagnetische Impulse periodisch einzeln oder in Serien appliziert (gepulstes Magnetfeld), wodurch elektromagnetische Felder in Abhängigkeit von den Aufbau- bzw. Abfallsphasen der Impulse induziert werden. Dies geschieht mit definierten Impulsen, deren Stärke exponentiell zunimmt („Amplitudenfenster“). Magnetfelder (und magnetisch induzierte Ströme) sind abhängig von der Größe und der Kinetik einer induzierenden Spannungsveränderung. Ein elektrisches Feld von 0.25 V m^{-1} und $20 \mu\text{s}$ Dauer erzeugt in einem Leiter einen Strom mit steilem exponentiellem Anstieg bis zu einer Stärke von $\sim 20 \text{ A}$, gefolgt von einem stetigen Abfall während der folgenden $200 \mu\text{s}$ (Sägezahnstrom). Gruppen von 22 solcher Pulse, die mit einer Frequenz von 15 Hz auftreten, sind Standard in der Knochenheilung. Die so induzierbaren Magnetfelder können Ionen (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) beeinflussen, wenn die Frequenz des „pulsierenden elektromagnetischen Feldes“ (PEMF) auf die charakteristische Zyklotron-Resonanz dieser Ionen eingestellt ist. Die Amplituden induzierter Ströme variieren in Abhängigkeit vom Gewebe. Die elektrischen Leitwerte von Körpersubstraten variieren zwischen 0.04_{Knochen} und $3.3_{\text{Urin}} \text{ S m}^{-1}$. Um optimal wirksam zu sein muss die Amplitude einer elektromagnetischen Kraft etwa 1 ms andauern. Das „Quantron Resonanz System QRS[®]“ (Steuergerät mit den Einstellungsstufen 1-10, Spulenkissen, Spulenmatte Salut 1) erzeugt PEMF, die aus Grundimpulsen mit *exponentiellen Dachverläufen* von $4,5 \text{ msec}$ Dauer bestehen und ist ein therapeutisches Verfahren der Verabreichung von PEMF der Stärke bis zu maximal $30 \mu\text{T}$. Wirksamkeit des QRS[®]-Gerät bei verschiedenen Indikationen wurde beschrieben. Über die Wirkungen elektromagnetischer Felder der verschiedensten Art auf biologische Systeme und im klinischen Bereich liegen zahlreiche Berichte vor.

Die Anwendung des Quantron Resonanz Systems ist vorgesehen für die Behandlung von Knochenverletzungen/Pseudoarthrosen. Angesichts der vorliegenden Erfahrungen werden placebokontrollierte Doppelblindstudien wegen der „verzweifelten Situation“ der betroffenen Patienten als nicht mehr vertretbar bezeichnet. Da die Magnetfeldtherapie dazu bestimmt ist, „dauernd oder vorübergehend mit dem menschlichen oder tierischen Körper in Berührung gebracht zu werden“ (§ 2 (2) 1 AMG) und „die Beschaffenheit, den Zustand oder die Funktion des Körpers oder seelische Zustände zu beeinflussen“ (§ 2 (1) 5 AMG), wird in Betracht gezogen, das Quantron Resonanz System als Arzneimittel einzustufen.

Niederfrequente elektromagnetische Felder geringer Intensität verursachen kurzfristig keine Schäden an Lebewesen, da die im Körper induzierten Felder deutlich geringer sind als jene, die durch die Lebensvorgänge physiologisch selbst erzeugt werden. Zu beachten sind jedoch die in 3.2 angegebenen Kontraindikationen.

INHALT

	Seite
ABSTRAKT	1
1 PATHOPHYSIOLOGIE UND UMWELTFAKTOREN	3
2 PRODUKTPROFIL	4
2.1 Pharmakologische Klasse des Produktes	4
2.2 Wirkmechanismus	5
2.3 Klinische Anwendung	5
3 PHARMAKOLOGIE TOXIKOLOGIE	6
3.1 Zusammenfassung Pharmakologie	6
3.2 Zusammenfassung Toxikologie	6
3.3 Studienberichte	7
3.3.1 Pharmakologie	7
3.3.1.1 Primäre Pharmakodynamik	7
3.3.1.2 Sekundäre Pharmakodynamik	9
Tab. 1 Pharmakologie	9
3.3.1.3 Sicherheitspharmakologie	14
3.3.1.4 Analytische Methoden und Validierungsberichte	15
3.3.1.5 Arzneimittelinteraktionen	15
3.3.2 Toxikologie	16
3.3.2.1 Toxizität nach einmaliger Verabreichung	16
Tab. 2 Schwellenwerte	17
Tab. 3 Festgelegte zulässige Belastungen physikalische Einheiten	17
3.3.2.2 Toxizität nach wiederholter Verabreichung	18
3.3.2.3 Gentoxizität	19
3.3.2.4 Carcinogenizität	20
3.3.2.5 Reproduktive und embryonale Toxizität	20
3.3.2.6 Lokale Verträglichkeit	20
3.3.2.7 Andere Untersuchungen zur Toxizität	21
4 KLINIK	21
4.1 Klinische Zusammenfassung	21
4.2 Klinische Studienberichte	21
4.2.1 Biopharmazeutische Studienberichte	21
4.2.2 Humanpharmakodynamische Studienberichte	21
Tab. 4 Humanpharmakologie	22
4.2.3 Studienberichte über Wirksamkeit und Verträglichkeit	30
Tab. 5 Ergebnisse bei der beanspruchten Indikation	30
4.2.4 Berichte über Anwendungsbeobachtungen	32
Tab. 6 Ergebnisse bei Anwendungsbeobachtungen	32
4.2.5 Auflistungen von Krankengeschichten individueller Patienten	33
5 LITERATUR	34
6 INFORMATION ÜBER DEN SACHVERSTÄNDIGEN	42

1. PATHOPHYSIOLOGIE UND UMWELTFAKTOREN

Die Nichtvereinigung eines Knochens ist definiert als eine Fraktur mit klinischer oder fluoroskopisch nachweisbarer Beweglichkeit in 2 Ebenen 6 Monate oder länger nach der Verletzung [58]. Probleme der Knochenheilung können technisch (Schwächung der normalen Heilkraft durch Behandlungsprobleme), biologisch (Fehlfunktionen) oder durch beide Faktoren bedingt sein [58]. Zu den häufigsten biologischen Fehlfunktionen gehören Unvermögen der Kallusbildung und/oder mangelhaftes regionales "Akzelerationsphänomen" [58].

Knochen und andere Gewebe haben Ruhepotentiale im Mikrovolt-Bereich [58]. Die Potentialdifferenzen sind abhängig von der Viabilität der Zellen und unterliegen Veränderungen der Polarität und Stärke im Ablauf von Stoffwechselfvorgängen, mechanischen Krafteinwirkungen usw. [58]. Zur Resonanz führende schwingende elektrische Felder, "die zum Erdfeld passen", werden im Organismus selbst produziert, hauptsächlich von Nervenzellen [146]. Bei der mechanischen Belastung des Knochens entstehen physiologisch elektrische Potentiale mit negativer Ladung im Bereich der Kompression und positiver Ladung im Bereich der Zugspannung (Piezoelektrizität) [58, 110, 116, 128, 137]. Das ZNS emittiert tagsüber Frequenzen von 20 - 25 Hz (EEG β -Wellen: 14 - 30 Hz), im Tiefschlaf 10 - 3 Hz (EEG θ -Wellen: 7 - 4 Hz) [102, 146]. Die Stromdichte von 1 mA m^{-2} entspricht der natürlichen Stromdichte in elektrisch nicht aktiven Organen [17]. Das vom Herzen oder Gehirn erzeugte Hintergrundrauschen erreicht $1 - 10 \text{ mA m}^{-2}$ [17]. An der Oberfläche elektrisch aktiver Nerven oder Muskelzellen können kurzzeitig Stromdichten von $>1000 \text{ mA m}^{-2}$ auftreten [17]. Die Elektrolyte K^+ , Na^+ und Ca^{++} schwingen in Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte im Bereich von etwa 17 - 46 Hz [146]. PEMF-Behandlung soll auf die genannten Elektrolyte einwirken [146, 151]. Frakturen führen zu Verletzungsströmen und zur Freisetzung von PGE_2 , die die Heilung fördern sollen [58]. Artificielle Verletzungen von Muskelgewebe (Ochsenfrosch) führten zu (nervalen) Verletzungsströmen, die dem Ausmaß der Verletzung sowie der leitenden Nervenmasse proportional waren [14]. Die Regeneration war dem Verletzungsstrom proportional [14].

Die Entwicklung des Menschen erfolgte in einem Milieu elektromagnetischer Felder, deren Spektrum Frequenzen von 0 Hz (atmosphärische elektrische / geomagnetische Felder) bis in den Hochenergiebereich (kosmische Strahlung) umfasst [17]. Die Stärke des geomagnetischen Feldes der Umwelt variiert zwischen $\sim 35 \mu\text{T}$ am Äquator (parallel zur Erdoberfläche) und $\sim 70 \mu\text{T}$ an den Polen (annähernd vertikal) [154]. Störungen des geomagnetischen Feldes werden durch die solaren magnetischen Stürme von bis zu $5 \mu\text{T}$ Stärke in den oberen Breitengraden und etwa bis zu $1 \mu\text{T}$ Stärke in den mittleren Breitengraden verursacht [154]. Die solaren Protonenausbrüche der magnetischen Stürme bilden einen äquatorialen Strom um die Erde, dessen Magnetfeld das geomagnetische Feld schwächt [154]. Die magnetischen Stürme treten bis zu $10\times$ im Monat auf, ihre Stärken oszillieren in etwa 11-jährlichen Zyklen [154]. Weitere Einflüsse sind die Erdrotation, die Polungen der magnetischen Stürme, die Mondphasen, die Wanderung um die Sonne, weitere solare Zyklen [154]. Von niederfrequenten Vorgängen (100 - 0.001 Hz) des geomagnetischen Spektrums sind 8 Hz Schwingungen von besonderem Interesse [154]. Orientierungssinne von Tieren nutzen das geomagnetische Feld [154].

Typische Expositionswerte niederfrequenter elektrischer (Magnet-)Felder von überwiegend 50 Hz sind das statische Feld der Erde = $0.2 - 0.5 \text{ kV m}^{-1} \cong \sim 50 \text{ } \mu\text{T}$, die Umgebung (Abstand bis zu 25 m) von Hochspannungsleitungen und Schaltstationen = $16 - 1 \text{ kV m}^{-1} \cong 40 - 8 \text{ } \mu\text{T}$, Industrie und Medizin $10^3 - 10^4 \text{ } \mu\text{T}$ und Haushalt/Büro mit Hintergrundfeldstärken = $1 - 10 \text{ V m}^{-1} \cong 0,01 - 1 \text{ } \mu\text{T}$, in 30 cm Abstand = $2 - 500 \text{ V m}^{-1} \cong 0,3 - 30 \text{ } \mu\text{T}$ [17]. Die mittlere Exposition von 2000 Personen während 24 h lag bei $0.1 \text{ } \mu\text{T}$, der maximale gesetzliche Effektivwert der Felder von Hochspannungsfreileitungen beträgt $100 \text{ } \mu\text{T}$ [17].

2 PRODUKTPROFIL

2.1 Pharmakologische Klasse des Produktes

Magnetfelder werden therapeutisch genutzt [37]. Elektromagnetische Impulse werden periodisch einzeln oder in Serien appliziert (gepulstes Magnetfeld), wodurch elektromagnetische Felder in Abhängigkeit von den Aufbau- bzw. Abfallsphasen der Impulse induziert werden [10, 77, 110, 116]. Dies geschieht mit definierten elektromagnetischen Impulsen, deren Stärke exponentiell zunimmt („Amplitudenfenster“) [41, 147, 151]. Magnetfelder für therapeutische Zwecke haben ein breites Frequenzband mit der höchsten Energiebelegung im Bereich $<1 \text{ kHz}$ [145]. Dem Amplitudenmaximum folgt ein Abbruch des Feldes, das Puls:Pausen-Verhältnis ist $\approx 2:3$. Die Dauer der modulierten Grundpulsfolge (Pulsfolgeserie) beträgt $0,3 - 1 \text{ sec}$, die der Pulsferienpause $0,7 - 5 \text{ sec}$. Im Thorax werden Stromdichten von mehreren 100 nA/cm^2 induziert, die dem Gewebe zugeführten Energien liegen im Bereich von 10^{-10} W/mm^3 [145]. Diese elektrischen Kräfte konkurrieren im Organismus mit piezoelektrischen Potentialen in Knochen und Proteinen, mit Strömungspotentialen in Blut, Lymphe, interstitieller Flüssigkeit, ζ -Potentialen, Berührungspotentialen, Helmholtz-Doppellayer-Potentialen [145]. „Ausfüllen“ der 200 Hz-Amplituden mit elektromagnetischen Hochfrequenzimpulsen ($\leq 27 \text{ MHz}$ 1 mW/cm^2) löst weitgehend gleichartige Effekte aus [145]. Elektromagnetische Störimpulse werden durch Kopplung der Sende- und Messspule mit einem Raummessgerät neutralisiert [41, 145].

Das „Quantron Resonanz System QRS[®]“ (Steuergerät mit den Einstellungsstufen 1-10, Spulenkissen, Spulenmatte Salut 1) ist ein therapeutisches Verfahren der Verabreichung „pulsierender“ elektromagnetischer Felder (PEMF) der Stärke bis zu maximal 30 Mikrottesla (μT), für die Wirksamkeit bei verschiedenen Indikationen beansprucht wird [37, 108, 109]. Die Besonderheit besteht darin, dass die PEMF aus Grundimpulsen mit *exponentiellen Dachverläufen* von 4,5 msec Dauer bestehen, die in 0,5 msec-Intervallen in Vierergruppen von 20 msec Dauer ausgestrahlt werden [41, 45, 146]. Die Vierergruppen sind durch Pausen von 25,5 msec Dauer getrennt [41, 45, 146]. Drei Vierergruppen von 136,5 msec Dauer folgt eine Sendepause von 197 msec Dauer, eine Impulsserie pro sec besteht aus 3 Vierergruppen mit Pausen [41, 45, 146]. PEMFs mit verschiedenen speziellen Impuls-Formen, -Wiederholungen und -Amplituden (223 Trigger-Doppelimpulse/sec $\cong 23$ Impulskaskaden/sec $\cong 3$ Impulskaskaden-Zyklen/sec) stimulieren oder bremsen die Respirationsfrequenz, die Herzfrequenz, den Blutdruck und die Gefäßperfusion [145, 147]. Das Gerät verbraucht bei Anschluß an $220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ $\sim 4.4 \text{ W}$ [143]. Die elektrische Feldstärke fällt vom Kabeleingang bis zum Ende der Matte von 1057 auf 864 V/m. Die Magnetfeldstärke ist steuerbar im Bereich der ganzzahligen Schritte 1 - 10, die Magnetflussdichten von $1.48 - 15.8 \text{ } \mu\text{T}$

entsprechen [143]. Die maximale elektromagnetische Belastung liegt damit unterhalb der zulässigen Basisgrenzwerte [39, 82, 83]. Im Abstand von 1.5 m von der Matte wurde eine Streustrahlung von etwa $\frac{1}{100}$ der Ausgangsstärke gemessen, die Sendefrequenz war 2.7 Hz für 7 sec, die Impulsphasen waren durch Pausen von 3 s getrennt [143]. Zur Einstellung optimaler Feldparameter sind ein Blutdruckmesser und ein Thermograph vorgesehen [41]. Das QRS-Gerät hat einen Empfänger für störende externe elektromagnetische Felder, an den ein Sender für die Aussendung Störfelderneutralisierender Schwingungen gekoppelt ist [41, 147]. Unterschiedliche PEMF-Fabrikate wurden mit Hilfe eines Spulendosimeters auf identische Feldstärken kalibriert, die Dosierung der Feldstärke wurde nach dem Hautoberfläche-Läsions-Abstand festgelegt [8].

Die Geräte sind gemäß Richtlinie 93/42/EWG Artikel 9(1) und 11(2) zugelassene aktiv therapeutische Medizinprodukte der Klasse IIa (benannte Stelle Kennnummer 0125, EG-Prüfungsbericht Nr. 180 18 17 über die Salut-I Seriennummern SI-1-M300001 - SI-1-M300250, 10.3.2000, sowie benannte Stelle 0535, Zertifikat Nr. ZP013411-IV über das Medizinprodukt QRS-101-Home mit den Seriennummern ME010001 - ME010091). Bei weltweitem Einsatz von mehr als 50.000 Geräten kam es gelegentlich zu Wadenkrämpfen und Migräneanfällen [109]. Seit 1979 ist die therapeutische Anwendung von starkem Strom, schwachem Strom und PEMF in den U. S. A. von der FDA-Behörde für die Behandlung von Knochenverletzungen („Knochenwachstumsstimulatoren“), seit 1999 für die (PEMF-)Behandlung von Harn-Inkontinenz zugelassen [14, 137]. Weitere Indikationen sind Schmerzen verschiedener Ursachen, Erkrankungen des Skeletts, zentralnervöse/neurologische Störungen, Ulcera, Durchblutungsstörungen [37]. Magnetfelder beeinflussten die elektrische Leitfähigkeit von Membranen, den Ca^{++} - Haushalt, die Aktivität des Nervenwachstumsfaktors, die Haemokoagulation, die Adenylatzyklase- und die Proteinkinase-Aktivität, die Wundheilung, stimulierten die Mitoserate, wirkten antientzündlich, schützten Mäuse gegen nachfolgende letale Ganzkörper-Röntgenbestrahlung und gegen eine tödliche Transplantation von Ehrlich Ascites-Karzinom-Zellen. Interaktionen mit Frequenzen der Hirnzellen, mit Strophanthin (Transport von Fluorescein im Nervengewebe) und mit Nitrosomethylharnstoff (Genese von Mammakarzinomen in weiblichen Ratten) wurden beschrieben. Die Wirksamkeit von starkem Strom, schwachem Strom und PEMF auch unterschiedlicher Impulsformen ist in pharmakologischen Untersuchungen bestätigt worden und hat sich klinisch bewährt.

2.2 Wirkmechanismus

Mit QRS[®] wird dosierte elektromagnetische Strahlung charakteristischer Frequenzen und Stärken verabreicht, durch die der Ionenaustausch und der Sauerstoffpartialdruck von Körperzellen, die auf allgegenwärtige elektromagnetische Schwingungen verschiedenster Art und „elektromagnetischen Smog“ spontan nicht erkennbar zu reagieren scheinen, gemäß ihrer parenchymatösen Differenzierung stimuliert werden [41 (Seite 396); 121a (Seite 153)]. PEMF-induzierte Polarisation von Gefäßwänden kann piezoelektrische Effekte im Kollagen und Elastin anregen und Baro-/Pressorezeptoren stimulieren [148]. Die Folge ist u.a. eine Herunterregelung des sympathischen Systems und des Blutdruckes [148].

2.3 Klinische Anwendung

Hauptsächlicher Anwendungsgrund ist die Behandlung von (nicht heilenden) Knochenverletzungen/Pseudoarthrosen. Die Anwendung erfolgt durch Hinlegen auf eine Spulenmatte bzw. Setzen/Lehnen auf/gegen ein Spulenkissen für 8-24 Minuten ein- dreimal täglich bei Stufeneinstellung 1-6 [37, 109]. Die Dauer der Anwendung hängt vom Behandlungserfolg ab. Die Dosierung ist individuell anzupassen.

3 PHARMAKOLOGIE TOXIKOLOGIE

3.1 Zusammenfassung Pharmakologie

Die Applikation von Magnetfeldern soll im Körper Resonanzschwingungen auslösen [41]. Durch das Quantron Resonanz System QRS[®] werden elektromagnetische Felder in Abhängigkeit von den Aufbau- bzw. Abfallsphasen der Impulse induziert [10, 77, 110, 116]. Der Verlauf magnetischer Feldlinien im Gewebe ist in der Regel nicht durch ferromagnetische Stoffe verzerrt, so dass die Kraftwirkung weitgehend ungehindert auf Dipole, paramagnetische Atome/Moleküle/Kerne erfolgen kann und (bio)chemische Reaktionen beeinflusst werden können [110]. Magnetfelder und magnetisch induzierte Ströme sind abhängig von der Größe und der Kinetik der induzierten Spannungsveränderung, diese ist unabhängig von der Dauer des magnetischen Impulses [147, 148]. Die unter PEMF entstehenden elektrischen Wirbelfelder sind abhängig vom Körpergewebe und von der Form und Anordnung der Spule(n) [10, 8, 77, 116, 147]. Die induzierten Wirbelströme unterscheiden sich von den physiologischen Bedingungen [116].

Hauptsächlicher Anwendungsgrund ist die Behandlung von (nicht heilenden) Knochenverletzungen/Pseudoarthrosen. Knochen und andere Gewebe haben Ruhepotentiale im Mikrovolt-Bereich. Die Potentialdifferenzen sind abhängig von der Viabilität der Zellen und unterliegen Veränderungen der Polarität und Stärke im Ablauf von Stoffwechselfvorgängen, mechanischen Krafteinwirkungen usw.

Magnetfelder können nur unvollständig (durch Platten aus speziellen Legierungen) abgeschirmt werden [3; 65].

3.2 Zusammenfassung Toxikologie

Absolute Kontraindikationen der Magnetfeldtherapie sind aktive Tbc, fieberhafte bakterielle/virale Infektionskrankheiten, schwere ausgedehnte Pilzkrankungen, Sepsis (örtliche Entzündungen können dagegen eine Indikation sein), Schilddrüsenüberfunktion, Magen- Darm-Blutungen, Schwangerschaft (Erkenntnisse über eventuelle foetale Schädigungen liegen jedoch nicht vor), Koronarinsuffizienz, Angina pectoris, Herzschrittmacher u.a. elektronische Hilfsorgane [56]. Relative Kontraindikationen sind Ganzbehandlung in der Wachstumsphase (Beeinflussung der Wachstumsfugen?), schwere Gefäßerkrankungen/akuter Gefäßverschluss, Diabetes juvenilis, psychosomatische Syndrome, Schlafstörungen (keine Anwendung nach 17⁰⁰ Uhr) [56].

Bei synovialen Pseudoarthrosen oder bei Frakturlücken ≥ 1 cm ist die alleinige Anwendung von PEMF oder anderen elektrischen Methoden kontraindiziert [10]. Bei Tachykardie sollten niedrigere Einstellungsstufen und verkürzte Anwendungsdauern gewählt werden. Bei Epilepsie sollte die Anwendung unter (fach)ärztlicher Aufsicht erfolgen.

