

Eduard David  
Andreas Wojtysiak

# Gepuls in der

**Eine technische Anwendung, die beispielhaft für die Charakterisierung von gepulsten hochenergetischen Strahlen immer an erster Stelle genannt wird, ist RADAR. Dieser Beitrag der Universität Witten-Herdecke umfasst neben der Beschreibung der technischen Funktion auch die Auswirkungen auf die biologischen Systeme aus ärztlicher Sicht.**



# te Hochfrequenz Radartechnik

## Technik des Radars

Radarverfahren benutzen elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von wenigen 200 MHz bis zu 35 GHz, um reflektierende Gegenstände zu orten. Radargeräte senden dabei ein kurzes Signal von einigen ns aus und empfangen das zurückkommende Echo (Primärradarverfahren). Die früher „Funkmesstechnik“ genannte **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging (RADAR) Methode wird zur Entfernungsmessung, Ortung und Geschwindigkeitsmessung unbekannter Objekte benützt. Eine weitere Anwendung ist die genaue Abbildung der Erdoberfläche sowie die Flug- und Navigationssicherung mit Hilfe von Sekundärradarverfahren, bei dem das Objekt entsprechende Signale aktiv zurücksendet. Die dabei verwendeten Sendeleistungen reichen von einigen Milliwatt bei der Verkehrsüberwachung im Straßenverkehr bis zu einigen Megawatt im Flugsicherungsdienst.

Allen Grundtypen von Radargeräten ist gemeinsam, dass sie eine hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF-Strahlung) erzeugen und aussenden. Diese wird von den getroffenen Objekten reflektiert. Der ausgesandte Strahl (Richtstrahl) ist je nach Gerätetyp von unterschiedlicher Gestalt.

- Überwachungsradare dienen der Luftraum-, See- raum- oder Wetterbeobachtung und der Navigation. Sie senden mit einer sich drehenden Antenne kurze elektromagnetische Impulse aus und ermitteln aus der Laufzeit des Echos und der Ausrichtung der Antenne Entfernung und Richtung des Objekts. Ihr Richtstrahl bildet einen vertikalen Fächer.
- Feuerleitradare dienen der Ermittlung genauer Zieldaten für den Waffeneinsatz. Ihre Antenne wird

direkt auf das Ziel ausgerichtet und sendet einen scharf gebündelten Richtstrahl aus, der ebenfalls aus kurzen Impulsen besteht. Die Charakteristik des ausgesandten Radarsignals erlaubt es, die Bewegung des Ziels zu erkennen und die Antenne automatisch nachzurichten.

- Beleuchtungsradare sind besondere Feuerleitradare. Sie senden ein nicht gepulstes, kontinuierliches HF-Signal zu einem Ziel, das durch Lenkwaffen (Raketen) bekämpft werden soll. Die Abwehrrakete empfängt und peilt die reflektierte Energie und lenkt sich ins Ziel.
- Radargeräte zur Geschwindigkeitsmessung senden ein bisher nicht gepulstes Dauersignal in Messrichtung. Bei der Reflexion, zum Beispiel an einem Auto, das sich auf das Messgerät zubewegt oder sich von ihm entfernt, wird die Frequenz der HF-Strahlung verändert (Dopplereffekt). Aus dem Frequenzunterschied lässt sich die Geschwindigkeit des Fahrzeugs errechnen. Neuerdings wird auch hier gepulste Radartechnik eingesetzt.

Diese oben beschriebenen Geräte strahlen in ganz unterschiedlicher Weise Energie ab. Während die Antennen von Überwachungsradaren die Energie gleichmäßig rundum aussenden, geht die Strahlung der anderen Geräte nur in eine Richtung, die sich, wenn überhaupt, nur langsam verändert. Luftraumüberwachungs-, Feuerleit- und Beleuchtungsradare arbeiten mit hohen Leistungen (typisch: 200 - 20.000 Watt CW-Leistung), um auch über große Entfernungen sichere Zieldaten zu ermitteln. Geschwindigkeitsmessradare arbeiten auf sehr kurze Distanz und daher mit geringer Energie (typisch: 0,0005 - 0,01 Watt).

Bei größeren Radaranlagen sind der Sender, in dem die Strahlung erzeugt wird, die Antenne und der Bildschirm getrennte Geräte. Die Antennen befinden sich im Freien, Sendegeräte und Bildschirme in geschlossenen, aber meist getrennten Räumen.

Die Mehrzahl der Radarverfahren nutzt gepulste Feldformen, wofür es verschiedene Gründe gibt. Zur Ortung von Objekten werden hauptsächlich Laufzeitunterschiede von ausgesendeten und empfangenen Signalen ermittelt, was definierte „Pulspakete“ voraussetzt. Grundsätzlich können aus solchen Signalen durch die Veränderung bei der Reflektion auch zusätzliche Informationen über das Objekt gewonnen werden. Hinzu kommt eine Energieeinsparung bei reduzierter Sendezeit für kurze Impulse.