Niederfrequente elektromagnetische Felder geringer Intensität verursachen kurzfristig keine Schäden an Lebewesen, da die im Körper induzierten Felder deutlich geringer sind als jene, die durch die Lebensvorgänge selbst erzeugt werden. Vagabundierende lokale (elektrische und magnetische) Außenfelder (~ 5 V/m / ~ 0.4 μ T) können jedoch das Erinnerungsvermögen, das psychische Wohlbefinden und den Schlaf beeinträchtigen. Bei An- und Abschalten eines Magnetfeldes von 30 μ T tritt beim Menschen innerhalb von ~ 3 -4 min eine vorübergehende Absenkung des Pulses um ~ 3 Schläge/min ein. Der "Sofort-Indikator" von PEMFs, die Thermoreaktion, tritt bereits vereinzelt bei Flussdichten und Strom-Schalt-Sprüngen auf, wie sie vagabundierend in manchen Wohn- und Arbeitsräumen vorkommen. Mobiltelefon-PEMFs veränderten die von der exponierten Hemisphäre abgeleiteten 18.75 - 31.25 Hz EEG-Frequenzen bei zusätzlicher aufgabenbezogener akustischer Stimulation. Magnetfelder waren nicht teratogen. Im Zusammenhang mit Magnetfeldern waren jedoch Leukämie, Hirntumoren und Suicide tendenziell erhöht (n.s.), im Zusammenhang mit elektrischen Feldern waren Hirntumoren und Suicide tendenziell erhöht (n.s.) und im Zusammenhang mit PEMFs war Lungenkrebs tendenziell erhöht (n.s.). Nach beruflich bedingtem Aufenthalt in niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (Elektriker; Elektroingenieure) wurde ein signifikant 10.3-fach erhöhtes, beschäftigungszeitabhängiges Risiko (CI=1.3-80.8 für 10 Jahre) der Erkrankung an Astrozytomen nachgewiesen. Interaktionen kosmischer/solarer Strahlen mit dem Erdmagnetismus korrelierten mit Anstiegen der Häufigkeiten von Stenokardien, Herz-, Lungeninfarkten, Apoplexien, Bluthochdruckkrisen.

3.3 Studienberichte

3.3.1 Pharmakologie

3.3.1.1 Primäre Pharmakodynamik

Bei der physiologischen Belastung des Knochens entstehen elektrische Potentiale mit negativer Ladung im Bereich der Kompression und positiver Ladung im Bereich der Zugspannung (Piezoelektrizität) [110, 116, 137, 155]. Durch die kontinuierliche Erzeugung endogener Ladungsverschiebungen bzw. elektrischer Ströme entstehen an den Enden eines langen Knochens negative Ladungsanhäufungen gegenüber dem mittleren Schaft mit Spannungsdifferenzen im Bereich von >20 mV [116]. Die Bedeutung der Ladungsverschiebungen ist noch nicht abschließend geklärt [116]. Aufgrund der Beobachtung, dass Knochen unter Druck auf- und unter Zug abgebaut wird, werden mit pulsierenden elektromagnetischen Feldern (PEMF) Ströme im Gewebe induziert, die im Rahmen der Knochenbruchheilung endogen auftreten [10, 116, 155]. Eine Fraktur führt zur Deformation der physiologischen Ladungsverteilung, PEMF soll die Wiederherstellung fördern [116]. Induktiv im Knochen erzeugte Ströme imitieren den piezoelektrischen Effekt und stimulieren die

Osteoblastenaktivität [110]. Um im Knochen eine Spannung von 1 - 1.5 mV/ cm zu erzeugen (\cong der Größe von durch Deformierung von Knochen erzielbarer Potentiale), müssen an die (an der frakturierten Extremität gegenüberliegend angebrachten) Spulen Spannungen von 10 - 25 V (in Abhängigkeit vom Abstand und der Größe der Spulen) gelegt werden [10]. Die durch 15 Hz-Puls-Serien induzierten Ströme lösen die Calcifizierung von Lückengewebe aus und führen zur knöchernen Vereinigung [10]. Die Amplituden induzierter Ströme variieren in Abhängigkeit vom Gewebe, ebenso die Muster der Negativ-Pulse bei Abbruch des induzierenden Feldes [10].

Die Behandlung von experimentell verletzten Femora von Ratten in Organkulturen mit PEMF (3 G, 7.5 Hz, 0.3 ms Pulse, 8 h/d, 1-3 Wo; Umweltfelder: 49 μ T geomagnetisch; 14 μ T 60 Hz Ventilator) vs. Placebo bewirkte eine signifikant beschleunigte Knochenheilung nach 1 und 2 Wochen ($p < 0.05_{ANOVA}$), nach 3 Wochen war der Unterschied n.s. [27a]. Die PGE₂-Synthese (Spiegel in den Kulturmedien) war unter PEMF nach 2 und 3 Wochen signifikant erhöht, die aP-Aktivität war zu allen Untersuchungszeitpunkten in den Kulturmedien signifikant erhöht [27a].

Die Einwirkung eines Magnetfeldes (50 μ T, 15,3 Hz Sinus, 30 min/d für 31 d) bewirkte bei Kaninchen (N=8) nach experimentellen Osteotomien eine signifikante ($p < 0.001$) Steigerung der Knochendichte (Computertomographie) bei Abnahme der Aktivität der alkalischen Phosphatase i. S., die Kreatinkinaseaktivität zeigte keine Veränderungen [41, 63]. Im Vergleich der Applikation des Magnetfeldes mit einer Zylinder- oder einer Helmholtz-Spulengruppe war die Kallusdichte nach der Zylinder-Spulengruppe etwas niedriger ($p < 0.0001$) und die Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum etwas geringer (n. s.) [138].

Am Fibula-Osteotomie-Modell des Kaninchens wurden die Wirksamkeiten unterschiedlicher Impulsformen (Helmholtz Spulenpaare, Amplitude 45 mV von 200 μ sec Dauer gefolgt von 450 mV negativer Polarität und 20 μ sec Dauer vs. 45 mV 200 μ sec gefolgt von 45 mV negativer Polarität 200 μ sec Dauer, Pulsserien von je 5 msec, Pulsserien-Frequenzen 15 Hz, 8 h/d für 14 d) untersucht [106]. Die Belastungsfähigkeit des Kallus war nur nach Einwirkung der asymmetrischen Impulse signifikant höher im Vergleich zu den (kontralateralen) Fibulae ($p = 0.025$, N=8), bei nicht stimulierten Tieren waren beide Fibulae gleich belastbar [106]. 120/440/640 mV-symmetrische Rechteck-Pulse von je 20 μ sec Dauer der positiven und der negativen Polarität, Pulsseriendauer 5 ms, 15 Hz bewirkten signifikant höhere Festigkeiten ($p < 0.05$), allerdings waren auch die Kontrollfibulae fester (Unterschiede zu den stimulierten Fibulae n.s.) [106].

Die kontrollierte (intraindividuell) PEMF-Behandlung (2.8 mT, 75 Hz, 1.3 ms Puls-Anstiegsphasen, für 30 Tage) von metacarpalen Durchbohrungen von 6 Pferden führte zu umfangreicherer Knochenbildung und Deposition von Mineralien als in den (kontralateralen Kontroll-Durchbohrungen ($p < 0.01$) [27].

Die Einwirkung von PEMF (1.2 mT, asymmetrische 380 µsec-Rechteckpulse, 72 Hz, 2 h/d 7 d/Woche) auf die Kallusentwicklung nach experimentellen Verletzungen der patellofemorale Spalten von Ratten bewirkte eine signifikante Verringerung 1 bzw. 2 Wochen nach der Verletzung ($p < 0.05$) [52]. 4 und 8 Wochen nach Verletzung bestanden keine Unterschiede mehr zwischen PEMF-behandelten und Kontrolltieren [52]. Bei den Kontrolltieren wuchs anfangs im Fibringerinnsel ein pluripotentes blastemähnliches Mesenchym stärker aus, bei den behandelten Tieren überwogen die zelluläre Proliferation, die frühe Resorption des Fibringerinnsels und die frühere osteoide trabekuläre Formation. Nach 7 Wochen war die artikuläre Knorpelrestoration nach PEMF besser als bei den Kontrollen [52].

Die Einwirkung von PEMF (15 mV, 10 µT, 15 Hz, 200 µsec-Wechselstrom Serienimpulse/gegenpolare 20 µsec-Impulse von 5 msec Dauer) auf Organkulturen embryonaler Hühner-Tibiae stimulierte in Anwesenheit von Bicarbonat (8 mM) und einem hohen Phosphat/Ca⁺⁺-Verhältnis den ⁴⁵Ca⁺⁺-Verbrauch aus dem Nährmedium [30].

3.3.1.2 Sekundäre Pharmakodynamik

Siehe Tab. 1.

Elektromagnetische Impulse werden periodisch einzeln oder in Serien appliziert (gepulstes Magnetfeld), wodurch elektromagnetische Felder in Abhängigkeit von den Aufbau- bzw. Abfallsphasen der Impulse induziert werden (PEMF) [10, 45, 77, 110, 116, 146, 151]. Die unter PEMF entstehenden elektrischen Wirbelfelder sind abhängig vom Körpergewebe und von der Form und Anordnung der Spule(n) [10, 77, 116]. Die Wärmeentwicklung ist vernachlässigbar gering [110]. Im Blut von Truthähnen konnte mit einem "Salut-II"-Gerät eine elektrische Feldstärke von 2000 V/m und eine Magnetfeldstärke von 30 µT (= 10- bzw. 167-fach niedriger als die DIN-VDE-Grenzwerte für die Dauerexposition [46]) erzeugt werden [143].

Deutliche Resonanz-ähnliche Phänomene (bis zu 10 % der initialen thermalen Energie; Bewegung eines Ions in einem Makromolekül) wurden entweder nur durch ein Gleichstrom-Magnetfeld, oder durch eine Kombination eines Gleichstrom- mit einem Wechselstrom-Magnetfeld (extrem niedriger Frequenz oder modulierter Hochfrequenz) hervorgerufen [154]. Dies sollte für die Induktion von Änderungen der Konformation des Makromoleküls ausreichen [154].

Tab. 1 Pharmakologie	
Experiment / Aussage	Lit.
Übersichten	
Schwächung des geomagnetischen Feldes (GMF; durch Abschirmung) führte zu Störungen vitaler Funktionen von Bakterien, des Rhythmus der Zellteilungen humaner foetaler	[154]

Tab. 1 Pharmakologie	
Experiment / Aussage	Lit.
Fibroblasten, zur Erhöhung der Empfindlichkeit von Zellkulturen gegen Gift, zur Verringerung der Blutsenkungsgeschwindigkeit. Ratten lernten besser in abgeschirmten Käfigen, die Konzentrationen von Catecholaminen in ihren Gehirnen (Hippocampi) hatte zugenommen. Abgeschirmte Ratten (10× schwächeres GMF) hatten höhere Adrenalin- und Histaminspiegel, dagegen erniedrigte Serotonin-Spiegel. Vorherige Bestrahlung (Röntgen 2 Gy) eliminierte/verringerte diese Wirkungen. Die Proliferation des Meristems, RNA- und Protein-Synthese der Wurzeln von Pflanzen waren im abgeschirmten GMF verringert.	
Starke Gleichstrom-Magnetfelder (mT - T-Bereich) hatten <i>in vitro</i> keine Wirkung auf die Na,K-ATPase-Aktivität, die Katalase-Aktivität, den H ₂ O ₂ -Abbau durch Fe-EDTA, auf (un)gesättigte wässrige O ₂ -Systeme, auf die Respiration von Mitochondrien oder die Photoaggregation von Rhodopsin. Magnetische Felder bis 850 mT parallel zur Oberfläche von Lipidmembranen erhöhten jedoch die elektrische Leitfähigkeit. Starke Gleichstrom-Magnetfelder (1.1 T) bremsten die Bildung künstlicher Doppelschicht-Lipidmembranen aus Ei-Lecithin, wenn das Feld parallel zur Oberfläche war. Wenn das Feld senkrecht zur Oberfläche war, wurde die Membranbildung gefördert.	[154]
Wirkmechanismus	
Niedrigenergie-Wechselströme und Gleichstrom-Magnetfelder stimulierten den Stoffwechsel des Gelenkknorpels sowie die Ca ²⁺ -Aufnahme der Zellen. Der Ionentransport bedurfte eines statischen und alternierierenden Magnetfeldes gemäß $fA = \pi 2^{-1} \times Bs \times qm^{-1}$, Bs = Größe des statischen Feldes, qm^{-1} = Ladung/Masse des zu stimulierenden Ions. Die optimale Frequenz für Ca ²⁺ bei einem Magnetfeld von 20.9 μ T wäre dann 16 Hz.	[137]
17 Hz PEMF waren wirksamer in der Behandlung experimenteller Achilles-Tendinitis von Ratten als 27 MHz Diathermie.	
Intermittierende PEMF-Behandlung von Knorpelzellkulturen stimulierte die Glucosaminoglykan-Synthese stärker als Dauereinwirkung.	[137]
Niederfrequente (<60 Hz) Magnetfelder stimulierten die Transkription und DNA-Synthese.	
Wenn eine PEMF-induzierte elektromotorische Kraft die thermale Energie (27 mV) überschreitet, werden interstitielle Elektrolyte elektrophoretisch getrennt. Derartige Feldstärken werden nicht mit Elektroden auf der Haut erreicht. Das elektrische Feld wird modifiziert durch den lokalen Kreislauf, durch das Doppelschichtfeld an der Oberfläche des Blutgefäßes, durch dielektrische und konduktive Inhomogenitäten des Wandgewebes, durch die Krümmung des Gewebes. Feldeffekte innerhalb von Trennungswänden mit amplifizierender Wirksamkeit können theoretisch folgende sein: Elektroosmose, Beeinflussung von Oberflächenladungen und des ζ -Potentials (Amplitudenfenster), H ⁺ -Transfer aus dem Elektrolyt (Blut, Lymphe) in Membranen und Wände, Verdrängung adsorbierter Gegenionen, Ausrichtung polyvalenter Ionenketten, Beeinflussung dielektrischer Sphären in homogenen und inhomogenen Feldern, magnetische Kernresonanz, Elektrostriktion in Membranen und Wänden. Um optimal wirksam zu sein muss die Amplitude einer elektromagnetischen Kraft etwa 1 ms andauern. Nach Beendigung eines Impulses entsteht ein Feld gegensätzlicher Polarisierung für dieselbe Dauer, so dass sowohl positive als auch negativ geladene Ionen in dieselbe Richtung wandern.	[147, 148, 149]
Ionenflüsse in erregbaren Membranen (Tintenfischaxon) können mit Elektrodifffusion beschrieben werden. Das elektrische Potential, das Ionen durch die Membran treibt, ist die Differenz zwischen 2 Oberflächenpotentialen. Mit oszillierenden elektrischen Reizen können periodische Veränderungen der Eigenschaften der elektrischen Doppelschichten erreicht werden.	[62]
QRS bewirkte einen Anstieg des Blutgefäß-"Dehnungskoeffizienten" (Dilatation) und eine Reduzierung des peripheren Gefäßwiderstandes durch die Gefäßdilatation.	[68]
Die Frequenzen schwacher elektrischer Felder in Interaktionen mit biologischen Systemen lagen im (log ₁₀)-Bereich 1 - 10. Phänomene im Bereich molekularer Fluktuationen oder Kinetiken elektrischer Doppelschichten haben größere Zeitkonstanten, optimale therapeutische Feldeffekte werden wahrscheinlich bei niedrigen Frequenzen erreicht. Therapeuten nutzen Felder von 150 oder 450 MHz ("Trägerfrequenzen"), die in Frequenzen von 10 - 20 Hz gepulst werden. Biologische Effekte sind die Folgen von Verstärkerwirkungen der elektromagnetischen Felder wie Beeinflussung von Transportproteinen in Membranen, die den Ionenfluss und in Folge die Ionenkonzentration ändern können. Charakteristische Zeitkonstanten biochemischer Vorgänge könnten in Resonanz mit PEMF schwingen.	[49]

Tab. 1 Pharmakologie	
Experiment / Aussage	Lit.
ZNS-/neurale Wirkungen	
Die Induktion eines Sägezahn-Stromes (siehe Tab. 5 [11]) in einer Schachtel-förmigen Spule aus Kupferblech erzeugte Magnetfelder, die in Petrischalen mit Zellkulturen (dorsale Wurzelganglien von Rattenembryonen) uniforme Felder produzierten. Die auswachsenden Neuriten orientierten sich in der Richtung des Stromflusses, während das Wachstum von Neuriten in nicht exzitierten Kulturen radial verlief.	[11]
Die magnetische Stimulation ($1.5 \text{ T} \triangleq 175 \text{ J/Puls}$, 20 Hz, Pulsdauer 1 – 5 s) von Hunden (N = 11) im Bereich der Lendenwirbelsäule (L4 – L5) bewirkte signifikante Druckerhöhungen im Rektum und in der Blase, während der Druck im Rektumhals signifikant abfiel ($p < 0.01_{t\text{-Test}}$).	[119]
Die einmalige Behandlung von Ratten mit experimentellen Quetschungen des Nervus Ischiaticus innerhalb von 10 min nach der Verletzung mit biphasischen Magnetimpulsen (280 μs Pulse, Magnetgradient, 30 – 50 kT s^{-1} 70 %, 0.5 Hz für 3 min) vs. elektrische Stimulation (0.1 ms, 1 Hz, gering oberhalb der Erregungsschwelle für Muskelpotentiale, 10 min) vs. keine Behandlung (Kontrollgruppe; N = 10/Gruppe) bewirkte 87 %ige Wiederherstellung der Ischiasfunktion binnen 4 Tagen nach den Stimulationen im Vergleich zu 70 % bei der Kontrollgruppe.	[4]
Extrem niederfrequente (ELF) elektrische Felder stimulierten frequenzabhängig den $^{45}\text{Ca}^{2+}$ -Efflux aus den Zellen von Hühnerhirn-Organokulturen. Der maximal erreichbare Efflux wurde von ~15 Hz Frequenzen erreicht. Affen und Katzen reagierten auf ELF elektrische Felder mit EEG- und Verhaltens-Änderungen. Der Hippocampus interagiert besonders empfindlich mit schwachen elektrischen und magnetischen (5.6, 56, 560 mT, 1 oder 60 Hz) Feldern.	[72]
Die repetitive transkranielle magnetische Stimulierung von Ratten (2 T, 25 Hz für 2 sec) verursachte keine Krämpfe (wie durch 100 Hz 5 msec 90 mA elektrische Ströme auslösbar) und induzierte mRNA-Synthese (<i>c-fos</i>) diskret im paraventriculären Thalamuskern, während Elektroschock-Behandlung <i>c-fos</i> -RNA Expression im gesamten Gehirn, insbesondere im Hippocampus und Neo-Cortex stimulierte.	[60]
PEMF-Behandlung (300 μT 2 Hz 4 h/d) von Ratten hemmte nach experimenteller Durchtrennung eines Ischiasnervs im Vergleich zu nicht PEMF-behandelten Tieren die Aktivität des Nervenwachstumsfaktors im distalen Nervenende um $26.3_{t=48 \text{ h}} - 51.8 \%_{t=6 \text{ h}}$ ($p < 0.02$), auch in den (ipsilateralen) Hinterhörnern war die Wachstumsfaktoraktivität verringert. Die Spiegel des Wachstumsfaktors in den distalen Nervenenden nahmen um $15.3_{t=72 \text{ h}} - 29.1 \%_{t=24 \text{ h}}$ ab. In den kontralateralen Hinterhörnern des Rückenmarks nahm die Wachstumsfaktoraktivität dagegen um 100 % zu. Keine entsprechende Wirkung war in nicht operierten Tieren nachweisbar.	[76]
24 h alte Organokulturen von Hinterhorn-Ganglien 6 Tage alter Hühnerembryonen wurden für 18 h einem PEMF (8 mT, Sägezahn-Pulsserien _a 22 Einzelimpulse von 25 Hz) ausgesetzt und nach weiteren 6 h und auf mögliche Interaktionen mit hinzugefügtem Nervenwachstumsfaktor _{NGF} untersucht. Das Längenwachstum von Neuriten war NGF-konzentrationsabhängig (0/50/100 ng/ml) und Feldstärke-abhängig (8/8000 μT) am stärksten bei 8 mT + 100 ng/ml NGF, die Oberflächen (4 Quadranten) der Ganglien ohne Neuriten (asymmetrisches Auswachsen) war jedoch am größten nach 8 mT ohne NGF.	[123]
Mit $^{45}\text{Ca}^{++}$ vorinkubierte Hirnscheiben von Katzen und Hühnern in Organokulturen, die mit sinusoidalen elektrischen Feldern der Frequenzen 1/6/16/32/75 Hz und Stärken 5/10/56/100 V/m 20 min in Luft stimuliert wurden, setzten besonders in den Frequenzbereichen 6 und 16 Hz 12-15 % weniger Ca^{++} frei als nicht behandelte Kontrollscheiben ($p < 0.05$). Die Schwellenstärken waren 10_{Katze} und 56_{Huhn} V/m (Amplitudenfenster), Gewebegradien waren 0.1_{Huhn} bzw. 0.6_{Katze} $\mu\text{V/cm}$. Mit 147 MHz Amplituden-modulierte Felder stimulierten den Ca^{++} -Efflux aus Hühner-Hirnkulturen im Frequenzbereich 6 - 20 Hz um >15 %, 450 MHz Amplituden-modulierte Felder von 16 Hz und Feldstärken zwischen 0.1 - 1 mW/cm^2 erhöhten den Ca^{++} -Efflux. Zunahme des extrazellulären Ca^{++} bewirkte bei Katzen einen steilen Anstieg des elektrischen Widerstandes im Hirngewebe.	[12, 13, 21]
Magnetfelder (100 nT, 0.05/0.1/0.25/5 Hz) wirkten auf Neuronen des Kleinhirns von Mäusen aktivierend (Einschalt-Funktion), gelegentlich auch hemmend.	[154]
Ein PEMF (5 μT , 8 Hz) bewirkte bei hypokinetischen Ratten eine Verringerung der unspezifischen Resistenz zu Beginn der Adaptationsperiode, eine Erhöhung der Erregbarkeit des ZNS und eine Abnahme von Katecholamin in Hypothalamus und Nebennieren.	[130]

Tab. 1 Pharmakologie	
Experiment / Aussage	Lit.
PEMF (8 Hz, 20 μ T, 6 min) bewirkten bei Katzen eine Vertiefung der Bremsreaktionen kortikaler Neuronen und eine Erhöhung der Frequenz und der Stabilität der Hintergrundimpulsaktivität der Neuronen im Bereich der Substantia nigra, des Neokortex und des Stammhirns.	[95]
Ein Magnetfeld (20 μ T, 8 Hz) modulierte in wachen Katzen die neuronale Aktivität im parietalen Kortex, die motorischen Vorderpfotenbewegungen vorangeht, und stimulierte die Reizleitung in der Substantia nigra.	[154]
Ein 50 mT-Magnetfeld stimulierte die Bewegungsaktivitäten von Mäusen, Felder von 100 - 200 mT dagegen bremsten sie. Bei einem Kaninchen stimulierte ein Gleichstrom-induziertes Magnetfeld von 20 - 100 mT langsame Wellen hoher Amplituden im EEG, die bei hemmenden Prozessen im Hirn nachweisbar sind. Solche Felder führten auch bei Menschen zum Erscheinen von α -Rhythmen im EEG. 90 mT hemmten die Pulsaktivität von Neuronen (Neocortex, Hippocampus, Thalamus, Hypothalamus, Substantia reticularis) des Kaninchens. Diese und weitere Untersuchungen deuten darauf, dass Glia-Zellen die neuronalen Reaktionen des ZNS auf Gleichstrom-Magnetfelder steuern. Bestrahlung der Neocortex-Region eines Kaninchens mit Gleichstrom-Magnetfeldern (20 - 30 mT, 1 h) bewirkte eine Zunahme der Anzahlen von Astrozyten, Mikroglia- und Oligodendrogliazellen im sensomotorischen Bereich. Beeinflussung der Blut-Hirnschranke wurde beobachtet.	[154]
In Ratten (Hypothalamus) bewirkten Magnetfelder (0.1 - 50 mT, 10 - 100 Hz, 1 - >10 min) Aktivierung der Gewebeatmung, verstärkte Phosphorylierung und Zunahme der Glykolyse. Im Blut waren die Cholinesterasespiegel erhöht. Magnetfelder von >10 mT und >50 Hz hatten am Kopf von Ratten "ungünstige" Wirkungen, peripher einwirkende Felder von <10 mT und <50 Hz konnten "günstig" wirken.	[154]
Behandlung (100 mT, 50 Hz, 5 h/d für 1 - 2 Wochen) von Mäusen führte zu Veränderungen in Mitochondrien und endoplasmischem Retikulum von Mäusen. 500 μ T 3.12 Hz verursachten ultrastrukturelle Veränderungen im Neokortex von Kaninchen und Ratten, die von der Einwirkungsdauer abhängig waren. 1 \times 4 h veränderte nur die Glia-Zellen, multiple Behandlungen (4 h/d für 5 d) beeinträchtigte zusätzlich die Neuronen. Die Effekte waren binnen 3 (Einmaleinwirkung) bzw. 15 Tagen (wiederholte Anwendung) reversibel.	[154]
Die Behandlung von Ratten mit Gleich-(65 μ T) + Wechselstrom-(46 μ T, 50 Hz) Magnetfeldern bewirkte eine Zunahme von Irrtümern im Y-Labyrinth, eine Verkürzung der Anpassung an unbekannte Situationen, eine Verringerung der Aggressivität und eine Zunahme von Abwehrreaktionen. Wechsel-(46 μ T, 50 Hz) + Gleichstrom-(14 - 17 μ T) Magnetfelder bewirkten eine Abnahme der aggressiven und defensiven Reaktionen von Ratten. Wechsel-(250 μ T) + Gleichstrom-(500 μ T) Magnetfelder (20 min) in den Zyklotron- und Larmor-Frequenzen von Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Mg^{++} , Li^+ , Zn^{++} führten in den Gleichstrom-Frequenzen von Ca^{++} und Mg^{++} zur Depression der explorativen Aktivität (380 Hz) bzw. zur Verstärkung der Bewegungs- und Erkundungs-Aktivitäten (630 Hz).	[154]
Enzym-/ Gen-/Hormon-Wirkungen	
Gene können durch Ströme an- und abgeschaltet werden. "Spezifische PEMFs" können z. B. Lysozym stimulieren, Hormon-Ausschüttung und Enzymaktivitäten steuern, die DNA- und die Kollagensynthese erhöhen, den Ca^{++} -Haushalt triggern, Rezeptoren modifizieren, die Fluidität von Membranen beeinflussen, Messenger-Systeme modulieren (Ca^{++} , Adenylcyclase, cAMP, Proteinkinase, Inositol). Daraus ergeben sich Beeinflussungen der Zellkommunikation, der Biosynthese, endokriner Funktionen, der Reproduktion, des Wachstums, der Neuronenfunktion, des Verhaltens. In die Endothelzellen eingeflossenes Ca^{++} bindet sich an Calmodulin, es folgt eine verstärkte NO-Bildung, die eine systemische Venendilatation und (geringgradige) Arterioldilatation verursacht.	[145]
Parallele Gleich- (20.9 μ T) und Wechselstrom-Magnetfelder (20.9 μ T, 8 - 20 Hz für 10 min) hemmten in einem Calmodulin-Myosin-Kinase-Cocktail die Calmodulin-abhängige Phosphorylierung des Myosins, die Frequenzen 16 (=Zyklotron-Frequenz des Ca^{++} im Gleichstrom-Magnetfeld), 14 und 13 Hz waren verantwortlich.	[154]
Die Behandlung hypokinetischer Ratten mit PEMF (8 Hz, 5 μ T, 3 h/d für 45 d, N=10) bewirkte innerhalb von etwa 10 Tagen eine Abnahme der (bei den Kontrolltieren erhöhten) Diurese sowie der renalen Adrenalin-/Noradrenalinexkretion unter den Versuchsbedingungen.	[129, 154]

Tab. 1 Pharmakologie	
Experiment / Aussage	Lit.
Interferenzströme der Schwebungsfrequenzen 10 und 100 Hz erhöhten in Mäusefibroblasten und humanen Granulozyten die cAMP-Konzentrationen (Einwirkung für 5 min), 20 Hz-Interferenzstrom hatte keine Wirkung, 50-Hz-Interferenzstrom bewirkte eine Abnahme der cAMP-Konzentration.	[33]
Die Einwirkung von PEMF (Sägezahn-Impulse 8 mT, 50 Hz 2 msec Pausen für 5/10/15/20 min) auf Kulturen von HL-60 Leukämie-Zellen förderte zeitabhängig die Bindung von ³ H-Phorbol-Dibutyrate an Protein-Kinase C-Membran-Komplexe. Chelierung von Ca ⁺⁺ reduzierte diesen Effekt signifikant.	[88]
Rheologie	
Mäuse (10 Tiere pro Versuch) wurden einer verringerten geomagnetischen Feldstärke (vertikal 0.4-0.6 µT, horizontal 0.046-0.07 µT) in abgeschirmten Kammern für 3/5/6/8/10 Tage ausgesetzt. Im Vergleich zu Kontrollgruppen war nach 3/5/8 Tagen die Fibrinolyse beschleunigt (p<0.001), nach 6 Tagen dagegen verlängert (p<0.001), nach 10 Tagen ergab sich kein Unterschied (n.s.). Der Beginn der Blutgerinnung war bei den Versuchsgruppen nach 3/8 Tagen verzögert (p<0.001), zu den anderen Untersuchungsterminen ergaben sich keine Veränderungen. Das Ende der Gerinnungsphase ließ keine signifikanten Unterschiede in den Versuchsgruppen erkennen.	[100]
In Ratten bewirkte ein Magnetfeld (5 µT 8 Hz 3 h/d für 9 - 45 d) Änderungen des Lipid- und Cholesterin-Austauschs, der Haemokoagulation und der unspezifischen Resistenz.	[154]
Kreislauf	
Starke Magnetfelder (4 - 7 T für ~3 h) beeinflussten nicht die Atemfrequenzen oder die R-Amplituden (EKG) von 2 Tamarin-Äffchen, die T-Amplituden waren dagegen erhöht. Die Herzfrequenzen nahmen unter Feldeinfluss stetig und reversibel ab.	[15]
Bei hypertensiven (durch Infusion von Noradrenalin unter Pentobarbitalanästhesie) Kaninchen (N=16) führte die Einwirkung von Dauermagneten (0.2 T für 30 min) über den Carotissinus-Regionen (Nord und Südpol gegenüberliegend) zu signifikanten Abnahmen des (arteriellen/diastolischen/systolischen) Blutdruckes im Vergleich zu den Kontrolltieren (N=8) um etwa 8-10 %.	[50]
Parallele Gleich- (21 µT) und Wechsel-Strom-Magnetfelder (140 µT, 16 Hz (= Zyklotronfrequenz des Ca ⁺⁺), für 15 - 20 min) bewirkten in Wasserflöhen (<i>Daphnia magna</i>) maximale Spitzen der Fluktuationen der Herzkontraktionen.	[28, 154]
Entzündungshemmung / Antitoxische Wirkung	
Bei Ratten hemmten PEMF (1 mT, 10 Hz für 3 h, 7 und 21 d, N=6 Tiere/Gruppe) signifikant die Entstehung Carrageenan-induzierbarer Pfotenödeme.	[41, 44]
Wechselstrom-Magnetfelder (4 µT, 0.02 Hz/8 Hz für 3 h) schützten Mäuse gegen nachfolgende letale Ganzkörper-Röntgenbestrahlung (7.5 Gy).	[154]
Die PEMF-Behandlung (4 mV 20 µsec-Pulse 85 µsec-Pulsserien 2 Hz vs. 1.6 mV 250 µsec-Pulse 50 msec-Pulsserien 2 Hz) von Mäusen mit Doxorubicin- bzw. Bisanthren-induzierten Hautläsionen hatte keine antitoxische oder heilungsfördernde Wirksamkeit.	[35]
Immunreaktionen	
Milzzellen von Mäusen, die mit Rattenerythrozyten vorimmunisiert worden waren, wurden schwachen Gleichstrom-Magnetfeldern ausgesetzt (20 - 200 µT für 2 - 4 min). Nach Rattenerythrozyten-Provokation sezernierten die immunkompetenten Zellen weniger Antikörper. 50 µT waren das Wirkungsmaximum, die Wirkung war abhängig von der Einwirkungsdauer und der Frequenz (21.1 Hz ± 0.1 Hz-Breite). Einwirkung des Magnetfeldes 20 mT, 50 Hz für 6 h verursachte eine Abnahme der Antikörperbildung in Meerschweinchen.	[154]
Ein Magnetfeld (5 µT, 8 Hz, 3 h/d für 40 d) bewirkte eine Änderung des Tagesrhythmus der Funktionsparameter von Lymphozyten (Succinat-/Glycerophosphat-Dehydrogenase-Aktivitäten) und Neutrophilen (Peroxidase-Aktivität) von Ratten.	[131, 154]
Zellfunktion	
Die Einwirkung von PEMF (75 Hz, 2,3 mT, 1,3 ms Pulsdauer, 12 h/d für 3 d) auf Kulturen humaner Osteoblasten (Stamm MG63) erhöhte die Produktion alkalischer Phosphatase, von C-terminalem Prokollagen I, von Osteocalcin und von transformierendem Wachstumsfaktor β1 in Gegenwart von Polmethylmethacrylat + α-Tricalciumphosphat (p<0.005 _{ANOVA}). Die Zellproliferation wurde signifikant stimuliert (p<0.001). Die Wirkungen waren noch 3 Tage nach der Behandlung signifikant nachweisbar.	[134]

Tab. 1 Pharmakologie	
Experiment / Aussage	Lit.
Die interzelluläre Kommunikation (Weitergabe von Lucifer Gelb von injizierten Targetzellen an umgebende Zellen) von mehr (ROS 17/2.8) oder weniger differenzierten (MC3T3-E1) Osteoblasten-Kulturen durch ELF (30-120 Hz, bis zu 12,5 G) wurde dosisabhängig ($IC_{50} = 4 \text{ G}$) nur in der proliferativen Entwicklungsphase von weniger differenzierten (prä)Osteoblasten gehemmt. Die Menge des Connexin 43 Proteins und seine intrazelluläre Verteilung wurden nicht beeinflusst, ebenso wenig das cytosolische Ca^{++} .	[152]
PEMF scheint die Mitoserate heilender Zellen zu stimulieren und nicht durch Veränderung des Ca^{++} -Stoffwechsels zu wirken. Dies würde bedeuten, dass generell Zellen in Geweben aktiven Wachstums (heilende, foetale, maligne) stimuliert werden würden.	[14]
Die Einwirkung von PEMFs (0-1.8 mT-Pulse von 200 μsec Dauer/25 μsec Pause, Pulsserien von 4.5 msec, 15 Hz für 18 h) auf Primärkulturen embryonaler Ratten-Osteoclasten in Co-Kultivation mit osteoblastenähnlichen Zellen (Osteosarcomzellen UMR-106), angezüchtet auf devitalisierten Knochenscheiben, bewirkte Verdoppelung der Knochenresorption. Isolierte Osteoclasten wurden nicht stimuliert. Die knochenresorptionshemmende Wirkung von Calcitonin wurde nicht beeinträchtigt. Die $Ni^{++}_{5 \text{ mM}}$ -induzierte (durch Calcitonin hemmbare) Stimulation des Osteoclasten- Ca^{++} -Rezeptors wurde durch PEMF gegen die Calcitoninhemmung aufrechterhalten.	[120]
In Cloudman-Melanom-Zellkulturen hemmte Vorbehandlung mit Adrenalin oder Isoproterenol die Wirkung von PEMFs auf die Phosphorylierung von Proteinen, die Adenylatzyklase- und die Proteinkinase-Aktivität. Die Wirkung des α -Melanozytenstimulierenden Hormons (induziert die zelluläre Differenzierung; MSH) wurde nicht beeinträchtigt durch Adrenergika-Vorbehandlung. PEMF können die zelluläre Differenzierung induzieren und den Phänotyp der Melanomzelle durch Differenzierung der Proteinsynthese und Phosphorylierung ändern.	[115]
Magnetfelder (30 mT, 30 - 33 Hz, 7 - 10 min) förderten deutlich das Auskeimen alter Weizensamen.	[154]
Die Blastem-Regeneration dekapitierter Strudelwürmer wurde durch Gleich-(20.9 μT , Ca^{++} -Zyklotronfrequenz) + Wechselstrom-(38.6 μT , 16 Hz, 4 - 240 h) Magnetfelder substantiell gefördert (Anstieg der Mitoserate). Die Wirkung war abhängig von der Wechselstrom-Amplitude im Bereich 5 - 200 μT .	[154]
PEMF (300 μT , 2 Hz 1 h/d für 3 d) hatten keinen Einfluss auf das <i>in vitro</i> oder das invasive (in Matrigel) Wachstum von humanen Mamma-Karzinom-Zelllinien (MDA-MB-435, MDA-MB-231, MCF-7), auch nicht auf die onkostatistische Wirkung von Melatonin (10^{-3} M) auf das Wachstum dieser Zellen.	[71]
Wundheilung	
Die Behandlung von Ratten mit experimentellen Wunden mit PEMF (12,5 mT, 5 Pulse s^{-1} , 5 Hz, 1500 Pulse/Behandlung, 7 Behandlungen in 22 Tagen) hatte keine signifikant unterschiedliche Wirksamkeit im Vergleich zu einer Placebo-Behandlung.	[87]
Experimentell verletzte Ratten wurden mit PEMF (0.7 mT 50 Hz 1 h/d für 30 d) behandelt. Vergleichsgruppen (N=16/Gruppe) erhielten Thymopentin (s.c. 25 mg/ Woche) bzw. PGE_2 (topisch 0.5 mg jeden 2. Tag). Unter PEMF waren nach 8 und 15 d weniger entzündliche Komponenten im Wundbereich als bei den Vergleichsgruppen. Nach 26 d zeigten Hautschnitte PEMF-behandelter Zellen gut strukturiertes Epithel. Kontrolltiere sowie die PGE_2 -/Thymopentin-behandelten Tiere waren dagegen noch nicht komplett ausgeheilt. Nach 30 d hatten PEMF-behandelte Ratten normal strukturiertes Epithel mit Orthokeratosis. Nach PGE_2 bzw. Thymopentin waren immer noch vaskuläre Komponenten/Entzündungszellen vorhanden. Kontrolltiere hatten normal strukturiertes Epithel mit Orthokeratosis.	[40]
Anti-Tumor-Wirkung	
Die Behandlung Sarcom-inokulierter älterer Ratten mit Wechselstrom-Magnetfeldern (50 mT, 0.03 Hz, 20 min/d für 1 -2 Wochen) bewirkte Verschwinden der Tumore in 60 % der Tiere.	[154]
Die PEMF-Behandlung von Mäusen (20 min/d 3 bzw. 5 Tage nach der Transplantation) bewirkte Schutz gegen eine innerhalb von 12 - 13 Tagen tödliche Transplantation von Ehrlich Ascites-Karzinom-Zellen, gleichzeitig war eine verstärkte zelluläre Abwehrreaktion nachweisbar.	[113]

3.3.1.3 Sicherheitspharmakologie

Bei An- und Abschalten eines Magnetfeldes von 30 μT tritt beim Menschen innerhalb von ~ 3 -4 min eine vorübergehende Absenkung des Pulses um ~ 3 Schläge/min ein [46]. Sympathikotoniker werden bei Frequenzen >15 Hz gelegentlich nervös [102]. Dann erweisen sich niedrigere Frequenzen (≤ 10 Hz) als günstig und therapeutisch wirksam [102].

Magnetische Wechselfelder der Frequenz 60/50 Hz können durch Induktion physiologisch signifikante elektrische Felder und Ringströme produzieren [65]. Magnetfelder können nur unvollständig (durch Platten aus speziellen Legierungen) abgeschirmt werden [3; 65].

Erreichen "vagabundierende lokale (elektrische und magnetische) Außenfelder um den Kopf herum eine kritische Größe (~ 5 V/m / ~ 0.4 μT)", können sie biologische Folgeerscheinungen auslösen [146]. Störung der pinealen Synthese von Melatonin wurde nachgewiesen, ebenso Beeinträchtigung der Aktivitäten der Enzyme Serotonin-N-Azetyl-Transferase und Hydroxyindol-O-Methyl-Transferase [146]. Störungen des psychischen Wohlbefindens und des Schlafes können die Folgen sein [146].

Langandauernde systematische Einwirkung (Monate bis Jahre) von Gleich- und Wechselstrom-Magnetfeldern der Flußdichte einiger 10 mT in industriellen Bereichen soll Ermüdung, Schwindel, Schlaflosigkeit, Kopf-, Herzschmerzen hervorrufen [154]. Derartige Felder verursachten bei Insekten, Vögeln und Säugetieren Zunahmen der Bewegungsaktivitäten [154].

Von Gewittern ausgehende "Atmo(Spherics)" (elektromagnetische Wellen im 10 bzw. 27 kHz-Bereich) korrelierten mit zunehmender Häufigkeit von Verkehrs-, Betriebs- und Sportunfällen und Suicidversuchen [41].

Interaktionen kosmischer/solarer Strahlen mit dem Erdmagnetismus korrelierten mit Anstiegen der Häufigkeiten von Stenokardien, Herz-, Lungeninfarkten, Apoplexien, Bluthochdruckkrisen [41].

Die einfachblinde Einwirkung hochfrequenter Mobiltelefon-PEMFs auf 13 Probanden (Alter 21 - 27 Jahre, alle ♂) ergab, dass die von der exponierten Hemisphäre abgeleiteten EEGs bei zusätzlicher aufgabenbezogener akustischer Stimulation die 18.75 - 31.25 Hz EEG-Frequenzen veränderten [38]. Bei Versuchspersonen erhöhten elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen die kognitive Reaktionsfähigkeit [16].

PEMF-Behandlung (Stufe 10 ± 27 μT 8 min 2-3 \times stündlich kurz vor Schwärmbeginn; bzw. 17 μT) von Bakterien (*Proteus mirabilis*; *Proteus vulgaris* ATCC 8427; *E. coli* K12; *Bacillus thuringiensis*; Agarkulturen) beeinflusste weder das Schwärmen noch das Wachstum [125].

Geringgradige Zunahmen der Wachstumsrate korrelierten mit PEMF-abhängigen Zunahmen der Temperatur [125].

3.3.1.4 Analytische Methoden und Validierungsberichte

Siehe 2.1 zweiten und dritten Absatz.

3.3.1.5 Arzneimittelinteraktionen

Siehe auch 3.3.2.4 [154] und Tab. 1 [76]; [123]; [12, 13, 21]; [71].

Die Interaktion statischer (Gleichstrom-) Magnetfelder mit schwachen Wechselstromfeldern wird zur Erzeugung biologischer Resonanzen genutzt [124].

Sehr schwache elektrische Felder (z. B. von der Stärke einer 3 m entfernten Glühbirne) verminderten, wenn sie mit Hirnwellenfrequenzen gepulst waren, die Frequenzen der Hirnzellen von Affen und Menschen [14]. Mit Radiowellen konnte in Organkulturen von Kükenhirnen die Bindung/Freisetzung von Ca^{++} und damit bestimmte Impulsraten beeinflusst werden. Bei Impulsfrequenzen von 6-10 bzw. 16 Hz verstärkten Radiowellen von 147 bzw. 450 MHz die Freisetzung von Ca^{++} und störten die Übertragung der Impulse [14].

Die Einwirkung von PEMF (2.5 mV 24 h/d) auf Mäuse nach Verabreichung von Cyclophosphamid (knochenmarktoxische Dosis = 200 mg/kg i.p.) bewirkte eine Abnahme der peripheren Leukozyten während der nachfolgenden 2 Tage ($p < 0.02$) [25]. Die Milzgewichte PEMF-behandelter Tiere waren niedriger als die der nur mit Cyclophosphamid behandelten Tiere. Im Knochenmark war der Anteil markierter Zellen nach ^3H -TdR-Injektion 24 h vor der Opferung niedriger nach PEMF-Einwirkung 8 Tage nach der Cyclophosphamid-Gabe ($p < 0.02$). Nach Injektion von Knochenmarkszellen vorbehandelter Mäuse waren die Markierungs-Indices und die Milzgewichte der Tiere niedriger nach Empfang von Zellen PEMF-vorbehandelter Tiere [25].

Gleichstrom-Magnetfelder (0.8 - 2 T) beeinflussten in Gegenwart von Strophantin (Hemmer der Na-, K-ATPase) und in Abhängigkeit von der Konzentration von K^+ und Na^+ den aktiven Transport von Fluorescein im Nervengewebe [151].

Die Nitrosomethylharnstoff-induzierte Genese von Mammakarzinomen in weiblichen Ratten (Spontangenese: 31 %) wurde durch ein Magnetfeld (160 μT , 50 Hz, 3 h/d) auf 57 % erhöht und durch zusätzliche ganztägige Lichteinwirkung auf 81 % gesteigert [151].

3.3.2 Toxikologie

3.3.2.1 Toxizität nach einmaliger Verabreichung

Jahrelange Versuche haben keine unerwünschten klinischen Wirkungen und keine messbaren klinisch-chemischen oder klinisch-physiologischen Veränderungen ergeben [102]. Niederfrequente elektromagnetische Felder geringer Intensität können kurzfristig keine Schäden an Lebewesen verursachen, da die im Körper induzierten Felder deutlich geringer sind als jene, die durch die Lebensvorgänge selbst erzeugt werden [46].

Stromdichten von $10 - 100 \text{ mA m}^{-2}$ führten zu signifikanten Gewebereaktionen isolierter Zellen und von Versuchstieren [17]. 10 mA m^{-2} bei einigen Hz – 1 kHz gelten als untere Schwelle einer geringen Beeinflussung des Zentralnervensystems [17]. $>100 \text{ mA m}^{-2}$ gelten als niedrigster Schwellenwert für nachgewiesene gesundheitliche Beeinträchtigungen [17].

Aus einer Übersicht [82] über Wirkungen elektromagnetischer Felder auf biologische Systeme wurden Schwellenwerte (Tab. 2) zusammengestellt, die der Festlegung von zulässigen Belastungen [39, 82, 83] dienen (Tab. 3).