## Radargeräte der Bundeswehr

Im Heer finden sie einerseits bei der Artillerie Verwendung, um die Flugbahnen gegnerischer und eigener Geschosse zu vermessen. Andererseits sind sie auf Flugabwehrpanzern zur Zielerfassung und Waffenleitung eingebaut.

Die Luftwaffe überwacht mit großen Radaranlagen den Luftraum. Die Raketenverbände der Luftverteidigung – im Laufe der Jahre die Waffensysteme HAWK, NIKE und PATRIOT – können mit Radargeräten Ziele erfassen und verfolgen; auch die Abwehrraketen werden mit Radar ins Ziel gelenkt. Flugzeuge verfügen über ein meist in der Flugzeugnase eingebautes Radar für die Navigation und zur Zielerfassung.

Die Marine unterhält auf ihren Schiffen zum Teil sehr umfangreiche Systeme unterschiedlicher Radaranlagen, die unter anderem die gleichen Funktionen haben wie die Anlagen der Luftverteidigung. Hinzu kommen Navigationsgeräte und Störsender, die Radarsignale simulieren. Schließlich verfügt die Marine über Flugzeuge und Hubschrauber mit Radarausrüstung und über Küstenradarstellen.

## Strahlungsarten an Radargeräten

Radarsendegeräte erzeugen HF-Strahlung, die über Hohlleiter zur Sendeantenne geleitet wird. Zugleich entsteht in Senderöhren, wenn die Beschleunigungsspannung fünf KiloVolt übersteigt, auch Röntgenstrah-

lung – eine Störstrahlung, die nicht über die Antenne abgestrahlt wird. Außerdem kann Strahlung von radioaktiven Stoffen in Röhren und Leuchtfarben ausgehen. Solche Leuchtfarben wurden jahrzehntelang verwendet, um in den abgedunkelten Radarbedienräumen die Tasten der Geräte sichtbar zu machen.

Bei der Betrachtung möglicher Strahlungsquellen ist zwischen ionisierender und nichtionisierender Strahlung zu unterscheiden. Die hochfrequente Radarstrahlung ist nichtionisierend, die Röntgenstrahlung und radioaktive Strahlung dagegen sind ionisierend. Beide werden für unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesundheit verantwortlich gemacht. Radarstrahlen können zu Verbrennungen führen, Röntgenstrahlen können Krebs auslösen.

Ferner ist zu unterscheiden zwischen stochastischen – also zufallsbedingten – und deterministischen Strahlenwirkungen. Stochastische Risiken ergeben sich durch ionisierende Strahlung schon bei sehr geringen Belastungen. Diese können – darüber ist sich die Wissenschaft einig – Krebs hervorrufen. Die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung nimmt mit der Intensität und Dauer der Exposition zu, das heißt: das Risiko summiert sich. Zur Begrenzung stochastischer Gefährdungen werden zeitbezogene Grenzwerte angegeben, etwa Höchstdosen pro Jahr. Schädigungen können prinzipiell aber schon bei einer weit darunter liegenden Dosis eintreten.

Im Unterschied dazu gilt für deterministische Wirkungen, dass ein Schaden ausschließlich beim Überschreiten bestimmter Grenzen (Schwellwert) ausgelöst wird. So bewirkt HF-Strahlung eine Erwärmung des Körpers, doch nur bei Überschreitung einer bestimmten Strahlungsintensität eine Verbrennung. Belastungen unterhalb der Schwellen haben keine gesundheitsschädigende Wirkungen und summieren sich auch nicht.

Mögliche Belastungen lassen sich also in folgende Formen unterteilen:

- ungepulste HF-Strahlen (etwa vom Beleuchtungsradar und einer sich drehenden Antenne abgestrahlt) zählen zu den deterministischen Belastungen, für die Grenzwerte festgelegt wurden, bei deren Unterschreitung keine Gesundheitsrisiken bekannt sind.



- gepulste HF-Strahlen werden ebenfalls nach den Grundsätzen für deterministische Belastungen beurteilt. Bei ihrer Grenzwertfestlegung werden unterschiedliche Berechnungsformeln zugrunde gelegt, um den Effektiv-Wert des Energieeintrags zu berechnen.
- Röntgenbremsstrahlung (wie sie in elektronischen Röhren der Radargeneratoren mit mehr als 30 000 Volt Anodenspannung zu finden ist) entsteht, wenn die Elektronen auf die Anode treffen und einen Teil ihrer Energie als Röntgenstrahlung abgeben. Diese Strahlung zählt zu den ionisierenden Strahlen und hat eine Dosiswirkung, die wir auch zu den stochastischen zählen. Üblicherweise sind diese Röhren so abgeschirmt, dass keine Röntgenstrahlung nach außen gelangt. Sie spielen für die Menschen in der Umgebung von Radargeräten keine Rolle. Mögliche Gesundheitsschäden werden nur für Radarmechniker diskutiert, die häufig am geöffneten Generator in der Nähe einer nicht abgeschalteten Generatorröhre arbeiten mussten. Messungen der Bundeswehr haben ergeben, dass die Strahlenbelastung unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung angegebenen Personendosis liegt, bei der das Tragen eines Dosimeters vorgeschrieben ist.  
Röntgenbremsstrahlung trat auch an Sichtschirmen der früheren Bedieneinheiten aus, womit eine Exposition des damaligen Bedienpersonals verbunden war.
- radioaktive Strahlung (wie Alpha-Strahlen = Korpulsularstrahlung, Beta-Strahlen = Elektronenstrahlen und Gamma-Strahlen = Ultrahohe elektromagnetische Strahlung, auch Höhenstrahlung genannt; kommt u. a. beim Atomzerfall vor) gibt es in alten Anzeigen mit Leuchtfarbe. Diese sendet wie die Leuchtzifferblätter alter Armbanduhren eine sehr schwache radioaktive Strahlung aus. Diese Exposition von alten Geräten muss als Sonderfall des Bedienpersonals an alten Geräten betrachtet werden.