<i>physikalische Größe</i>	<i>Schwelle: Parameter</i>
spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) von elektromagnetischen Feldern (EMF)	4 W kg^{-1} : Erhöhung der Körpertemperatur von Versuchstieren, initial Übertritt extrazellulärer Flüssigkeit in den Kreislauf, Erhöhung der Herzfrequenz und des intraventrikulären Blutdruckes. Beim Menschen bewirkt eine Einwirkung von EMF für ~30 min, $\text{SAR} = 1-4 \text{ W kg}^{-1}$ eine Temperaturerhöhung von $<1 \text{ }^\circ\text{C}$.
SAR von Mikrowellenfeldern	1 W kg^{-1} : Fragliche DNA-Strang-Brüche in Hoden und Hirnzellen
SAR von 900-MHz-Feldern, 0.6 μs -Pulse 217 Hz	$0.01-4.2 \text{ W kg}^{-1}$: Verdoppelung der Lymphom-Inzidenz bei Mäusen
spezifische Energieabsorption (SA) von Mikrowellen (2.45 GHz 30 μs -Pulse)	$0.1-0.4 \text{ J m}^{-2}$: Akustische Wahrnehmung durch Menschen, bei Nagern lag die Schwelle etwa 100-fach niedriger.
Wechselstrom 100 kHz / 1 MHz	25-40 mA: Berührungseffekt, 33-55 / 28-50 mA: Schmerz bei Finger-Berührung, 112-224 $\text{mA}_{100 \text{ kHz}}$: schmerzhafte Schreck-/Loslass-Reaktion, 160-320 $\text{mA}_{100 \text{ kHz}}$: schwerer Schock/Atembeschwerden.
Frequenz (Hz) und Stromdichte (J)	$>1-1000 \text{ Hz}$ $>100 \text{ mA m}^{-2}$: Änderung der ZNS-Erregbarkeit; Umkehr visuell erregter Potentiale

Frequenzbereich (f = Hz)	allgemein	beruflich
1-4 Hz	$8/f \text{ mA m}^{-2}$	$40/f \text{ mA m}^{-2}$
4-1000 Hz	2 mA m^{-2}	10 mA m^{-2}
1-100 kHz	$f/500 \text{ mA m}^{-2}$	$f/100 \text{ mA m}^{-2}$

100 kHz - 10 MHz	$f/500 \text{ mA m}^{-2} \cong 0.08\text{-}4 \text{ W kg}^{-1}$	$f/100 \text{ mA m}^{-2} \cong 0.4\text{-}20 \text{ W kg}^{-1}$
10 MHz - 10 GHz	$0.08\text{-}4 \text{ W kg}^{-1}$	$0.4\text{-}20 \text{ W kg}^{-1}$
Bei angenommener homogener Leitfähigkeit des Körpers von 0.2 S m^{-1} würde eine 50 Hz magnetische Flußdichte von $100 \text{ }\mu\text{T}$ Stromdichten von $0.2\text{-}2 \text{ mA m}^{-2}$ in der Körperperipherie erzeugen.		

<p>physikalische Einheiten</p> <p>A = Ampere, elektrische Stromstärke, $A = 2 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-1}$</p> <p>J = Joule, Arbeit, $J = \text{Nm} = \text{Ws} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$</p> <p>N = Newton, Kraft, $N = \text{kgms}^{-2}$</p> <p>S = Siemens, elektrischer Leitwert, $S = \Omega^{-1} = \text{s}^3 \text{ A}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-2}$</p> <p>T = Tesla, magnetische Flussdichte, $T = \text{Vsm}^{-2} = \text{kg s}^{-2} \text{ A}^{-1}$</p> <p>$10^{-4} \text{ T} = 1 \text{ G (Gauss)}$</p> <p>V = Volt, elektrische Spannung, $V = \text{WA} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ A}^{-1}$</p> <p>W = Watt, Leistung, $W = \text{Js}^{-1} = \text{VA} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-3} = \text{N m s}^{-1}$</p> <p>$80 \text{ A m}^{-1} = 100 \text{ }\mu\text{T}$; $1 \text{ A m}^{-1} = 1.25 \text{ }\mu\text{T}$ [3; 17]</p>

Vorsicht ist bei Patienten mit Herzschrittmachern, bei Neigung zu epileptischen Anfällen, bei starker Pilz- und Bakterieninvasion und in den ersten Monaten der Schwangerschaft geboten [145].

Unipolare Herzschrittmacher können durch magnetostatische Felder von $>300 \text{ }\mu\text{T}$ oder durch 50 Hz-Wechselfelder von $>20 \text{ }\mu\text{T}$ gestört werden [17].

QRS-Geräte sind bei Herzschrittmachern ungefährlich, da sie keine Frequenzen unter 1 Hz senden [102]. Über Anwendungen bei Schwangeren liegen noch zu wenig Erfahrungen vor [102].

Elektrische Feldstärken $>2,5 \text{ kVm}^{-1}$ können als belästigend wahrgenommen werden [17].

Die thermischen Effekte der hochfrequenten elektromagnetischen Felder liegen der Grenzwertbestimmung zugrunde [16]. Durch Hitzeshock veränderte Proteine dienen möglicherweise als Tumorpromotoren [16]. Berichtet wurden Veränderungen der neuralen und neuromuskulären Funktionen, erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, Verschlechterung der Sehfähigkeit, Veränderungen im Immun- und im hämatologischen System, bei der Fortpflanzungsfähigkeit, der Zellmorphologie, des Wasser- und Elektrolythaushaltes sowie der Membranfunktion [16]. Die Berichte sind jedoch häufig widersprüchlich und daher nicht beweisend für ein gesundheitliches Risiko [16].

3.3.2.2 Toxizität nach wiederholter Verabreichung

Gemäß DIN-VDE von 1989 sind die Grenzwerte für Dauerexpositionen 20 kV/m für elektrische und 5 mT für magnetische Felder [46].

Die Einwirkung von PEMF (40/70/100 % von 1.4 T, $100 - 900 \times /d$, 28 d) auf die Kniegelenke junger Kaninchen verursachte geringfügige ($p < 0.05_{\text{Wilcoxon}}$), Intensitäts- und Zeit-abhängige Stimulierung der Chondroitinsulfat-Synthese (Alcaciaublau-Färbung) [150].

Überlange Exposition zu den in Amplitude und Frequenz spezifischen Magnetfeldern und Resonanzphänomene könnten die Regelkapazität des Organismus übersteigen (z. B. Ca^{++} -Überschuss in Zellen) [145]. In diesem Fall sind pathologische Auswirkungen zu erwarten. Hierzu gehören Blutandrang in den Kapillaren von Kaninchenohren, bzw. in Milz und Leber von Mäusen [145].

Für Regionen mit oberirdischen Hochspannungsleitungen, die um 22 % höhere Magnetfeldstärken als zufällig ausgewählte Wohnorte aufwiesen, wurden 40 % mehr "Todesorte" durch Suicid nachgewiesen [14, 65]. Eine retrospektive Mortalitätsanalyse von 21744 Personen, die in einem Elektrowerk (Einwirkung von 60 Hz elektrischen und magnetischen Feldern und PEMFs) beschäftigt gewesen waren, ergab signifikante Erhöhungen der Todesursachen (standardisierte Mortalitätsverhältnisse im Vergleich zur lokalen Bevölkerung) "Unfall" um den Faktor 2 und "Gewalteinwirkung" um den Faktor 1.8 [5]. In Schweden errichtete Neuanlagen dürfen keine magnetischen Flussdichten >250 nT aufweisen [65]. Störende Magnetfelder können durch ein künstlich erzeugtes Gegenmagnetfeld "soweit wie möglich" eliminiert werden (Kompensation) [65].

Vergleichende Untersuchungen an Gesunden zu Zeiten starker (1980) und geringer Sonnenaktivität (1985) ergaben, dass die menschliche Fehlerquote von Piloten sowie einige ihrer physiologisch-biochemischen Werte mit der Sonnenaktivität korrelierten [140]. "Empfindliche" Personen reagierten intensiver als wenig Erregbare [140].

Notfallmedizinische Daten der Stadt Swerdlowsk belegen eine statistisch gesicherte Häufung von Herzrhythmusstörungen, kardiovaskulären Krisen/Herzinfarkten im Zusammenhang mit magnetischen Stürmen [112, 154]. Dies war für 1-2 Tage nach dem Wechsel von einem negativen interplanetaren Magnetfeld zum Positiven feststellbar [112]. Solare magnetische Stürme korrelieren mit Angst, Reizbarkeit, verminderter Aufmerksamkeit und Arbeitsfähigkeit [154]. Zusammenhänge zwischen solarer Aktivität und verringerter Funktion des humanen ZNS, sowie psychopathischen Attacken, Einweisungen wegen Schizophrenie, alkoholischen Psychosen, Epilepsie, Mamma-Karzinomen, Glaukomattacken, Mortalität und Geburten, sozialen Krisen und Kriegen wurden beschrieben [154].

Die PEMF-Exposition von 3 Truthähnen (Salut-II 2 h/d für 3 Wochen) ergab im Vergleich zu 3 Kontrolltieren keine Beeinträchtigung des Wachstums/des klinischen Zustandes, der peripheren Lymphozyten, der Serumelektrolyte [141, 143]. Die β -adrenerge Rezeptorfunktion der Erythrozyten hatte geringfügig (+7,6 %) zugenommen [141, 143].

60 mT-Felder bewirkten im ZNS der Katze elektronenoptisch Vergrößerung der Kanäle des endoplasmatischen Retikulums, Abnahme der Ri-

bosomen, Schwellung der Mitochondrien, Hypertrophie des Golgi-Apparates und Abnahme der synaptischen Vesikel [154].

Die Einwirkung eines Magnetfeldes auf Ratten (10 - 50 mT, 2 h/d für 1/3/6/14/21 d) beeinflusste Neuronen, Gliazellen, Synapsen, Blutgefäße des Gehirns [154]. Die histopathologische Untersuchung (inkl. EM) offenbarte Kollaps der Wände von Kapillaren und großen Gefäßen, Verengungen/Erweiterungen der Gefäßlumina, Aneurismen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer [154]. Nach 3 Tagen waren Proliferation der Gliazellen und Imprägnierungszeichen an den Synapsen nachweisbar [154]. Mehrtägige Einwirkung führte zur Vakuolisierung des Zytoplasmas von Neuronen und Gliazellen, zu vermehrten nichtsynaptischen interneuronalen Kontakten und zu einer Verringerung der Synapsenzahl [154].

Wechselstrom-Magnetfelder (20 - 100 Hz) beeinträchtigten die Lernfähigkeit von Tieren [154]. Bei Versuchspersonen beeinträchtigten Magnetfelder (5 μ T, 5/8 Hz, 3 h/d für 10 d) das Erinnerungsvermögen (korrekte konditionierte Reaktionen) [154]. Magnetfelder (3 mT, 10 Hz, 2 h/d vor der Konditionierung) hemmten bei Ratten die Konditionierung, verringerten die "Stabilität" des Lernens und verlängerten die Latenzperioden von Vermeidungsreaktionen [154]. Nach 1 mT-Feldern traten diese Reaktionen nicht auf [154].

3.3.2.3 Gentoxizität

Siehe 3.3.2.4.

3.3.2.4 Carcinogenizität

Gleichstrom-Magnetfelder (300 μ T 3 h/d für 2 Wochen) förderten die Mamma-Karzinogenese postpubertärer weiblicher Ratten [154]. Kontinuierliche Lichteinwirkung für 24 h verstärkten diesen Prozess, kontinuierliche Verdunkelung schwächten ihn ab [154]. Extrem niederfrequente Felder beeinflussen möglicherweise die Tumor-Promotion nach der Initiation [82].

Leukämie, Hirntumoren und Suicide waren tendenziell erhöht im Zusammenhang mit Magnetfeldern (n.s.), Hirntumoren und Suicid waren tendenziell erhöht im Zusammenhang mit elektrischen Feldern (n.s.) und Lungenkrebs war tendenziell erhöht im Zusammenhang mit PEMFs (n.s.) [5]. Nach beruflich bedingtem Aufenthalt in niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (Elektriker; Elektroingenieure) wurde ein signifikant 10.3-fach erhöhtes, beschäftigungszeitabhängiges Risiko (CI=1.3-80.8 für 10 Jahre) der Erkrankung an Astrozytomen nachgewiesen [65]. Berichte, die Todesfälle von Kindern wegen Krebs mit der Gefährdung durch elektromagnetische Felder in Zusammenhang brachten [46, 65], bedürfen der Bestätigung [46, 82]. In epidemiologi-

schen Studien wurde eine hochsignifikante Tendenz der Gefährdung durch Krebs (Leukämie, Lymphome, Tumoren des Nervensystems, usw.) durch technische Magnetfelder gefunden [148].

Hochfrequente elektromagnetische Felder (lang andauernde Nutzung von Handys über 10 Jahre) erhöhten das Risiko von Hirntumoren (1429 Fälle) und von Uvealtumoren [16].

Elektrische Heilungsstimulatoren könnten die Entstehung von Krebs beim Menschen begünstigen, da PEMF offenbar jedes Zellsystem, das sich in einer aktiven Wachstumsphase befindet, stimuliert [14].

3.3.2.5 Reproduktive und embryonale Toxizität

Die Einwirkung eines Magnetfeldes (1 T für 1 h) auf Albinomäuse am 7./10./13. Tag post conceptionem hatte am 18. Tag post conceptionem keine Unterschiede der Anzahlen normaler Foeten, der frühen oder späten Keimresorptionen, der Missbildungen und der toten Foeten im Vergleich zu Kontrolltieren zur Folge [64]. Die postnatale Entwicklung bis zum 46. Tag post conceptionem offenbarte keine Auswirkungen auf Körper- und Hirngewichte, die Durchmesser von Neokortex und Hirnkommissuren sowie auf den Ordnungsgrad kortikaler Neurone [64].

3.3.2.6 Lokale Verträglichkeit

Der "Sofort-Indikator" von PEMF, die Thermoreaktion, tritt bereits vereinzelt bei Flussdichten und Strom-Schalt-Sprüngen auf, wie sie vagabundierend in manchen Wohn- und Arbeitsräumen vorkommen [145]. Die chronische Einwirkung dieser Magnetfelder ist mit einem Therapiemoment unverträglich [145].

3.3.2.7 Andere Untersuchungen zur Toxizität

Wechselstrom-Magnetfelder (20 mT, 50 Hz, 6.5 h) verursachten bei Meerschweinchen Störungen der Hämodynamik, Blutungen, Lungenemphysem, Hodenschwellung [154].

4 KLINIK

4.1 Klinische Zusammenfassung

Die bis 1984 berichteten Heilungen von PEMF-behandelten Pseudoarthrosen lagen bei durchschnittlich 77 % (Bereich 61 - 91 %). Angesichts der vorliegenden Erfahrungen sollen placebokontrollierte Doppelblindstudien wegen der "verzweifelten Situation" der betroffenen Patienten nicht mehr vertretbar sein. Mehr als 8000 Endergebnisse der Anwendung von PEMF bei 20000 Patienten mit Pseudoarthrosen/erfolglosen Arthrodesen/kongenitalen Pseudoarthrosen haben gezeigt, dass die relativen Beiträge der kombinierten Therapie "PEMF/Ruhigstellung mit Gips/Entlastung" nicht präzise auseinanderdividiert werden können. Weitere Übersichten geben Erfolgsquoten von 81 (13 - 100) % an. Zahlreiche Berichte über erfolgreiche Behandlung von Gelenkerkran-

kungen, Kreislaufstörungen, Ulcera, Psoriasis, ZNS-Erkrankungen/-Schmerzen, Urininkontinenz, Augenerkrankungen, Polymorbidität liegen vor.

Durch die Applikation von Magnetfeldern werden im Körper Resonanzschwingungen ausgelöst. Dies geschieht mit definierten elektromagnetischen Impulsen, deren Stärke exponentiell zunimmt (Amplitudenfenster). Dem Amplitudenmaximum folgt ein Abbruch des Feldes, das Puls:Pausen-Verhältnis ist $\approx 2:3$ (PEMF). Magnetfelder für therapeutische Zwecke haben ein breites Frequenzband mit der höchsten Energiebelegung im Bereich <1 kHz. Die Felder konkurrieren im Organismus mit piezoelektrischen Potentialen in Knochen und Proteinen, mit Strömungspotentialen in Blut, Lymphe, interstitieller Flüssigkeit, ζ -Potentialen, Berührungspotentialen, Helmholtz-Doppellayer-Potentialen. Der Therapieerfolg ist gekennzeichnet durch verstärkte Dilatation der Blutgefäße, durch gesteigerte Perfusion des Arteriolen- und Venolenbereichs, durch einen gesteigerten O_2 -Partialdruck mit verbesserter Zellversorgung und Metabolitenentsorgung, durch eine Erhöhung des Atemvolumens mit Senkung der Atemfrequenz, durch Verringerung der Herzschlagfrequenz, durch Aktivierung von Makrophagen infolge pH-Änderung. Die hohe Durchblutungsförderung (Verbesserung der Mikrozirkulation) trägt in großem Maße zum Erfolg therapeutischer Anwendungen bei.

4.2 Klinische Studienberichte

4.2.1 Biopharmazeutische Studienberichte

Siehe 2.1 und 3.1, jeweils erster Absatz.

4.2.2 Humanpharmakodynamische Studienberichte

Siehe Tab. 4.

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
Übersichten	
Die theoretischen Flussdichten magnetischer Strahlungsquellen, die in einem 1.77 m großen und 76 kg schweren Menschen (aufgeteilt in 1.74×10^6 Volumeneinheiten von 3.6 mm Kantenlänge) eine durchschnittliche Stromdichte von 1 mA m^{-2} (Schwellenwert zur Erzeugung geringfügiger biologischer Wirkungen) induzieren sollen, würden sagittal 0.2964, transversal 0.3596 und vertikal 0.4282 mT betragen. Die elektrischen Leitwerte von Körpersubstraten variieren zwischen 0.04_{Knochen} und $3.3_{\text{Urin}} \text{ S m}^{-1}$.	[32]
Im Gegensatz zur funktionellen elektrischen Stimulation war die funktionelle magnetische Stimulation peripherer Nerven schwer zu fokussieren. Setzt man statt einer großen Spule, die lokal versetzt werden muß, multiple kleinere Spulen ein, kann eine selektive periphere magnetische Stimulation ohne Versetzung einer Spule erreicht werden. Durch individuelle Schaltung der Spulen kann die maximale Exzitation lokal variiert werden. Kleinere Spulen erfordern höheren Stromverbrauch.	[114]
In einer Literaturübersicht von 31 klinischen Studien mit je mindestens einer Kontrollgruppe (20 waren doppelblind, randomisiert, placebokontrolliert) war der analgetische Effekt der Magnetfeldtherapie offenbar der Placebobehandlung überlegen. Bei degenerativen und entzündlichen Erkrankungen des Bewegungsapparates, bei Ulcera und bei spastischen Zuständen waren die Ergebnisse nicht einheitlich. Die Dosierung (magnetische Feldstärke) betrug 2 - 100 G, die Frequenz 12 - 100 Hz, die Dauer der Anwendung variierte zwischen 15 min und 24 h täglich für 3 Wochen - 18 Monate, positive Ergebnisse wurden besonders nach tenden-	[110]

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
ziell längeren Anwendungen erzielt.	
Statische Magnetfelder wechselnder Polung (50 mT - 50 µT) wurden mit hohen Erfolgsquoten zur Behandlung von Verspannungen der Muskulatur, von Durchblutungsstörungen, Hämatomen, Schwellungen, Lumbalgien/Ischialgien, rheumatischen Beschwerden, Narben(keloiden), Schmerzzuständen eingesetzt.	[41]
In placebokontrollierten (N=28/37/10) Studien wurden Schlafstörungen (4 Hz 0.5 mT, N=23), Wetterfühligkeit (10 Hz 0.5 mT, N=38), chronische rheumatische Beschwerden (15 Hz 0.5 mT, N=19) mit Erfolgsraten von 55 - 89 % nach 6 Wochen behandelt, nach Placebo waren die Erfolgsraten (24 - 46 %) signifikant niedriger.	[41]
Ulcera / Wundheilung	
Die lokale Applikation von Strömen negativer Polarität bei chronischen Ulcera förderte zunächst die Regeneration. Die sich anschließende Entwicklung einer positiven Polarität des behandelten Gewebes führte zum Stillstand der Regeneration. Gleichzeitig wiesen die ursprünglichen elektrischen Ströme Schwingungen sehr schwacher Amplituden und Frequenzen auf. Es wird postuliert, dass möglicherweise die zusätzliche Applikation in diesen Frequenzen schwingender Magnetfelder die Geweberegeneration fördern könnte.	[14]
Die doppelblinde randomisierte placebokontrollierte (N=10) postoperative Behandlung (lokal 15 - 40 mT Dauermagnete für 14 d) von 10 Patienten im Zustand post Lipectomie bewirkte signifikante Verringerungen der Hautverfärbung/Ecchymosen, des Ödems und der Schmerzen im Vergleich zu Placebo (p<0.05). Unerwünschte Wirkungen traten nicht auf.	[80]
Die doppelblinde randomisierte placebokontrollierte (N=13) multizentrische (8) zusätzliche lokale Behandlung (2.2 mT 3 h/d für 8-12 Wochen/bis zur Abheilung) von 18 Patienten (Alter 63.3 Jahre, 9 ♂) mit therapieresistenten varikösen Ulcera bewirkte unter Verum eine Verringerung der Wundfläche um 47.1 % (Placebo: Zunahme um 48.7 %, p<0.0002), eine Abnahme der Wundtiefe von 0.24 auf 0.13 cm (Placebo: 0.26 auf 0.25 cm, p<0.04), eine Zunahme von gesundem Granulationsgewebe von 68.1 auf 83.2 % (Placebo: 67.1 auf 67.7 %, p<0.04) und eine Abnahme der Schmerzen (p<0.04). 4 Patienten brachen die kontrollierte Behandlung ab, einer verschwand. 50 % der Verum-Behandelten waren geheilt oder deutlich gebessert, 12 Patienten setzten die PEMF-Behandlung bis zur Woche 12 fort mit weiterer Besserung, dagegen nur 1 Patient unter Placebo mit geringer Besserung.	[110, 121]
Die doppelblinde placebokontrollierte (N=9) PEMF-Behandlung (Magnetopuls 1500 Feldstärke 60 5 Hz, 15 min 2x/Woche für 5 Wochen) von 10 Patienten (Alter 63 - 88 (\bar{x} =72.2) Jahre, 9 ♀) mit Ulcera cruris nach zweiwöchiger Standard-Ulcus-Therapie bewirkte in beiden Gruppen eine Abnahme der Ulcusgröße um etwa 7 % (n.s.; bei einem Patienten der Verumgruppe hatte das Ulcus an Größe um 5.5 % zugenommen). Unter Verum hatte der Beinumfang um 2.77 % abgenommen (Placebo: 1.16 %; n.s.). Die bakterielle Besiedlung der Ulcera wurde durch die PEMF-Behandlung nicht gefördert, die Schmerzen wurden nicht signifikant beeinflusst.	[133]
Fallbeispiele: Die Behandlung (Salut 1 Stufe III 8 min b.i.d. bis zu 5 1/2 Monate) von Pflegefällen (5 Frauen mit Decubitalulcera (Alter 38 - 82 Jahre), eine 76-jährige Patientin mit Ulcera cruris, eine 69-jährige Patientin mit Zustand nach herpetischer Encephalitis, eine 76-jährige Patientin mit Zustand nach apoplektischem Insult) führte zu Besserungen der Geschwüre mit Abheilungstendenz und zur Besserung des Allgemeinzustandes/der Lebensqualität.	[122]
Psoriasis	
Die offene lokale Behandlung (Wechselstrom mit modulierten Amplituden: "Interferenzstrom", 100 Hz für 6 min morgens und 10 Hz für 6 min abends für 12 Wochen, die Stromstärke wurde so eingestellt, dass ein leichtes Prickeln am Applikationsort spürbar wurde) von 12 Patienten mit palmarer Psoriasis (Alter 36-60 (\bar{x} =48) Jahre, 8 ♂) bewirkte eine Abnahme des Gesamtsymptom-Scores von durchschnittlich 7.5 auf 3.0, der Pruritus nahm von 2.0 auf 0 ab.	[33, 105]
Fallbeispiel: Eine Frau (29 Jahre alt) mit Psoriasis beider Kniee und Oberschenkel wurde erfolgreich behandelt (morgens Einstellung 50 %, abends 10 % je 16 min, Kissen, 10 %→100 % für 4 Wochen).	[96]
Gelenkerkrankungen	
Bis 2000 lagen keine überzeugende Belege der Wirksamkeit von PEMF bei Arthritis vor.	[137]
Die Metaanalyse von 5 randomisierten kontrollierten klinischen Studien über 276 Patienten	[86]

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
mit Osteoarthritis der Kniee, die mit niederfrequenten PEMF (3 – 50 Hz, 3 – 10 h/Wo; 2 Studien) oder mit „typischen kurzweiligen“ höherfrequenten Bestrahlungen kürzerer Dauer (3 Studien) behandelt worden waren, ergab mangelhafte Wirksamkeit gegen Schmerzen. Die längerfristigen Behandlungen mit niederfrequenten PEMF ergaben höhere Tendenzen der Wirksamkeit im WOMAC Funktionstest.	
Die placebokontrollierte (♀/♂ = 8/9, Alter = 67±7 Jahre) adjuvante Behandlung von 15 Patienten mit Osteoarthritis der Kniee (♀/♂ = 11/4, Alter = 69±5 Jahre) mit PEMF (40 µT 1 – 3000 Hz, 30 min b.i.d. für 6 Wo) bewirkte signifikante Besserungen von Gelenkfunktionsparametern ($p < 0.01_{t\text{-Test}}$) und des WOMAC Gesamtscores ($p < 0,02$). Schmerz und Steifheit wurden nicht beeinflusst. Die subjektive Beurteilung der Wirksamkeit war nach Verum signifikant besser ($p < 0.03_{\text{Fishers Exakttest}}$).	[90, 91, 92]
Die randomisierte doppelblinde placebokontrollierte (Alter 59,6±8,6 Jahre, 25 ♀ 16 ♂) adjuvante lokale Behandlung (50 Hz, 200 mA, 50 V, Spannungsumkehr in 3 ms-Intervallen, 2 h/d 5 d/Wo für 6 Wo, Kontrolluntersuchungen in 2-wöchentlichen Intervallen) von 42 Patienten (Alter 60,4±8,7 Jahre, 22 ♂ 20 ♀) mit Osteoarthritis der Kniee bewirkte signifikante Besserungen der täglichen Belastbarkeit, des Schmerzes und der Steifheit ($p < 0,05_{\text{ANOVA}}$; WOMAC Fragebogen). Die Wirksamkeit beschränkte sich auf Patienten, die jünger als 65 Jahre waren.	[132]
Die adjuvante placebokontrollierte (36 Patienten, ♀/♂ = 26/10, Alter 62.1±1.45 ($\bar{x} \pm \sigma$) Jahre) Behandlung von 34 Patienten (♀/♂ = 25/10) mit Gonarthrosen (Kniespalten röntgenologisch <3 mm) mit pulsierenden Magnetfeldern ansteigender Flussdichten (3.4 µT während der ersten Woche, 13.6 µT während der 4.-6. Woche, 16 min /d, Gerät Salut 1) besserte die Kniefunktion („Knie-Society-Score“) signifikant ($p = 0.029$), die Einstufung des Schmerzes mittels Analogskala ergab Besserung ($p = 0.047_{\text{ANOVA}}$). Die Gehleistung und die Schmerzempfindung besserten sich nicht signifikant. Der systolische Blutdruck fiel unter PEMF von 136±2.3 auf 131±2.7 mm Hg ($p = 0.049$), die Spiegel C-reaktives Protein im Serum und Fibrinogen im Plasma waren nach der Behandlung signifikant niedriger ($p = 0.018$ bzw. 0.003). Leukozyten und Erythrozytenzahlen änderten sich nicht signifikant. Unerwünschte Ereignisse traten bei 23 Patienten (8 unter Verum) auf, in keinem Fall kam es zum Abbruch der Behandlung. 6 Patienten (4 unter Verum) brachen die Teilnahme ab: 2 nach der ersten Behandlung (= 1× nach Verum), 4 während der Nachuntersuchungsphase (=3× nach Verum).	[42, 43, 103]
Die randomisierte doppelblinde placebokontrollierte (N=12) PEMF-Behandlung (1 - 2 mT <30 Hz für 30 min, 3 - 5×/Woche 18 Behandlungen) von 15 Patienten mit Osteoarthritis der Kniee oder Hände oder Knöchel bewirkte binnen 2 Wochen signifikante Besserungen der Schmerzen, der Beweglichkeit/Gelenkempfindlichkeit und der aktiven Teilnahmefähigkeit, die auch anlässlich einer Verlaufskontrolle 4 Wochen nach der Abschlußuntersuchung noch vorlag.	[110, 135]
Wirbelsäulenerkrankungen (2 - 50 Hz, 3 - 8 mT, 15 - 30 min 1 -1x täglich für 10 d dann 1 - 2x wöchentlich für Wochen - Monate), Knie- und Hüftgelenkerkrankungen (10 - 15 Hz, 4 - 10 mT 15 - 30 min/d für 2 Wochen danach 2 - 3x wöchentlich für 4 - 16 Wochen) wurden erfolgreich mit PEMF behandelt.	[41]
Die analgetisch-therapeutische Wirksamkeit und Verträglichkeit eines niederfrequenten elektromagnetischen Feldes (ELF, magnetische Flussdichte ~3 G in der Mitte der interpolaren (2 Kupferdrahtspulen von 900 Wicklungen; 100 Hz) Entfernung (30 cm)) wurde bei >200 Patienten mit osteoartikulären oder neuralen Erkrankungen nachgewiesen. In einer vergleichenden (ELF-Behandlung; Placebo) halbblinden Studie wurde die therapeutische Anwendung musikalisch modulierter elektromagnetischer Felder (TAMMEF) bei 150 Patienten mit cervikaler Spondylose _{67%} oder einseitiger Periarthritis des Schultergelenks _{33%} erprobt (120 ♀ 60,2±6,6 Jahre alt, 30 ♂ 51,9±8,9 Jahre alt; 15 Behandlungen zu 30 min; N = 50/Gruppe). Kriterien waren eine zehnstufige Schmerz-Analogskala und die funktionale Einschränkung. ELF- und TAMMEF-Behandlung waren gleichermaßen signifikant wirksam ($p < 0.5_{t\text{-Test}}$). Einen Monat nach der Behandlung kam es bei schweren Fällen zu erneutem Auftreten von Schmerzen. Keine Veränderungen wurden nach Placebo festgestellt.	[111]
Die randomisierte doppelblinde placebokontrollierte (N=83) trizentrische PEMF-Behandlung (lokal 1 - 1.5 mT 5 Hz für 10 min, dann 1.5 - 2.5 mT 10 Hz für 10 min, dann 1.5 - 2.5 mT 12 Hz für 10 min, 3 - 5×/Woche 18 Behandlungen) von 84 Patienten mit Osteoarthritis der Wirbelsäule oder der Halswirbelsäule (Alter 69.24± 11.48 bzw. 61.24±13.4 Jahre, 59 ♀)	[110, 116, 136]

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
bewirkte statistisch signifikante Besserungen des Schmerzes, der aktiven Teilnahme und des passiven Bewegungsschmerzes zum Zeitpunkt der Abschlußuntersuchung und einer 4 Wochen später erfolgten Verlaufskontrolle. Zum letztgenannten Zeitpunkt hatte sich auch die Gelenkempfindlichkeit signifikant gebessert.	
Die placebokontrollierte (15 Patienten, ♀/♂ = 10/5, Alter = 42.1±10.12 ($\bar{x} \pm s$) Jahre) Behandlung von 17 Patienten (♀/♂ = 11/6, Alter = 43.15±10.31 Jahre) mit cervikalen Osteoarthritis mit PEMF (40 µT, 0.1 – 64 Hz, 30 min b.i.d. für 3 Wo) bewirkte signifikante Verringerung des Schmerzes ($p < 0.001_{U\text{-Test}}$) und der Beweglichkeit ($p < 0.001$) nach PEMF-Therapie im Vergleich zu Placebo und zur Ausgangslage (χ^2). In der Placebogruppe kam es zu keinen signifikanten Änderungen.	[126]
Die adjuvante offene PEMF-Behandlung (0 - 1.5 mT \cong 0 - 21 A 25 V, 380 µsec-Pulsserien 72 Hz, 10 h/d für 6 Monate) von 17 Patienten (Alter 38 Jahre, 10 ♂; 26 Hüften) mit chronischen (seit ~10 Monaten bestehenden) Osteonekrosen des Femurkopfes führte zu bemerkenswerten Verbesserungen der Funktion und zu Abnahmen der Schmerzen bei 17 Hüften. 5 Hüften zeigten keinen Therapieerfolg und wurden für operative Korrektur vorgesehen.	[1]
Die zusätzliche doppelblinde placebokontrollierte (N=11) PEMF-Behandlung (10 h/d) von 11 Jungen (Alter 4 - 10 Jahre) mit M. Perthes-Calvé-Legg (aseptische Knochennekrosen im Bereich der Femurkopfeiphysen) in sequentieller Verum-Placebo-Zuteilung erforderte für beide Gruppen durchschnittlich 12 bzw. 12.5 Monate (n.s.).	[57, 116]
Die prospektive offene PEMF-Behandlung (2 Helmholtz-Spulen, oder 2 7-Zoll-Spulen, oder eine 12-Zoll-Spule mit identisch justierten Feldstärken, 8 - 10 h/d für 1 Jahr) von 95 Patienten (Alter 38.7 Jahre, 63 % ♂) mit Osteonekrosen des Femurkopfes (\cong 118 Hüften) ergab nach einer durchschnittlichen Verlaufsbeobachtung von 5.3 Jahren lediglich bei 16 % eine weitere Progression. Langfristig hatten sich die Krankheitssymptome gebessert und die Erfordernis früher Arthroplastien verringert.	[8]
Die offene adjuvante PEMF-Behandlung (elec-System; 18 Tage) von 48 Patienten (Alter 61.3 Jahre, 29 ♀) mit (73) aktivierten Coxarthrosen, die Endoprothesen ablehnten bzw. bei denen operative Eingriffe kontraindiziert waren, bewirkte "sehr gute" und "gute" temporäre subjektive Besserung der arthrosebedingten Schmerzen in 95.8 % der Fälle. In einer früheren offenen Untersuchung war eine Superoxid-Dismutase-Behandlung (intraartikulär) nur in 76 % der Fälle wirksam gewesen.	[24]
Die offene adjuvante Behandlung (QRS b.i.d., Einstellung 5 - 10 vormittags und 2 - 5 nachmittags) von 25 Patienten (Alter 31 - 74 Jahre, 19 ♂) mit Bandscheibenleiden (Schmerzskala 2 - 10) führte in 21 Fällen zu deutlicher Verringerung der Beschwerden, in einem Fall trat keine Besserung ein. 17 Patienten erklärten, dass sie sich erneut so behandeln lassen würden, 8 lehnten dies ab.	[99]
Die offene PEMF-Behandlung (3 - 8 mT, 10 - 50 Hz 10/30/60 min) von 650 Patienten mit degenerativen Gelenkerkrankungen ließ nach zweijähriger Beobachtungsdauer die Hoffnung zu, dass eine positive Wirkung erwartet werden darf.	[56]
Die adjuvante offene PEMF-Behandlung (2 - 3 mT, 10 - 20 Hz 5/15/20 min) von 109 Patienten mit aktiver chronischer Polyarthrit (Beobachtungsdauer 15 Monate) sollte ergründen, ob eine positive Wirkung erwartet werden darf.	[56]
Die offene Behandlung (4 µT b.i.d. 8 min für 2 Wochen) von 28 Patienten (Alter 46.1 ± 10.8 Jahre, 14 ♀) mit Erkrankungen des Bewegungs-/Stützapparates (Bandscheibenprolaps/Spinalstenose/Osteoporose) bewirkte eine signifikante Verbesserung der Beweglichkeit (Fingerspitzenabstand beim Vorbeugen mit gestreckten Knien). Auch die Schmerzen verringerten sich signifikant.	[36]
In einer Anwendungsbeobachtung wurden 17 Patienten (Alter \bar{x} = 53.1 Jahre, 8 ♀) mit multiplen Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparates (Arthrose/Cervikalsyndrom/M. Sudek/Epicondylitis/primär chronische Polyarthrit) in 15 Fällen mit befriedigendem - sehr gutem Erfolg ($p < 0.01$, χ^2) behandelt (2.52 - 8.72 µT Rechteckimpulse, 2 - 24 Hz, täglich bis 2x4 h/Woche, für 11 - 132 d), kein Erfolg trat in 2 Fällen ein (Omarthrose und Verletzung der Rotatorenmanschetten / primäre chronische Polyarthrit).	[41]
Die Interaktion statischer (Gleichstrom-) Magnetfelder mit schwachen Wechselstrom-Magnetfeldern (8 - 10 Anwendungen à 15 - 20 min) wurde bei 30 Patienten mit degenerativen Schäden der Wirbelsäule und bei 5 Patienten mit Polyarthrose / rheumatischer Arthritis	[124]

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
erfolgreich und ohne Nebenwirkungen eingesetzt.	
Die lokale offene PEMF-Behandlung (Poljus I 35 mT, 50 Hz, 20 min/d 10x) von 37 Patienten mit Epikondylitis/Periarthritis humeroscapularis/Lumbago/Ischialgie bewirkte weitgehende Besserungen der Beschwerden bereits nach der 5. Behandlung. Nach Beendigung der Behandlung waren 18 Patienten (50 %) beschwerdefrei, 13 (36 %) gebessert, 4 (11 %) unverändert und 1 (3 %) verschlechtert.	[97]
Die kontrollierte (N=30) PEMF-Behandlung (33 Oe, 50 Hz, 30 min/d für 4 Wochen) von 30 Patienten (Alter 20 - 60 (\bar{x} =41) Jahre, 38 ♀) mit calcifizierten humeroscapularen Periarthritiden bewirkte klinische Besserungen unter Verum und partielle - vollständige Regression der dystrophischen Calcifizierung bei 40 % der klinisch Gebesserten.	[31]
Die offene placebokontrollierte (N=114) PEMF-Behandlung (Poljus-1 Gerät Stufe 4 \cong 1 mT, 50/60 Hz Sinus, 20 min/d 5x) von 114 Patienten (Alter 22 - 77 Jahre) mit Epikondylitis/Coxarthrose/Gonarthrose/Ischialgie/Lumbago/Periarthritis humeroscapularis bewirkte Beschwerdefreiheit/Besserungen der Schmerzen der Arthrosen in ~97 %, der vertebrogenen Schmerzsyndrome in ~85 %, der Epicondylitiden in ~82 % und der humeroscapularen Periarthritiden in ~64 %, die entsprechenden Ergebnisse der Placebogruppe waren ~28/~39/~40/~24 %.	[98, 110]
Tendopathien	
Die lokale randomisierte placebokontrollierte (N=15) PEMF-Behandlung (13.5 mV-Impulse von 200 μ sec Dauer, 15 Hz, 8-(mindestens 1-)stündige Anwendungen/d für 8 Wochen) von 15 Patienten (Alter 43.7 \pm 2 Jahre, 10 ♂) mit mindestens 3 Monate bestehenden lateralen Epicondylitiden bewirkte geringgradig deutlichere Besserung der Verum-Behandelten im Vergleich zur Placebogruppe 8 Wochen nach Behandlungsbeginn (n.s.).	[34, 110, 116]
Die lokale randomisierte placebokontrollierte (N=14) PEMF-Behandlung (2.7 mT, 370 μ sec-Impulse 4.23 msec Pausen, 73 Hz, 3-10-stündige Anwendungen/d für 8 Wochen, anschließend Verumtherapie aller Patienten für 4 Wochen) von 14 Patienten (Alter 54.4 Jahre, 11 ♂) mit therapieresistenten Rotorenmanschetten-Tendinitiden des Schultergelenks bewirkte eine signifikante Verringerung der Schmerzen bei aktiver und passiver Bewegung unter Verum im Vergleich zu Placebo binnen 2 und 4 Wochen nach Behandlungsbeginn (p<0.05). 2 Wochen nach Beginn der Verumbehandlung auch der Placebogruppe (t=6 Wochen) entsprach der Behandlungseffekt dem der ursprünglichen Verumgruppe. Schwerwiegende Symptome lagen 4 Monate nach Behandlungsbeginn nur noch bei 3 Patienten vor, 19 Patienten waren geheilt, bei 7 lag noch eine "Restsymptomatik" vor.	[18, 110]
Die offene PEMF-Behandlung (\sim 0.5 W/cm ² ; hohe Frequenz) von muskulo-osteo-artikulären Veränderungen von >60 Sportlern war in 67 % der Fälle erfolgreich.	[26]
Schock	
Durch die placebokontrollierte (N=24) adjuvante Behandlung (0.24 mT, Rechteckimpulse, 24 Hz für 14 d) von 24 polytraumatisierten Patienten mit hämorrhagischem Schock und O ₂ -Partialdrucken um 8 kPa wurde ein Anstieg des pO ₂ auf 11.6 kPa (Placebo: 11.3 kPa, p<0.01) erreicht.	[41]
Augenerkrankungen	
In klinischen Studien haben niederfrequente elektromagnetische (Wechsel)felder Augenleiden (Glaukom; Optikusatrophie; vasogene Netzhaut-/Sehnervenerkrankungen) positiv beeinflusst. 3 Fallbeispiele werden beschrieben: Erfolgreiche Behandlung von 2 Patienten mit Retinitis pigmentosa (+ Makulaödem: 40 μ T für 16 min/d 1 Woche, dann 60 μ T, 4 Monate, bzw. morgens 25 \rightarrow 100 %, abends 25 %) und einem Fall mit diabetischer Retinopathie (Magnetfeld-Resonanz-Therapie 3x wöchentlich + Therapiestab 60 μ T 8 min beiderseits am temporalen Orbitalrand).	[144]
Kreislauf	
Die doppelblinde randomisierte lokale (Fuß) Behandlung (100 μ T 30 Hz frequenzmoduliert vs. 8.4 mT 10 Hz vs. Placebo) von 12 Probanden (♀/♂=5/7, Alter \bar{x} =25,8 Jahre) ergab im intraindividuellen Vergleich keine signifikante Beeinflussung der Mikrozirkulation der Haut oder der Hauttemperatur.	[117]
Die offene adjuvante PEMF-Behandlung (5 \pm 1.2 mT, 100 Hz, 25 min b.i.d. für 12 - 15 Tage) von 158 Patienten (Alter 34 - 72 Jahre, 110 ♂) mit essentieller Hypertonie bewirkte klinische Besserung und höhere Belastungsfähigkeit, sowie Besserung rheologischer Parameter.	[153]

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
Die adjuvante (zu Elektroaerosolen) offene PEMF-Behandlung (9 mT 8-10 min 4-6-Jährige, 12.5 mT 10-12 min 7-11-Jährige, 19 mT 12-15 min 12-14-Jährige; 50 Hz) von Kindern mit Extrasystolie/paroxysmaler Tachykardie war wirksam.	[61]
Die offene PEMF-Behandlung von 253 Patienten mit arteriellen (1/3/6 mT 5 - 8 Hz 10 - 20 min) und venösen (3 - 8 mT 10 Hz 10/20/30 min) Durchblutungsstörungen führten in 58 bzw. ~65 % der Fälle zu deutlichen Besserungen/Heilungstendenzen.	[56]
Die lokale (Gegend der Herzprojektion auf die D ₂ -D ₄ sympathischen Ganglien) PEMF-Behandlung (0.5 mT, 300 Hz, 20 min/Sitzung für 10 Tage) von 53 Patienten (Alter 17 - 42 Jahre) mit neurozirkulatorischer Hyper- oder Hypotension und 28 Probanden führte nur bei 23.1 % (♀) bzw. 12.5 % (♂) der Hypotoniker zu klinischen Besserungen. Hypertoniker(innen) zeigten nach 2-3 Tagen in 87.9 % der Fälle klinische Besserung (Verschwinden der Kopfschmerzen, des Gefühls der Schwere in der Herzregion, der Tachykardie, der Gliedertaubheit), der systolische arterielle Druck nahm von 132±1.37 auf 123±0.77 mm Hg ab, der diastolische von 80.1±1.06 auf 77±0.61 mm Hg, die Herzfrequenz änderte sich n.s. Die Aldosteronspiegel der Hypertoniker fielen bei 60 % der Fälle von 193.3 auf 116.4 pg/ml und stiegen bei 40 % von 84.7 auf 109.6 pg/ml; die PG-Spiegel fielen um 51.3 %, die Insulinspiegel (immunreaktiv) nahmen - bedingt durch die veränderte Stoffwechsellage - weiter ab.	[94]
Bei 15 Patienten mit erniedrigtem pO ₂ konnte durch 10 Behandlungen (5 mT, 25 Hz, 3x/Woche) eine Erhöhung der Sauerstoffsättigung erreicht werden (p<0.05), der Normalwert wurde nicht erreicht. Eine Behandlung mit 5 mT 10 Hz hatte keine signifikante Wirkung auf den pO ₂ . Die Behandlungsintensität schien eine untergeordnete Rolle zu spielen, solange das Magnetfeld 1 mT nicht unterschritt.	[118]
Die lokale Einwirkung eines PEMF (Pulsserien 600 Hz Pulsdauer 65 µsec 27.12 MHz Trägerfrequenz für 45 min) auf einen Unterarm bewirkte bei 9 Probanden (Alter 34 - 54 Jahre, 7 ♀) eine signifikante Erhöhung der lokalen Durchblutung (p<0.01) mit Erhöhung der Hauttemperatur um etwa 1°C (n.s.).	[85]
Ein pulsierendes magnetisches Wechselfeld mit einer Induktion von maximal 3 mT und spezifischen Impulsfrequenzen erhöht die Infrarotstrahlung der Körperoberfläche kontinuierlich innerhalb weniger Minuten. Die Energieabstrahlung geht von den Blutgefäßen aus, die Reaktion ist bei Kindern am stärksten.	[145]
Ein niederfrequentes Magnetfeld (Poljus, 20 mT, 10 min jeden 2. Tag) förderte die Genesung nach apoplektischem Insult, verringerte die Hypertonie, reduzierte das Ödem des N. optikus und heilte Blutungen.	[154]
Die Interaktion statischer (Gleichstrom-) Magnetfelder mit schwachen Wechselstrom-Magnetfeldern (8 - 10 Anwendungen à 15 - 20 min) wurde bei 13 Patienten mit arteriellen / venösen Durchblutungsstörungen erfolgreich und ohne Nebenwirkungen eingesetzt.	[124]
Die PEMF-Behandlung (Poljus I-Gerät, maximal 35 mT, 35 Hz, 15 min) der Schultergelenke von 10 Probanden führte binnen 3 min zu einer Erhöhung der Wärmeabstrahlung der gleichseitigen Hände, die binnen 10 min ein Maximum erreichte und die 15 min nach Beendigung der Bestrahlung noch nicht vollständig abgeklungen war.	[97]
Die Behandlung (QRS Matte 0.25 Hz für 9 min) eines Probanden bewirkte keine nennenswerte Veränderung der Augentemperatur.	[53]
Die gleichzeitige vergleichende Messung eines oxymetrischen Signals (640 nm-Remission) und eines Blutvolumensignals (840 nm-Remission) an den Fingerbeeren (NIRP) einer 15-jährigen Probandin zeigte unter PEMF (Salut 1 Therapiestufe 1) eine `markante Ausbildung´ der Dikrotie des arteriellen Pulses im Vergleich zur arteriellen Engstellung (Ruhe) ≙ einer Erhöhung des mikrovaskulären Blutfüllungsvolumens ohne Einfluss auf die O ₂ -Sättigung. Bei einer 35-jährigen Probandin im akuten Stress dagegen bewirkte PEMF (Salut 1 Therapiestufe 10) eine Zunahme des mikrovaskulären Blutvolumens um 31 % bei Abnahme der O ₂ -Sättigung an der Fingerbeere um 15 % (= Zeichen der Öffnung arterio-venöser Shunts).	[67, 68]
Unter PEMF (QRS Stufe 1) nahm bei einer 15-jährigen Probandin binnen 3 min das periphere Minutenvolumen (NIRP-Messung) um 74 % zu. Gleichzeitig verringerte sich der periphere Gefäßwiderstand durch Gefäßerweiterung.	[68]
Bei einem tachykarden (94/min) 27-jährigen Patienten normalisierte sich die Pulsfrequenz unter QRS (83/min; NIRP).	[68]
ZNS-/nervale Wirkungen	

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
Es mehren sich Beweise dafür dass schwache Magnetfelder spezifisch mit Gewebe interagieren können auf eine Weise die sich von der Faraday-Induktion von Strom völlig unterscheidet. Der Vorgang ist frequenzabhängig und heißt Ionen Zyklotron Resonanz. Der Zyklotron Resonanz wird ein therapeutisches Potential zugeschrieben.	[72]
Die mehrstufige vergleichende (Stimulation mit Wechselstrom, N = 49) elektromagnetische Behandlung (PEMF transcranial 2 – 2.5 T 0.1 – 0.25 Hz 30 – 60 s; spinal lokal 1 T 0.3 Hz; elektrische periphere neuromuskuläre Stimulation) von 89 Patienten (♂/♀ = 48/41, Alter 5 – 54 Jahre) mit begrenzten Läsionen des ZNS (Paralysen/Paresen) bewirkte nachhaltige statistisch signifikante Besserungen evozierbarer motorischer Potentiale und relative Verkürzungen der Rehabilitationszeiten durch die mehrstufige Therapie.	[139]
Mit einer Magnetspule der Feldstärke 2 T konnten bei 5 Probanden maximal und selektiv die Nervi medianus und ulnaris stimuliert werden (Ableitung der muskulären Aktionspotentiale über dem M. abductor pollicis brevis und dem M. abductor digiti minimi). Die elektrische Stimulation bewirkte eine stärkere sensible Antwort im Vergleich zur Magnetfeldeinwirkung, während die motorischen Antworten vergleichbar waren.	[93]
Die Zwerchfellkontraktibilität von 16 Probanden (♂, Alter 31 (25-35) Jahre) konnte reproduzierbar mit Magnetfeldern (2 T, <1 ms Pulsdauer, von einer Position zwischen C5-C7) stimuliert werden. Induktion einer Ermüdung der respiratorischen Muskulatur war nachweisbar an einer signifikanten Verringerung der cervikalen magnetischen und elektrischen Stimulierbarkeit der Zwerchfellkontraktibilität. Im Vergleich mit der elektrischen Erregbarkeit stimulierten Magnetfelder zusätzlich extradiaphragmatische Muskeln.	[69]
Reproduzierbare bilateral-anterolaterale magnetische Stimulierungen der Zwerchfellnerven von 10 Probanden wurden erfolgreich zur Messung der belastungsbedingten Ermüdung des Zwerchfells eingesetzt (intraoesophageale und intragastrale Katheter zur Druckmessung).	[79]
Funktionelle magnetische Stimulation (500 J, 20 Hz, 300 ms-Sequenzen, lokal über dem 10. intervertebralen Ort) bewirkte bei 6 Probanden (♂, Alter 29 – 54 Jahre) signifikante Anstiege des intragastralen und intraoesophagealen Druckes sowie des expiratorischen Flusses in Abhängigkeit von der Frequenz (10→20 Hz) und der Pulsdauer (300→600 ms). Im Vergleich zur vorgebeugten Haltung und zur Bauchlage war der expiratorische Fluß im Sitzen bis doppelt so hoch. Bei 4 Probanden korrelierte der Öffnungsdruck eines Mundventils mit dem expiratorischen Fluß. 4 Patienten mit Zwerchfellschwäche reagierten zeigten auf die Stimulation keine Zwerchfellreaktion, die Anstiege des intragastralen Druckes waren im Vergleich zum Husten-Druck gering.	[107]
Die Nervus phrenicus Leitgeschwindigkeit wurde nach elektrischer und unilateraler magnetischer Stimulation bei 8 Probanden (♂/♀=5/3, Alter \bar{x} =32 (28-38) Jahre) durch Messung der Muskelpotentiale mittels einer intraoesophagealen Elektrode und mit Elektroden an der Thoraxwand gemessen. Die Leitgeschwindigkeit betrug $7 \pm 0.8_{\text{elektrische Stimulation}}$, bzw. $6.9 \pm 0.8_{\text{magnetische Stimulation}}$ ms. Die Aktionspotentiale nahmen mit zunehmender Stärke der magnetischen Stimulation zu.	[78]
13 Patienten (♂) mit Rückenmarksverletzungen (C3-L1) wurden zwecks Stimulierung des Colons mit handelsüblichen Magnetspulgeräten transabdominal und lumbosakral behandelt (Einstellung 1,5 T 30 Hz 1 sec Pulsdauer, 4 Stimulationen). Nach transabdominaler Stimulation stieg der intrarektale Druck um 24.4 ± 4.44 cm H ₂ O ($\bar{x} \pm \sigma$; N=7), nach sakraler Stimulation um 30.1 ± 6.57 cm H ₂ O, $p < 0.004_{\text{ANOVA}}$. Die Colon-Transit-Zeit nahm nach der Behandlung um durchschnittlich 15.8 h ab ($p = 0.02$; N=4). Unerwünschte Wirkungen traten nicht ein.	[74]
13 Unfallopfer (♂) mit Tetraplegien infolge Rückenmarksverletzungen (C4-C7) wurden zur Förderung des Abhustens lokal (untere Brustwirbelsäule) mit einem handelsüblichen Magnetspulgerät stimuliert (35 kT s^{-1} , 20 Hz, 2-sec Pulsdauer, 280 µsec Pulslänge). Der maximale Expirationsdruck, das expiratorische Restvolumen (ERV) und die forcierte expiratorische Strömungsgeschwindigkeit wurden über die mit maximaler subjektiver Kraftanstrengung erzielten Kapazitäten erhöht, $p < 0.05_{t\text{-Test}; \text{ERV}}$.	[75]
Funktionelles magnetisches Training (35 kT s^{-1} , 20 Hz, 2-sec Pulsdauer, 280 µsec Pulslänge, 20 min b.i.d., 5 d/Wo für 4 Wo) der Atemmuskulatur von 8 Patienten mit Tetraplegien für 4 Wochen bewirkte Anstiege der Totalkapazität und der funktionalen Restkapazität bei maximalem Expirationsdruck ($p < 0.05$), des expiratorischen Restvolumens, der forcierten expiratorischen Strömungsgeschwindigkeit und der forcierten expiratorischen Strömung.	[73]

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
Die Muskelsummenpotentiale mechanischer Vibrationen/rechteckiger mechanischer Muskelreizungen des entspannten M. abductor digiti minimi von Probanden wurden durch magnetoelektrische transkranielle Stimulation vom Scheitel aus (0.5-2 mV/D, so dass gerade eine reproduzierbare Antwort vom relaxierten Muskel erhalten werden konnte, 20 Hz 2 kHz) 8 - 11 msec nach Vibrationsbeginn signifikant erhöht. Wahrscheinlich erreichte die afferente Erregungssalve simultan mit der descendierenden kortikospinalen Impuls-Salve die Alpha-motoneuronen.	[29]
Die zusätzliche Behandlung (transkranielle magnetische Stimulierung des linken motorischen/rechten frontolateralen/occipitalen _{Kontrolle} Bereichs, so dass der rechte Abduktor pollicis brevis auf einen Impuls reagierte; 20 Hz, 2 sec/min für 20 min) von 12 rechtshändigen Zwangsneurotikern (Alter 36.9±10.2 Jahre, 6 ♂) bewirkte nach rechts-präfrontaler Stimulation eine sofortige und 8 h anhaltende Abnahme der Zwangs-Stimulation (p<0.05) und eine Verbesserung der Stimmungslage. Links-präfrontale Stimulierung bewirkte eine leichte Abnahme der Zwangs-Stimulation. Rechts-laterale Stimulierung verursachte geringgradige Störung, bei 2 Patienten Kopfschmerzen 1 - 3 h später. 1 Patient erfuhr eine leichte Sehstörung während der occipitalen Stimulation.	[54]
Die placebokontrollierte (intraindividuell) randomisierte Magnetfeldbehandlung (transkranielle magnetische Stimulierung des linken frontolateralen Bereichs, so dass der rechte Abduktor pollicis brevis auf einen Impuls reagierte; 20 Hz in 30 sec-Intervallen für 20 min ≙ 1600 Impulse/Behandlung) von 25 rechtshändigen Probanden (Alter 22.4±1.9 Jahre, alle ♂) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Stimmung. 5 Probanden klagten über leichte Kopfschmerzen, in einem Fall wurden diese mit Paracetamol (p.o. 500 mg) behandelt.	[89]
10 Probanden wurden kontinuierlich einem Magnetfeld (10 mT, 45 Hz für 1 h) ausgesetzt, 10 weitere Probanden demselben Feld mit 1 sec-Unterbrechungen nach jeder sec. Die Behandlung verursachte eine Zunahme der α-Wellen-Aktivität (8.5 - 12 Hz) und eine Abnahme der σ-Wellen-Aktivität (12.5 - 14.5 Hz). Die intermittierende Behandlung war wirksamer als die kontinuierliche.	[154]
Die lokale sensorische Wahrnehmung von Gleichstrom-induzierten Magnetfeldern 1 - 90 mT an einer Hand (1 min zu randomisierten Zeiten) war Prickeln, schwaches Jucken, Hitze- oder Kältegefühl, die Wahrnehmungsschwelle war 1 - 5 mT. Unter 5.5 mT fielen die Erregungsschwelle und die Leitungsgeschwindigkeit der Aktionspotentiale des Ischias-Nervs ab.	[154]
Bei Versuchspersonen (beiderlei Geschlechts, Alter 17 - 35 Jahre, N=131, davon eine Gruppe mit "hoher Qualität der Sensorindikation") auf eine Hand einwirkende Wechselstrom-Magnetfelder (1 mT 1 Hz 100 ms Rechteckimpuls/ 1 mT 7 Hz 100 ms Rechteckimpuls/ 5 mW/cm ² 42.25 GHz sinus/ 5 mW/cm ² 53.57 GHz sinus, 30/60 min) gleichzeitig mit Lautsignalen, erzeugten Berührungseffekt, Jucken, Kälte- oder Hitze-Wahrnehmung. Im EEG wurden δ-Wellen geschwächt und α-Wellen verstärkt. Offenbar reagierten Noci-Zeptoren auf die Magnetfelder, wobei wahrscheinlich das somatosensorische System die Steuerung und die Aufnahme der Stimuli kontrolliert. Das kann die "positiven Emotionen", die bei Kranken unter der elektromagnetischen Therapie entstehen, erklären. Ein auf den Kopf einwirkendes magnetisches Wechselfeld (30 mT 10 - 20 Hz) rief bei Versuchspersonen eine Wahrnehmung von Lichtblitzen hervor.	[70, 154]
Die Interaktion statischer (Gleichstrom-) Magnetfelder mit schwachen Wechselstrom-Magnetfeldern (8 - 10 Anwendungen à 15 - 20 min) wurde bei einem Patienten mit Parese des linken Beinen und Verlust der Sensibilität ab Th5-Th6 erfolgreich und ohne Nebenwirkungen eingesetzt.	[124]
Die placebokontrollierte Behandlung (10 µT, ~2 Hz) von 102 Patienten mit Schlafstörungen bewirkte in 92 % der Fälle eine deutliche Verbesserung (Placebo: 4 %).	[102]
Fallbeispiel: Die Behandlung (QRS [®] Stufe 6, 8 min t.i.d. für 20 d, dann für 19 d morgens Stufe 4 + Stufe 6 b.i.d.) einer Patientin (73 Jahre alt) mit Morbus Parkinson bewirkte eine Besserung ihres Befindens und ihrer Beweglichkeit. Die mikrozirkulatorischen Parameter (NIRP) ergaben einen Anstieg des pMC-Koeffizienten von 60 auf etwa 79 (Fingerbeere).	[19]
Die kontrollierte Behandlung (Bio-Potenzor, 5 µT, ~14 Hz, 20 h/d) von 20 Patienten mit nicht organisch bedingten Potenzstörungen bewirkte eine Verlängerung der Erektionsdauer auf 30 min (Placebo: 6 min) (p<0.05).	[102]
Schmerzen	

Tab. 4 Humanpharmakologie	
Experiment / Ergebnis	Lit.
Die doppelblinde placebokontrollierte (N=41) Behandlung (Reductor C lokal, 5 μ T, 16 Hz für 4 Wochen) von 41 Patienten (Alter 16 - 70 Jahre, 46 ♀) mit Kopfschmerzen verschiedener Genese (Migraine/Cluster - /wetterabhängige - /posttraumatische - /Spannungs -/sonstige Kopfschmerzen) führte bei 76 % der Verum-Behandelten (N=38) zu einer deutlichen Abnahme der Häufigkeit der Kopfschmerzen (Placebo: 2 %; N=39; p<0.0001). Unerwünschte Wirkungen traten nicht auf. 5 Patienten hatten die Studie aus Gründen, die nicht durch die Behandlung bedingt waren, abgebrochen.	[102, 101]
Urin-Inkontinenz	
Die offene multizentrische prospektive PEMF-Behandlung (ExMI Neocontrol-System, 266 μ sec-Pulse \cong lokal 80 V/cm, 20 Hz für 20 min 2 \times wöchentlich für 6 Wochen) von 111 Frauen (Alter 55 \pm 13 Jahre) mit chronischer (seit 2 - 40 (\bar{x} =11) Jahren) Urin-Stress-Inkontinenz bewirkte während einer Beobachtungsdauer von 3 Monaten signifikante Abnahmen des Verbrauchs von Einlagen von 2.5 auf 1.3, sowie der Häufigkeit von Insuffizienzereignissen von 3.3 auf 1.7 (p=0.001). 47 Frauen wurden 6 Monate nachuntersucht: 13 (28 %) waren völlig "trocken", 25 (53 %) brauchten <1 Einlage/d. 14 Patienten konnten die Behandlungstermine nicht einhalten, ihre Daten wurden nicht ausgewertet. Während der ersten 12 Monate seit der FDA-Zulassung (U.S.A.) 1999 wurden >1000 Patientinnen mit Inkontinenz behandelt, 3 % davon wegen Schmerzen im Beckenbereich und wegen fäkaler Inkontinenz.	[47a]
Polymorbidität	
Die offene Behandlung (Salut 1/Bonvita, 4 μ T 8 min b.i.d. für 2 - 4 Wochen) von 32 polymorbiden Patienten (Schlafstörungen/Konzentrationsschwäche/Dyscardie/Arthralgien/Neuralgien/Zustand nach Totalendoprothesen/Osteoporose/Lumbalgie/Zustand nach Bandscheibenoperation/Kältegefühl/nächtliche Wadenkrämpfe/Myalgien/Gonarthrose/Pseudoradikulitis/Polyarthritis/Polyarthrosen/Diabetes mellitus/Zervikalsyndrom/Spannungskopfschmerz/Lumboischialgie/Zustand nach Schädel-Hirn-Trauma/Schulter-Arm-Syndrom/rezidivierendes Lumbalsyndrom) führte in allen Fällen zu Besserungen der Beschwerden und Reduzierung der Standardtherapie.	[48]
Die retrospektive Befragung von 74 polymorbiden Patienten (53 % ♂), die an Herz-Kreislauf-Erkrankungen/psychovegetativen/psychiatrischen Erkrankungen/Stoffwechsel-/gastroenterologischen Erkrankungen/Erkrankungen des Bewegungsapparates/Abwehrschwäche/Atemwegserkrankungen/Allergien/Urogenitalerkrankungen/sonstigen Erkrankungen litten, nach Magnetfeldbehandlung (Salut 1 nach 6 - >15-monatiger Anwendung) ergab für 58 Patienten (78.4 %) "sehr gute/gute/zufriedenstellende" Behandlungserfolge. 1 Patient (1.4 %) gab "keine Änderung" an, 4 (5.4 %) gaben "kein Erfolg" an, 11 Patienten (14.9 %) beantworteten die Frage nach dem Behandlungserfolg nicht ("missing values"). Der Allgemeinzustand besserte sich in 98.6 % der Fälle "sehr gut/gut/zufriedenstellend", lediglich 1 Patient (1.4 %) machte keine Angaben. Die Angaben zu Vitalitätssteigerung (13 "missing") und Schmerzverringerung (33 "missing") waren "sehr stark/stark/deutlich" in 58 (78.4 %) bzw. 35 (47.3 %) Fällen, "sehr - teilweise" zufrieden (33 "missing") waren 39 (52.8 %) Patienten.	[104]

4.2.3 Studienberichte über Wirksamkeit und Verträglichkeit

Siehe Tab. 5.

Höhere Amplituden magnetischer Wechsel-Flussdichten und zeitlich längere induzierte Kraft-Einzelimpulse (~1 msec) führen zur Adaptation/Habituation, schwache Reize (0.1 - 1 μ T) dagegen bei einer Latenzzeit von 2 min nicht [145]. Geeignete Geräte sind das *elec*-System, das *Sensodyn*-System, das *Magnetodyn*-System und das *Quantron*-System [41]. Ein Vergleich der Wirksamkeiten der PEMF-Systeme "repetitives Einmalpuls-System (RSP)", "repetitives Pulsserien-System (RPB)", "symmetrisches Quadratwellen-System (SSW)" und "Sinuspuls-

Serien-System (RSB)“ läßt darauf schließen, dass das “effektive elektrische Feld” und nicht das maximale elektrische Feld verantwortlich ist für die Osteogenese [58]. Dieser Qualität entspricht am ehesten das RPB System [58].

Magnetfelder können nur unvollständig (durch Platten aus speziellen Legierungen) abgeschirmt werden [3; 65].

Zwischen dem Auftreten von Leukämie bei Kindern und einer überdurchschnittlich hohen, zeitlich gemittelten Magnetfeldexposition in der Wohnung (>0.3-0.4 μT , 50 / 60 Hz) wurde ein statistischer Zusammenhang nachgewiesen [3; 17]. Betroffen sind 3-4 von etwa 620 jährlich in Deutschland auftretenden Leukämiefällen [17].

Tab. 5 Ergebnisse bei der beanspruchten Indikation		
Studie	Ergebnis	Lit.
Übersicht	<p>Mehr als 8000 Endergebnisse der Anwendung von PEMFs bei 20000 Patienten mit Pseudoarthrosen/erfolglosen Arthrodesen/kongenitalen Pseudoarthrosen zeigen, dass die relativen Beiträge der kombinierten Therapie “PEMF/Ruhigstellung mit Gips/Entlastung” nicht präzise auseinanderdividiert werden können. Die bis 1984 berichteten Heilungen von PEMF-behandelten Pseudoarthrosen lagen bei durchschnittlich 77 % (Bereich 61 - 91 %). Angesichts der vorliegenden Erfahrungen sind placebokontrollierte Doppelblindstudien wegen der “verzweifelten Situation” der betroffenen Patienten nicht mehr vertretbar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sobald Anzeichen einer Verzögerung der Frakturheilung erkennbar werden, sollte PEMF-Anwendung in Betracht gezogen werden. • Nichtvereinigung mit schmaler Lücke (<5 mm) kann durch PEMF behoben werden. • PEMF kann bei verzögerten Heilungen von Arthrodesen wirksam sein. • PEMF sollte bei kongenitalen Pseudoarthrosen eingesetzt werden. • bei infizierten Pseudoarthrosen/Arthrodesen, chronischen (>2 Jahre vorliegenden) atrophischen Läsionen, multiplen chirurgischen Misserfolgen kann PEMF-Anwendung zu Heilungen verhelfen. 	[9; 10]
Methode	<p>Eine Sequenz von 22 rechteckigen Spannungspulsen (0.25 V m^{-1}) von 20 μs Dauer mit 200 μs Intervallen induziert einen Sägezahn-Strom (Spitzenstärke 20 A) innerhalb 20 μs. Die Frequenz beträgt 15 Hz, die 22 Pulsen entsprechen. Die Methode ist Standard für die Knochenheilung.</p>	[11]
Übersicht	<p>Die charakteristische Ionen-Zyklotron-Resonanz-Frequenz ist definiert durch $\omega B^{-1} = q m^{-1}$ (ω = ICR-Frequenz, B = magnetische Feldstärke, q m^{-1} = Ladung: Masse des Ions). Die Einstellung auf die für Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+} charakteristischen Frequenzen erlaubt die gezielte Stimulation dieser Ionen. Geräte mit diesen Eigenschaften wurden von der FDA U.S.A. für die Therapie von Pseudoarthrosen bzw. für die Förderung spinaler Fusionen nach Wirbelsäulenchirurgie zugelassen.</p>	[72]
Übersicht	<p>Studien über die elektrische Stimulierung der Knochenheilung beruhen auf klinischen Erfahrungen. Verschiedene Untersucher haben unterschiedliche Systeme eingesetzt und beanspruchen ähnliche Erfolge. Eine Standardisierung scheint erforderlich zu sein.</p>	[76]
Übersicht	<p>PEMF (induziert im Gewebe Ströme bei topischer Applikation), schwacher Strom und starker Strom (invasive Applikationen von Elektroden) haben zu gleich guten Heilungserfolgen (um etwa 80 %) geführt und sind von der FDA (U. S. A.) zugelassen.</p>	[14]
Übersicht	<p>14 Berichte über die primäre chirurgische Versorgung und 28 Berichte über PEMF-Behandlung von Pseudoarthrosen (nicht/verzögert zusammengewachsene Frakturen) zeigen Behandlungserfolge bei insgesamt durchschnittlich 82 (70 - 100) % nach rein chirurgischer Behandlung (N=569). PEMF-Behandlung ohne weitere Chirurgie (N=1718) war in 81 (13 - 100) % der Fälle erfolgreich.</p>	[51]

Tab. 5 Ergebnisse bei der beanspruchten Indikation		
Studie	Ergebnis	Lit.
	Die Abheilungszeit unter PEMF variierte zwischen 2 - 20 Monaten. Sukzessive chirurgische Versorgung von 842 Fällen war initial in 88 % der Fälle erfolgreich, jedoch mit zunehmenden Wiederholungen immer weniger (50 % bzw. 33 % bei der 4. Operation), während die günstige Prognose der PEMF-Behandlung durch vorangegangene chirurgische Misserfolge nicht beeinträchtigt wurde. In 4 von 5 kontrollierten Studien war die PEMF-Behandlung signifikant erfolgreicher als chirurgische Nachbehandlung oder Ruhigstellung. In der 5. Studie ([6]) war die Placebogruppe ebenfalls einem potentiell wirksamen PEMF ausgesetzt.	
Übersicht	In einer Literaturübersicht von 31 klinischen Studien mit je mindestens einer Kontrollgruppe (20 waren doppelblind, randomisiert, placebokontrolliert) war der Effekt der Magnetfeldtherapie bei der Knochenheilung offenbar der Placebobehandlung überlegen.	[110]
Übersicht	Kongenitale Pseudoarthrosen und nicht zusammenwachsende Frakturen konnten durch PEMF-Behandlung für 2 - 5 Jahre geheilt werden. PEMFs förderten Osteotomie-Heilungen in anderen Studien, die Heilungsraten lagen zwischen 81 und 100 %.	[58]
Übersicht	Knochenheilungsstörungen und Knochenfrakturen, M. Sudek, Pseudoarthrosen, schlecht heilende Frakturen, Endoprothesenlockerungen konnten positiv beeinflusst werden (6 - 10 mT, 25 - 30 Hz, 30 - 60 min/d für 10 d, danach 2 - 3x wöchentlich für 4 - 6 Wochen).	[41]
Metanalyse	Die Metaanalyse von 37 klinischen Studien mit 3379 Patienten und unterschiedlichen orthopädischen Krankheitsbildern ergab nicht eindeutige und zum Teil widersprüchliche Ergebnisse. Pulsierende elektromagnetische Felder (PEMF) sowie elektrische Felder und direkte Einwirkung von "konstantem" elektrischem Strom haben bei der verzögerten Frakturheilung zu Therapieerfolgen verholfen.	[64]
kontrollierte Studie	Die prospektive kontrollierte (intraindividuell) postoperative PEMF-Behandlung (der linken Füße, elec biopulse 5 mT, 10 Hz "invariabel" 30 min b.i.d. für 12 Wochen) von 32 Patienten mit beiderseitigen Metatarsus primus varus-Operationen bewirkte eine Verkürzung der knöchernen Heilung von 26 auf 16 Tage sowie eine Verbesserung der Qualität des neugebildeten Knochens. Reizerscheinungen oder Nebenwirkungen traten nicht auf.	[56, 110]
kontrollierte Studie	Die randomisierte doppelblinde placebokontrollierte (N=7) PEMF-Behandlung (1.5 mT, 15 Hz, 5 ms-Impulserien für 13.4 h/d für 24 Wochen) von 9 Patienten mit seit mindestens 1 Jahr bestehenden Pseudoarthrosen der Tibia war 48 Wochen nach Therapiebeginn in 7/9 Fällen erfolgreich (Placebo: 6/7). Die Schmerzen hatten in beiden Gruppen gleichermaßen abgenommen. 1 Patient der Placebo-Gruppe hatte die Studie abgebrochen. Siehe auch [51].	[6]
kontrollierte Studie	Die randomisierte placebokontrollierte (N=16) postoperative (intertrochanterische Osteotomie) PEMF-Behandlung (1.8 mT \cong 2.5 mV, asymmetrische 1.3 msec-Impulse, 8 h/d für 3 Monate) von 16 Patienten (Alter 36 - 70 (\bar{x} =56) Jahre, 11 ♀) bewirkte röntgenographisch deutlichere Kallusbildung und trabekuläre Strukturierung 40 Tage nach der Operation (p<0.02). Nach 90 Tagen war der periostale Kallus nach Verum stärker calcifiziert und die Ausbildung trabekulärer Brücken deutlicher (p<0.001).	[22, 116]
kontrollierte Studie	Die postoperative randomisierte doppelblinde placebokontrollierte (N=16) PEMF-Behandlung (4.3/5/7 mT, 20/33/42 Hz, 15 min 16/24/26x) von 66 Patienten mit Osteotomien (N=16)/Frakturen (N=24)/Pseudoarthrosen (N=26) ergab <u>längere</u> Ausheilzeiten von Osteotomien und Frakturen im Vergleich zu Placebo. Metaanalyse mit Einbeziehung der Ergebnisse von 15 Patienten einer nicht doppelblinden, placebokontrollierten (N=18) Voruntersuchung ergab jedoch eine Verkürzung der Ausheilzeit bei bestrahlten Patienten von durchschnittlich 75 auf 68 Tage. Bei schlechtem knöchernem Kontakt half auch das Magnetfeld nicht.	[20]
retrospektive Analyse	Die postoperative Behandlung mit adjuvanter PEMF-Therapie ("Spinal-Stim [®] "-Gerät 4 h/d während 4 Wochen) von 52 Patienten (Alter 50 \pm 13.2 Jahre,	[23]

Tab. 5 Ergebnisse bei der beanspruchten Indikation		
Studie	Ergebnis	Lit.
	26 ♂ mit spinalen Arthrodesen wegen Bandscheibenvorfalls führte während der Nachuntersuchungszeit von 6 Monaten bis 5 Jahren (\bar{x} = 16 Monate) in 47/48 Fällen zum Erfolg (98 %), lediglich 1 Patientin entwickelte eine Pseudoarthrose. 4 Patienten standen nicht für die Nachuntersuchungen zur Verfügung.	
retrospektive Analyse	Die randomisierte placebokontrollierte (N=19) postoperative zusätzliche PEMF-Behandlung ("Spinal-Stim [®] "-Gerät 4 h/d) von 42 Patienten (Alter 39.6±8.9 Jahre) mit lumbalen Arthrodesen wegen Bandscheibenbeschwerden, die aus einem Kollektiv von 287 zwischen 1987 und 1994 operierten Patienten mit Hilfe eines Computerprogrammes ausgewählt worden waren nachdem PEMF-Geräte verfügbar geworden waren, war anhand der 15.6 Monate nach der Operation durchgeführten Verlaufskontrolle in 97 % der Fälle erfolgreich verlaufen (Placebo: 61.5 %, p<0.001).	[81]
retrospektive Analyse	Die Behandlung (PEMF 16 mT, 72 Hz 380 µsec Einzelimpulse für 12 h/d, mindestens einstündige Behandlungsperioden, für 6 - 12.4 Monate) von 37 Kindern (Alter 1 - 16 ¹ / ₄ (\bar{x} = 6.7) Jahre) mit seit >2 Jahren vorliegenden Pseudoarthrosen der Tibia (ausgewählt aus 52 Kindern mit Pseudoarthrosen) war in 26 Fällen (70.2 %) erfolgreich.	[116, 127]
Stichprobenvergleich	Die adjuvante Behandlung (24 Hz Rechteckimpulse 8.72 µT) von 703 Patienten (435 ♀) mit Oberschenkelhalsfrakturen bewirkte im Vergleich zu einem nicht behandelten Kollektiv (674 Patienten, 435 ♀) eine signifikante Verkürzung der Dauer der stationären Behandlung von durchschnittlich 19.05 auf 16.06 Tage (p<0.001).	[7, 41]
Verlaufsbericht	Die offene PEMF-Behandlung (lokale PEMF-Spulen im Gipsverband, für mindestens 3 Monate) von 54 Patienten (Alter 14 - 46 (\bar{x} = 26) Jahre, 51 ♂) mit Scaphoid-Pseudoarthrosen 20-40 Monate nach der Fraktur (über 44 wurde bereits anderweitig berichtet) führte bei 37 (69 %) zur Heilung. Bei 2 von 11 früher als "geheilt" eingestuft Patienten ergab die röntgenologische Verlaufskontrolle Pseudoarthrosen.	[2]

4.2.4 Berichte über Anwendungsbeobachtungen

Siehe Tab. 6.

Tab. 6 Ergebnisse bei Anwendungsbeobachtungen		
Studie	Ergebnis	Lit.
offene Studie	Die adjuvante offene PEMF-Behandlung von 300 Patienten mit peripheren Arthrosen (116 latent: 3 - 8 mT, 10 - 40 Hz, 20 → 60 min 2-3x/ Woche 15 - 20 Behandlungen; 184 aktiviert: 2 - 3 mT, 10 - 20 Hz, 10-15 min/d) ergab nach 3-jähriger Beobachtungszeit für die latenten Fälle einen Rückgang der Rezidive auf 1 bis 2 Episoden/Jahr. In den Synovialflüssigkeiten waren signifikante Reduktionen der Eiweißmenge und der Zellzahl nachweisbar. Wegen der fehlenden/sehr geringen Erhöhung der Gelenkinnentemperatur ist die PEMF-Behandlung eine physikalische Therapie mit wenig unerwünschten Wirkungen.	[55]
offene Studie	Die PEMF-Behandlung (elec biopulse 5 mT, 10 Hz "invariabel" 30 min b.i.d. für 12 Wochen) von 706 Patienten mit Osteoporosen/Osteotomien/Pseudoarthrosen/verzögerten Knochenheilungen/Störungen der Knochenheilung/Lockerung von Endoprothesen führte zu Erfolgsquoten von 60 - 76 %, die Osteoporoseschmerzen wurden in >70 % der Fälle positiv beeinflusst und Kompressionsfrakturen in >50 % reduziert. Die zusätzliche PEMF-Behandlung von 102 Patienten mit Sudeckscher Dystrophie bewirkte in 80 % eine Verkürzung der Verlaufsdauer um die Hälfte bis zu zwei Drittel.	[56]
offene Studie	Die lokale PEMF-Behandlung (Spannungsamplitude 1 - 1.5 mV/cm, rechteckiger 380 µsec-Puls, 72 Hz, 10 - 12 h/d für 2 - 46 Monate, Nachuntersuchungszeit bis zu 7.6 Jahre) von 82 Kindern (Alter 9 Monate - 16 Jahre, 43 ♀, U.S.A.-	[66]

Tab. 6 Ergebnisse bei Anwendungsbeobachtungen		
Studie	Ergebnis	Lit.
	Europa-Studie) mit 3 - 5 Jahre alten kongenitalen Pseudoarthrosen der Tibia führte in 48 Fällen (59 %) zur Heilung, 10 weitere Fälle (11 %) heilten aus und erlitten Refrakturen, in 34 Fällen (41 %) versagte die Behandlung. Die U.S.A.-Patienten werden in [9] (59 von 91) erneut aufgeführt.	
offene Studie	Die postoperative PEMF-Behandlung (3 - 5 mT, 20 - 50 Hz \cong Wechsellpotential 0.3 - 0.5 V \cong Stromdichte 1 - 2 μ A/mm ²) benigner Knochentumoren (Ausräumung und Auffüllung mit lyophilisierter Spongiosa) führte zu einem zunehmenden Aufbau vitalen Knochengewebes und schrittweisem Abbau des transplantierten Fremdspans. Die postoperative PEMF-Behandlung von >300 Patienten mit Osteotomien/(operierten) Frakturen/(infizierten) Pseudoarthrosen/Spanplastiken für durchschnittlich 4 Wochen - zu mehreren Monaten führte zu "überzeugenden Ergebnissen" und war frei von Nebenwirkungen	[128]
offene Studie	Die PEMF-Behandlung von 34 Patienten (Alter 9 - 81 (\bar{x} =48) Jahre, 18 ♂) mit Pseudoarthrosen oder erfolglos ausgegangenen Arthrodesen 4 - 41 Monate nach den Verletzungen führte bei 26 Patienten (78 %) zur Ausheilung.	[47]
offene Studie	Die adjuvante postoperative PEMF- (Alter 53 \pm 11.1 Jahre, N=22, 11 ♂) oder Gleichstrom-Behandlung (Alter 51 \pm 15.1 Jahre, implantierte Elektroden, N=17, 10 ♀) im Vergleich zur Standard-Behandlung (Alter 47.1 \pm 13.5 Jahre, N= 22, 14 ♂) von Patienten mit lumbalen Arthrodesen ergab 1 Jahr nach der Operation keine statistisch signifikanten Vorteile einer der Methoden.	[59]

4.2.5 Auflistungen von Krankengeschichten individueller Patienten

Beschrieben wurde die Heilung von Knochenbrüchen zweier Mädchen (Alter 9.5 / 13 Jahre) des Unterarms / der Tibia mit verzögertem Verlauf [85].

Berichtet wurde die erfolgreiche postoperative Rehabilitationsbehandlung (Matte je 8 min morgens Einstellung 10 %, abends 50 %; Kissen b.i.d. 16 min 100 %) eines Mannes (31 Jahre alt) mit Querschnittlähmung (Frakturen des 2. und 7. Halswirbels): Nach 4 Wochen Abheilung eines Decubitus, nach 2 Monaten Normalisierung der Stuhlentleerung, Verringerung des Restharns, Abnahme spastischer Zustände, Besserung der Motorik, nach 2 Jahren Teilnahme am Versehrtensport [96].

5 LITERATUR

- [1] Aaron R K et al, Treatment of osteonecrosis of the femoral head with pulsed external magnetic fields, *Ann N Y Acad Sci* **435** (1984) 367
- [2] Adams B D et al, Treatment of scaphoid nonunion with casting and pulsed electromagnetic fields: A study continuation, *J Hand Surg* **17A** (1992) 910
- [3] Anonym, Macht uns der „Elektrosmog“ krank? *Ärzte Wo* **18** (2004) Nr. 15
- [4] Bannaga A et al, A comparative study of the effects of magnetic stimulation and electric stimulation on peripheral nerve injury in rat, *J Tongji Med Univ* **21** (2001) 159
- [5] Baris D et al, A mortality study of electrical utility workers in Québec, *Occup Environ Med* **53** (1996) 25
- [6] Barker A T et al, Pulsed magnetic field therapy for tibial non-union, interim results of a double-blind trial, *Lancet* **i** (1984) 994
- [7] Barovič J et al, Adjuvante Magnetfeldtherapie in der Rehabilitation älterer Patienten mit hüftgelenksnahen Frakturen, *Prakt Arzt* **48** (1994) 512
- [8] Bassett C A L et al, Effects of pulsed electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis, *Clin Orthopaed Rel Res* **246** (1989) 172
- [9] Bassett C A L et al, Long-term pulsed electromagnetic field (PEMF) results in congenital pseudoarthrosis, *Calcif Tissue Int* **49** (1991) 216
- [10] Bassett C A L, The development and application of pulsed electromagnetic fields (PEMFs) for ununited fractures and arthrodeses, *Orthoped Clin North Am* **15** (1984) 61
- [11] Battocletti J H et al, A box coil for the stimulation of biological tissue and cells *in vitro* and *in vivo* by pulsed magnetic fields, *IEEE Transact Biomed Engin* **47** (2000) 402
- [12] Bawin S M et al, 203 – Possible mechanisms of weak electromagnetic field coupling in brain tissue, *Bioelectrochem Bioenerg* **5** (1978) 67
- [13] Bawin S M et al, Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency, *P N A S* **73** (1976) 1999
- [14] Becker R O et al (Hrsg), *Quantenmedizin / Körper-Elektrizität*, Leben Verlag AG, St. Gallen 1999
- [15] Beischer D E et al, Influence of strong magnetic fields on the electrocardiogram of squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*), *Aerospace Med* **35** (1964) 939
- [16] Berg G, Gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter Strahlenexposition, *Dtsch Ärztebl* **100** (2003) A2738
- [17] Bernhardt J H, Gesundheitliche Aspekte niederfrequenter Felder der Stromversorgung, *Dtsch Ärztebl* **99** (2002) A1898
- [18] Binder A et al, Pulsed electromagnetic field therapy of persistent rotator cuff tendinitis, *Lancet* **i** (1984) 695
- [19] Bissessarsingh R et al, Parkinson, Ergebnisse einer Fallstudie zur Therapie mit dem Quantron-Resonanz-System QRS® bei einer 73jährigen Parkinson-Patientin, **in** *Quantenmedizin*, 1. Intern Sympos Darmstadt/Weiterstadt 02.04.2001, Prof. Dr. Fischer AG (Hrsg) 1. Aufl S. 117, Leben Verlag, St. Gallen 2001
- [20] Biwer H et al, Die Magnetfeldtherapie als adjuvante Maßnahme bei der Fraktur-, Osteotomie- und Pseudarthrosenbehandlung, *Orthop Praxis* **9** (1982) 733
- [21] Blank M, Jüngste Entwicklungen in der Theorie des Ionenflusses durch Membranen bei angelegten elektrischen Feldern, **in** A A Marino (ed), *Modern Bioelectricity*, ISBN 0-8247-7788-3 (Übersetzung), M Dekker Inc
- [22] Borsalino G et al, Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies, *Clin Orthopaed Rel Res* **237** (1988) 256

- [23] Bose B, Outcomes after posterolateral lumbar fusion with instrumentation in patients treated with adjunctive pulsed electromagnetic field stimulation, *Adv Therapy* **18** (2001) 12
- [24] Breitenfelder J et al, Zur Magnetfeldtherapie der Arthrosis deformans, *Orthop Praxis* **8** (1985) 643
- [25] Cadossi R et al, Effect of low frequency low energy pulsing electromagnetic fields on mice injected with cyclophosphamide, *Exp Hematol* **19** (1991) 196
- [26] Canata G L et al, Utilizzazione di campi elettromagnetici pulsanti in traumatologia dello sport, *Med Sport* **35** (1982) 11 {Abstr}
- [27] Canè V et al, Pulsed magnetic fields improve osteoblast activity during the repair of an experimental osseous defect, *J Orthoped Res* **11** (1993) 664
- [27a] Chang W H et al, Bone defect healing by pulsed electromagnetic fields stimulation: *In vitro* bone organ culture model, *J Med Biol Engin* **25** (2005) 27
- [28] Chemeris N C et al, Weak low-frequency magnetic field initiates frequency-dependent fluctuations of period of *Daphnia magna* beatings, *Biofisika* **38** (1993) 511 {Abstr}
- [29] Claus D et al, Zur Interaktion zwischen transkranieller magnetischer Stimulation und mechanischen Reizen, *Z EEG-EMG* **19** (1988) 222
- [30] Colacicco G et al, Electromagnetic modulation of biological processes: Influence of culture media and significance of methodology in the Ca-uptake by embryonal chick tibia *in vitro*, *Calcif Tissue Int* **36** (1984) 167
- [31] Conte D G et al, Trattamento della periartrite calcarea di spalla con campi magnetici pulsanti: Studio controllato, *Riabilitazione* **23** (1990) 27 {Abstr}
- [32] Dawson T W et al, A comparison of 60 Hz uniform magnetic and electric induction in the human body, *Phys Med Biol* **42** (1997) 2319
- [33] Dertinger H, Hochwirksame Elektrotherapie gegen Schuppenflechte, *Spektrum Wissen* 2000 15
- [34] Devereaux M D et al, Chronic lateral humeral epicondylitis a double-blind controlled assessment of pulsed electromagnetic field therapy, *Clin Exp Rheumatol* **3** (1985) 333
- [35] Dorr R T et al, Pulsed electromagnetic fields do not reduce vesicant skin ulcers in mice, *J Bioelectr* **5** (1986) 13
- [36] Editorial, Therapeutischer Einsatz pulsierender Elektro-Magnetfelder, *Ärztezeitschr Naturheilverf* **37** (1996) 5
- [37] Editorial, Wirkung und Einsatz der Magnetfeldtherapie, *Ärzte Woche extra* (2000) 20
- [38] Eulitz C et al, Mobile phones modulate response patterns of human brain activity, *NeuroReport* **9** (1998) 3229
- [39] EUR-Lex, Empfehlung des Rates ... zur Begrenzung der Exposition ... gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz), 1999/519/EG
- [40] Fini M et al, Biological effects of tissue modulations in wound healing, *J Bioact Compat Polym* **10** (1995) 85
- [41] Fischer G (Hrsg), Grundlagen der Quanten-Therapie 1. Aufl S. 356, Leben Verlag AG, St. Gallen 2002
- [42] Fischer G et al, Adjuvante Behandlung der Gonarthrose mit schwachen pulsierenden Magnetfeldern, *Akt Rheumatol* **31** (2006) 226
- [43] Fischer G et al, Adjuvante Behandlung der Gonarthrose mit schwachen pulsierenden Magnetfeldern, *Z Orthop* **143** (2005) 544
- [44] Fischer G et al, Einfluß eines magnetischen Wechselfeldes auf die Entwicklung des Carrageenan-Pfotenödems der Ratte, *Med Klin* **82** (1987) 566
- [45] Fischer G et al, Einrichtung zur Ermittlung der Pulswirkung gepulster Magnetfelder auf einen Organismus, EP 0 729 318 B1, 7.5.1997

- [46] Fricke J, Sind schwache niederfrequente elektromagnetische Felder gesundheitsschädigend? *Physik in unserer Zeit* **22** (1991) 74
- [47] Gallannaugh S C, The treatment of bone non-union by PEMF: A clinical study, *J Bioelectr* **8** (1990) 289 {Abstr}
- [47a] Galloway N T M et al, Update on extracorporeal magnetic innervation (ExMI) therapy for stress urinary incontinence, *Urol* **56** Suppl 6A (2000) 82
- [48] Gaube W et al, (Adjuvante) Ganzkörpermagnetfeldtherapie bei ausgewählten Erkrankungen älterer Patienten einer Allgemeinpraxis - Erfahrungsbericht, *Österr Z Phys Med Rehab* **9** (1999) 91
- [49] Glaser R, Current concepts of the interaction of weak electromagnetic fields with cells, *Bioelectrochem Bioenerg* **27** (1992) 255
- [50] Gmitrova A et al, Effect of a permanent magnetic field on blood pressure regulation, *J Bioelectr* **9** (1990) 79
- [51] Gossling H R et al, Treatment of ununited tibial fractures : A comparison of surgery and pulsed electromagnetic fields (PEMF), *Orthop* **15** (1992) 711
- [52] Grace K L R et al, The effects of pulsed electromagnetism on fresh fracture healing: Osteochondral repair in the rat femoral groove, *Orthop* **21** (1998) 297
- [53] Granath B, Untersuchungen zu zeitlichen Temperaturveränderungen auf der Hornhautoberfläche des menschlichen Auges unter dem Einfluß eines magnetischen Wechselfeldes, Bericht, Institut für Umweltanalysen (IFU GmbH), Chemnitz 8.10.1998
- [54] Greenberg B D et al, Effect of prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation in obsessive-compulsive disorder: A preliminary study, *Am J Psychiat* **154** (1997) 867
- [55] Haimovici N, Die niederfrequente gepulste Magnetfeld-Therapie bei der Behandlung der degenerativen Gelenkerkrankungen, *Acta Rheumatol* **7** (1982) 81
- [56] Haimovici N, Vier Jahre Erfahrung mit der niederfrequenten gepulsten Magnetfeldtherapie bei Erkrankungen und Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparates, *Therapiewoche* **31** (1981) 7317
- [57] Harrison M H M et al, The results of a double-blind trial of pulsed electromagnetic frequency in the treatment of Perthes' disease, *J Pediatr Orthop* **17** (1997) 264
- [58] Jain V K et al, Recent trends in bone growth by electrical stimulation, *I E T E Tech Rev* **11** (1994) 55
- [59] Jenis L G et al, Prospective comparison of the effect of direct current electrical stimulation and pulsed electromagnetic fields on instrumented posterolateral lumbar arthrodesis, *J Spinal Disord* **13** (2000) 290
- [60] Ji R-R et al, Repetitive transcranial magnetic stimulation activates specific regions in rat brain, *P N A S* **95** (1998) 15635
- [61] Karatchevzeva T V et al, Letchebnoe primenenie elektroaerosolei i peremenovo elektromagnitnovo polja pri naruschenijach serdetchnovo ritma u djetjei, *Voprosy Kurotologii Fisioterapii Lesebnoj Fisitcheskoi Kyltury* **2** (1985) 37
- [62] Kasakova R T, Vlijanije postojannovo magnitnovo polja na pokasatjeli kislotnoschtchelotchnovo ravnovesjia krovi I ustoitchivostch k vuisotnoi gipoksii, *Kosmitcheskaja Biologija I Aviakosmitcheskaja Medizina* **25** (1991) 63
- [63] Kobinger W et al, Beschleunigte Knochenbruchheilung nach künstlicher Osteotomie bei Kaninchen im niederfrequenten Magnetfeld, *Acta Med Austria* **21** (1994) 1968
- [64] Konermann G et al, Untersuchungen über den Einfluß statischer Magnetfelder auf die pränatale Entwicklung der Maus, *Radiologe* **26** (1986) 490
- [65] König H L, Unsichtbare Umwelt Elektromog-50-Hz-Magnetfelder, in Mayer-Tasch P C et al (Hrsg), *Strom des Lebens – Strom des Todes, Elektro- und Magnetosmog im Kreuzfeuer*, Fischer Frankfurt/Main 1995

- [66] Kort J S et al, Congenital pseudarthrosis of the tibia: Treatment with pulsing electromagnetic fields, *Clin Orthopaed Rel Res* **165** (1982) 124
- [67] Krauß M et al, Messung von peripheren Kreislaufparametern mit der nichtinvasiven NIRP-Methode bei pulsierender Magnetfeldtherapie mit dem Qantronic-Resonanz-System Salut 1, *Ärztezeitschr Naturheil* **38** (1997) 491
- [68] Krauß M et al, Nichtinvasive Erfassung von Herz-Kreislaufparametern mit der nichtinvasiven NIRP-Methode und deren Anwendung unter QRS-Magnetfeldtherapie, Bericht, Prof. Dr. Fischer AG, D-09125 Chemnitz 2000
- [69] Laghi F et al, Comparison of magnetic and electrical phrenic nerve stimulation in assessment of diaphragmatic contractility, *J Appl Physiol* **80** (1996) 1731
- [70] Lebedeva N N, Reaktionen des zentralen Nervensystems des Menschen auf elektromagnetische Felder mit unterschiedlichen biotropen Parametern, *Biomed Radioelek* **1** (1998) 24 {Abstr}
- [71] Leman E S et al, Studies of the interactions between melatonin and 2 Hz, 0,3 mT PEMF on the proliferation and invasion of human breast cancer cells, *Bioelectromagn* **22** (2001) 178
- [72] Liboff A R et al, Physical mechanisms in neuroelectromagnetic therapies, *NeuroRehabil* **17** (2002) 9
- [73] Lin V W et al, Functional magnetic stimulation for conditioning of expiratory muscles in patients with spinal cord injury, *Arch Phys Med Rehabil* **82** (2001) 162
- [74] Lin V W et al, Functional magnetic stimulation of the colon in persons with spinal chord injury, *Arch Phys Med Rehabil* **82** (2001) 167
- [75] Lin V W H et al, Functional magnetic stimulation for restoring cough in patients with tetraplegia, *Arch Phys Med Rehabil* **79** (1998) 517
- [76] Longo F M et al, Electromagnetic fields influence NGF activity and levels following sciatic nerve transection, *J Neurosci Res* **55** (1999) 230
- [77] Lunt M J, Magnetic and electric fields produced during pulsed-magnetic-field therapy for non-union of the tibia, *Med Biol Engin Comput* **20** (1982) 501
- [78] Luo Y M et al, Diaphragm electromyogram measured with unilateral magnetic stimulation, *Eur Respir J* **13** (1999) 385
- [79] Mador M J et al, Bilateral anterolateral magnetic stimulation of the phrenic nerves can detect diaphragmatic fatigue, *Chest* **121** (2002) 452
- [80] Man D et al, The influence of permanent magnetic field therapy on wound healing in suction lipectomy patients: A double-blind study, *Plastic Reconstr Surgery* **104** (1999) 2261 and 2267
- [81] Marks R A, Spine fusion for discogenic low back pain: Outcomes in patients treated with or without pulsed electromagnetic field stimulation, *Adv Ther* **17** (2000) 57
- [82] Matthes R et al, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics* **74** (1998) 494
- [83] Matthes R, Response to questions and comments on ICNICRP, *Health Physics* **75** (1998) 438
- [84] Mayr J, Einsatzgebiet Kinderchirurgie Erfahrungen mit dem System MRS 2000+, *Ärzte Wo extra* (2000) 29
- [85] Mayrovitz H N et al, Effects of pulsed electromagnetic fields on skin microvascular blood perfusion, *Wounds* **4** (1992) 197
- [86] McCarthy C J et al, Pulsed electromagnetic energy treatment offers no clinical benefit in reducing the pain of knee osteoarthritis: A systematic review, *BMC Musculoskeletal Disord* **7** (2006) 51
- [87] Milgram J et al, The effect of short, high intensity magnetic field impulses on the healing of skin wounds in rats, *Bioelectromagnetics* **25** (2004) 271

- [88] Monti M G et al, Effect of ELF pulsed electromagnetic fields on protein kinase C activation process in HL-60 leukemia cells, *J Bioelectr* **10** (1991) 119
- [89] Mosimann U P et al, Mood effects of repetitive transcranial magnetic stimulation of left prefrontal cortex in healthy volunteers, *Psychiat Res* **94** (2000) 251
- [90] Müllner M, Pulsed magnetic field therapy for osteoarthritis of the knee – a double-blind sham-controlled trial, *Wien Klin Wochenschr* **114** (2002) 953
- [91] Nicolakis P et al, Pulsed magnetic field therapy for osteoarthritis of the knee – a double-blind sham-controlled trial, *Wien Klin Wochenschr* **114** (2002) 678
- [92] Nicolakis P, Pulsed magnetic field therapy for osteoarthritis of the knee – a double-blind sham-controlled trial, *Wien Klin Wochenschr* **114** (2002) 953
- [93] Olney R K et al, A comparison of magnetic and electrical stimulation of peripheral nerves, *Muscle Nerve* **13** (1990) 957
- [94] Orlov L L et al, Effect of the “running” pulse magnetic field on some humoral indices and physical performance in patients with neurocirculatory hypo- and hypertension, *Biophysics* **41** (1996) 959
- [95] Orlova T V et al, aktivnostch neironov temennoi accoziativnoi korui I oblasti tchernoj substanzii u koschki pri wosdjeistwii magnitnuich polei tchastotoi 8 Gz, *Biofizika* **40** (1995) 978 {Abstr}
- [96] Ornig H, Von Lumbago bis zur Querschnittslähmung, *Ärzte Wo extra* (2000) 28
- [97] Pages I-H et al, Magnetfeld mit Poljus I – erste experimentelle und klinische Ergebnisse, *Z Physiother* **34** (1982) 205
- [98] Pages I-H et al, Magnetfeldtherapie bei chronisch degenerativen Erkrankungen des Bewegungsapparates, *Z Physiother* **37** (1985) 21
- [99] Palme E et al, Erste Erfahrungen mit der Ganzkörpermagnetfeldtherapie bei Patientin mit Bandscheibenleiden, Bericht, *in* Quantenmedizin, 1. Intern Sympos Darmstadt/Weiterstadt 02.04.2001, Prof. Dr. Fischer AG (Hrsg) 1. Aufl S. 128, Leben Verlag, St. Gallen 2001
- [100] Panasjuk E N et al, Djeistvije oslabljenovo magnitnovo polja semli na sistjemu swertuivanija krowi, *Kosmicheskaja Biol Aviakosm Med* **3** (1991) 59 {Abstr}
- [101] Pelka R B et al, ‘Impulse magnetic-field therapy for migraine and other headaches: A double-blind, placebo-controlled study, *Adv Ther* **18** (2001) 101
- [102] Pelka R B, Magnetfelder zur Therapie funktioneller Beschwerden, Vortrag Bregenz 20.11.1990
- [103] Pelka R B, QRS-Gon-Studie 2001, Bericht, *in* Quantenmedizin, Randomisierte Doppelblindstudie mit dem QRS-Quanten-Therapie- (Salut 1), Prof. Dr. Fischer AG (Hrsg) 1. Aufl, Leben Verlag, St. Gallen 2001
- [104] Pelka R B, QRS-Kunden-Feldstudie 2000, Bericht, *in* Quantenmedizin, Erfahrungen der QRS-Quanten-Therapie mit dem Gerät Salut 1, Prof. Dr. Fischer AG (Hrsg) 1. Aufl, Leben Verlag, St. Gallen 2001
- [105] Philipp A et al, Interferential current is effective in palmar psoriasis: An open prospective trial, *Eur J Dermatol* **10** (2000) 195
- [106] Pienkowski D et al, Comparison of asymmetrical and symmetrical pulse waveforms in electromagnetic stimulation, *J Orthopaed Res* **10** (1992) 247
- [107] Polkey M I et al, Functional magnetic stimulation of the abdominal muscles in humans, *Am J Respir Crit Care Med* **160** (1999) 513
- [108] QRS[®] Gebrauchsinformation, Prof. Dr. Fischer AG, Chemnitz
- [109] QRS[®] Produktinformation, Prof. Dr. Fischer AG, Weiterstadt
- [110] Quittan M et al, Klinische Wirksamkeiten der Magnetfeldtherapie – eine Literaturübersicht, *Acta Medica Austriaca* **27** (2000) 61

- [111] Rigato M et al, Comparison between the analgesic and therapeutic effects of a musically modulated electromagnetic field (TAMMEF) and those of a 100 Hz electromagnetic field: Blind experiment on patients suffering from cervical spondylosis or shoulder peri-arthritis, *J Med Engin Technol* **26** (2002) 253
- [112] Roshdestvenskaja E D et al, Heliobiologische Untersuchungen in der Kardiologie als Methode zur Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der Verteilung von Herz-Kreislauf-Katastrophen und ihre Beziehungen zu den heliogeographischen Faktoren, *Probl Cosmic Biol Nauka Leningrad* **65** (1989) 15 {Abstr}
- [113] Roveta G et al, Biological efficacy of pulsating electromagnetic fields as observed in experimental tumor cell spreading, *Med Biol Environ* **20** (1992) 275
- [114] Ruohonen J et al, Theory of multichannel magnetic stimulation: Toward functional neuromuscular rehabilitation, *IEEE Transact Biomed Engin* **46** (1999) 646
- [115] Ryabi J T, Biochemical effects of low-frequency electromagnetic fields on cells, *Diss Abstr Int* **53** (1992) 49-B
- [116] Schmidt-Rohlfing B et al, Pulsierende elektromagnetische Felder in der Behandlung von Verletzungen und Erkrankungen der Bewegungsorgane – eine Übersicht und Metaanalyse, *Z Orthop* **138** (2000) 379
- [117] Schuhfried O et al, The effects of low-dosed and high-dosed low-frequency electromagnetic fields on microcirculation and skin temperature in healthy subjects, *Int J Sports Med* **26** (2005) 886
- [118] Sell G et al, Studie zum Nachweis der Auswirkung von niederfrequenten Magnetfeldern auf Stoffwechsellaten, hier speziell auf den Sauerstoff-Partialdruck des Blutes, Bericht, Facharzt für Orthopädie, Joachimstr. 2, Bonn 25.10.1985
- [119] Shafik A, Effect of magnetic stimulation on the contractile activity of the rectum of the dog, *Eur Surg Res* **30** (1998) 268
- [120] Shankar V S et al, Effects of electromagnetic stimulation on the functional responsiveness of isolated rat osteoclasts, *J Cell Physiol* **176** (1998) 537
- [120a] Stemme O (Hrsg), Physiologie der Magnetfeldbehandlung Seite 153, Dr. Stemme Verlag München 1992
- [121] Stiller M J et al, A portable pulsed electromagnetic field (PEMF) device to enhance healing of recalcitrant venous ulcers: A double-blind, placebo-controlled clinical trial, *Brit J Dermatol* **127** (1992) 147
- [122] Stoiser E, Erfolg durch Magnetfeldtherapie, Bericht, Geriatisches Krankenhaus Graz, 21.11.2000
- [123] Subramaniam M et al, Interaction of electromagnetic fields and nerve growth factor on nerve regeneration in vitro in Brighton C T et al (eds), *Electromagnetics in Biology and Medicine* p. 145, San Francisco Press, San Francisco 1991
- [124] Susic D, Biomagnetic micro massage therapy application in the physical therapy and rehabilitation, *Proc 2nd Int Conference Bioelectromagn* No BK95L p. 145, Melbourne Australia 1998
- [125] Süßmuth R et al, Untersuchungsbericht zur Wirkung des Quantron-Resonanz-Systems (QRS) auf Bakterien, Bericht, Universität Hohenheim 9.4.1998
- [126] Sutbeyaz S T et al, The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of cervical osteoarthritis: A randomized, double-blind, sham-controlled trial, *Rheumatol Int* **26** (2006) 320
- [127] Sutcliffe M L et al, The treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia with pulsing electromagnetic fields, *Clin Orthopaed Rel Res* **166** (1982) 45
- [128] Träger K H, Magnetfeldtherapie nach operativer Knochenbehandlung, *Orthop Prax* **9** (1982) 726

- [129] Temurjanz N A et al, Der Einfluß schwacher magnetischer Wechselfelder niedriger Frequenz auf den Mehrtages-Rhythmus von Ratten auf das Sympathoadrenalin-System, *Biofisika* **37** (1992) 653
- [130] Temurjanz N A et al, Die Modifikation der Reaktionen der Ratten auf die Wirkung schwacher magnetischer Wechselfelder als Stressfaktor, *Biofisika* **40** (1995) 969 {Abstr}
- [131] Temurjanz N A et al, The influence of weak variable magnetic fields on the intradian rhythmicity of the functional activity of blood leukocytes in the rats, *Biofisika* **41** (1996) 930 {Abstr}
- [132] Thamsborg G et al, Treatment of knee osteoarthritis with pulsed electromagnetic fields: A randomized, double-blind, placebo-controlled study, *OsteoArthritis Cartilage* **13** (2005) 575
- [133] Todd D J et al, Treatment of chronic varicose ulcers with pulsed electromagnetic fields: A controlled pilot study, *Irish Med J* **84** (1991) 54
- [134] Torricelli P et al, Biomimetic PMMA-based bone substitutes: A comparative *in vitro* evaluation of the effects of pulsed electromagnetic field exposure, *J Biomed Mater Res* **64A** (2003) 182
- [135] Trock D H et al, A double-blind trial of the clinical effects of pulsed electromagnetic fields in osteoarthritis, *J Rheumatol* **20** (1993) 456
- [136] Trock D H et al, The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of osteoarthritis of the knee and cervical spine. Report of randomized, double blind, placebo controlled trials, *J Rheumatol* **21** (1994) 1903
- [137] Trock D H, Electromagnetic fields and magnets, investigational treatment for musculoskeletal disorders, *Rheumatic Dis Clin North Am* **26** (2000) 51
- [138] Turk Z, Knochenbruchheilung und biochemische Blutparameter bei Kaninchen nach künstlicher Femurosteotomie im schwachen niederfrequenten Magnetfeld, *Wiener Klin Wochenschr* **113** [Suppl 3] (2001) 47
- [139] Tyshkevich T G et al, Magnetic and electrical stimulation in the rehabilitative treatment of patients with organic lesions of the nervous system, *Neurosci Behav Physiol* **28** (1998) 594
- [140] Usenko G A et al, Der Einfluß geophysikalischer Faktoren auf einige professionelle und physiologische Operatorfunktionen in der Sommersaison in Sibirien, *Probl Cosmic Biol Nauka Leningrad* **65** (1989) 52 {Abstr}
- [141] Varga A, Auszug aus dem Forschungsbericht vom 27.10.99 der Universität in Szeged (H), Institut für Pharmazeutische Analytik, Universität GATE, Ungarn 31.10.1999
- [142] Varga A, Gutachten über die Feldstärke, sowie Frequenzmuster der Spulenmatte Salut I, Universität GATE, Ungarn 19.4.1999
- [143] Varga A, Nachweis des Ionentransportes durch Anwendung des QRS-Systems Salut II, Bericht, Universität GATE, Ungarn 13.11.1999
- [144] Walther H-D, MFT hat positiven Einfluß auf Augenleiden, *Ärzte Wo extra* (2000) 26
- [145] Warnke U (Hrsg), Magnetfeld Pilotversuche in *Der Mensch und die dritte Kraft, elektromagnetische Wechselwirkungen zwischen Stress und Therapie*, S. 54, Popular Academic Verlags-Gesellschaft, Saarbrücken 1994
- [146] Warnke U, Einrichtung zur Beeinflussung von elektrischen und magnetischen Feldern niedriger Frequenz, EP Nr. 0 621 795 B 1, 3.6.1998
- [147] Warnke U, ELF-pulsating magnetic field (PEMF)-induced acoustic effects in vessel-walls – an adequate stimulation of baroreceptors? *Proc 1st Int School Electrmagn Fields Biomembr* p. 117, 1988

- [148] Warnke U, Some primal mechanism concerning the effects of pulsating electromagnetic fields (PEMF) in the extremely low frequency (ELF)-range on human beings, in F A Popp (ed), Electromagn Bioinform p. 238, 1990
- [149] Warnke U, Survey of some working mechanisms of pulsating electromagnetic fields (PEMF), Bioelectrochem Bioenerg **27** (1992) 317
- [150] Watanabe H et al, Possible complications of magnetic coil stimulation in living tissue: Assessment of changes in epiphyseal cartilage, J Orthop Sci **3** (1998) 27
- [151] Will G, Magnetfeldtherapie – der wissenschaftliche Durchbruch ist gelungen? Ärztezeitschr Naturheilverf **37** (1996) 1
- [152] Yamaguchi D T et al, Inhibition of gap junction intercellular communication by extremely low-frequency electromagnetic fields in osteoblast-like models is dependent on cell differentiation, J Cellul Physiol **190** (2002) 180
- [153] Zadionchenko V S et al, Therapeutic correction of platelet vascular hemostasis and blood rheology in patients with arterial hypertension, Terapevticheski Arch **5** (1996) 63 {Abstr}
- [154] Zhadin M N, Review of Russian literature on biological action of DC and AC low-frequency electromagnetic fields, Bioelectromagn **22** (2001) 27
- [155] Ziegenfelder T et al, Umbauprozesse des Knochens, Wirkungen differenzierter Belastungsreize und elektromagnetischer Felder auf an Osteoporose erkrankte Patienten und deren Knochen, Ärzte Wo **extra** (2000) 30

6 INFORMATION ÜBER DEN SACHVERSTÄNDIGEN

Ich wurde am 16. Oktober 1937 in Berlin, Deutschland geboren.

- 1944-1951 Besuch der Grundschule in Dresden und Berlin
- 1951-1956 Besuch der "Franz-Mehring-Oberschule" in Berlin mit Reifeprüfung und Ergänzungsprüfung an der "Sophie-Scholl-Schule" in Berlin.
- 1956-1962 Medizinstudium und Staatsexamen an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.
- 1963 Promotion zum "Doktor der Medizin" an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.
- 1963-1964 Medizinalassistent und Forschungsarbeiten auf den Gebieten Virologie und Zytologie am Städtischen Wenckebach Krankenhaus, Wenckebachstraße 23, D-1000 Berlin 42.
- 1964 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Division of Laboratories and Research, New York State Department of Health, Albany, N. Y. U S A 12201 und gleichzeitig Mitarbeiter des Dudley Observatory, 100 Fuller Road, Albany N. Y. 12205.
- 1965 Approbation durch die Ärztekammer Berlin
- 1968 Beförderung zum Senior Research Scientist, Division of Laboratories and Research, New York State Department of Health in Albany.
- 1970-1973 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Experimentelle und Klinische Virologie der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Ordensmeisterstraße 48, D-1000 Berlin 42.
- 1973-1978 Laborleiter des Forschungslaboratoriums für Virushepatitis, Behringwerke AG, D-3550 Marburg/Lahn.
- 1978-1980 Leitung des Forschungslaboratoriums für Virologie und der Isolierstation, Battelle Institut e.V., Am Römerhof 35, D-6000 Frankfurt 90.
- 1980-1981 Medizinisch-Wissenschaftliche Leitung des Department Mérieux, Rhone-Poulenc-Pharma GmbH, Mühlenweg 131, D-2000 Norderstedt.
- 1982-1983 Leiter der Medizinisch-Wissenschaftlichen Referate, Beiersdorf AG, Unnastr. 48, D-2000 Hamburg 20.
- 1983-1986 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Klinische Forschung, Klinge Pharma GmbH, Weihenstephaner Str. 28, D-8000 München 80.
- 1986- Freiberufliche Tätigkeit, MediFo GmbH, Alexander-Moksel-Straße 48, D-86807 Buchloe

Dr. med. Peter R. Lorenz
Alexander-Moksel-Straße 48
D-86807 Buchloe