## Wirkungen von Radarstrahlen

Lebende Organismen, also auch der Mensch, bestehen aus Molekülen, Atomen und Ionen. Diese sind in

komplexer Weise zu Zellen, mit deren Organellen: Zellkern, Zellplasma mit etlichen funktionell bedeutenden Einschlüssen, so wie der Zellmembran zusammengesprochen. Unterschiedliche Zellen bilden schließlich die Organe des Körpers. Effekte können je nach Feldverteilung im Gewebe über verschiedene Mechanismen auftreten. Wegen der Komplexität der geometrischen Anordnung der Strukturen mit unterschiedlichen Materialparametern und des unterschiedlichen Einflusses der Betriebsfrequenzen, sind Aussagen über lokale Effekte nur sehr eingeschränkt möglich.

## Wärmewirkungen

Es ist allgemein bekannt, dass Mikrowellen erwärmende Wirkung auf wasserhaltige Strukturen haben. Die Wassermoleküle schwingen dabei wie Dipole im Wechselfeld und erzeugen deshalb Wärme (Braun'sche Molekularbewegung). Der Mensch erzeugt selbst Wärme, die aus den verschiedenen Stoffwechselvorgängen stammt. So hat der Skelettmuskel unter optimalen Bedingungen einen Wirkungsgrad von maximal 33 %, d. h. 2/3 der für die Kontraktionsarbeit verbrauchten Energie (z. B. Muskelglykogen) wird als Wärme frei. Diese wird durch Abstrahlung, Ableitung und Verdunstung von Schweiß nach außen abgegeben. Der menschliche Körper ist homoiotherm, er ist also in der Lage, Wärme so geregelt abzugeben, dass er seine Körperkerntemperatur auf 37 °C konstant halten kann. Dabei kann der Körper bei Arbeit bis zu 5000 Kcal pro Tag abgeben. Im Ruhestand sind dies nur 1600 Kcal. Der Mensch kann also erhebliche Wärmezufuhr verkraften. Unsere Grenzwerte muten ihm weniger als 1 % davon zu und das liegt knapp unter der Grenze der Bemerkbarkeit. Obwohl einige Organe, wie z. B. das Auge, wegen geringer Durchblutung schlechter gekühlt werden können, ist hier eine schädliche Wärmewirkung nur unter Extrembedingungen bekannt. Hier denke man an den Glasbläserstar (Linsentrübung bei Glasbläsern). Auch wenn bekannt ist, dass häufige Erhitzung, etwa der Speiseröhre, zu Krebs führen kann, sind die zugelassenen Wärmeeinstrahlungen nicht in der Lage, die nötige Erwärmung zu erzeugen.

## Athermische Wirkungen

Es gilt auch bei Kritikern von elektromagnetischen Expositionen als akzeptiert, dass die heutigen Grenzwerte sicher vor Gesundheitsrisiken durch Wärmewirkungen (thermische Wirkungen) schützen. Somit konzentrieren sich die derzeitige öffentliche Diskussion und die Forschung auf so genannte athermische oder nichtthermische Effekte der Hochfrequenzfelder. Ein primärer Wirkmechanismus für athermische Effekte konnte bisher nicht schlüssig aufgezeigt oder gar durch Experimente belegt werden. In diesem Zusammenhang wird die Pulsung häufig als wichtiger Expositionsfaktor eingestuft. Wissenschaftlich belastbares Datenmaterial aus einer systematischen Analyse der Literatur zur Stützung dieser These wurde aber bisher nicht vorgelegt. In Ermangelung einer sehr exakten Definition von athermischen oder nichtthermischen Wirkungen werden hierunter jene Effekte gefasst, die sich nicht mit einer allgemeinen Erwärmung im biologischen System, besonders des enthaltenen Wassers erklären lassen. Allerdings konnte bisher kein athermischer Effekt in mehreren Versuchen systematisch und konsistent reproduziert werden.

## Ionenverschiebungen im Feld

Alle Stoffwechselforgänge im Zellgewebe sind mit dem Transfer von Ionen oder Radikalen verbunden. Mindestens für kurze Zeit entstehen also im Körper geladene Teilchen, die im elektrischen Feld bewegt werden. Allerdings sind dazu Feldstärken notwendig, die ausreichend hohe Körperströme erzeugen. Diese können dann Ionen so verschieben, dass Stoffwechselforgänge – z. B. die Energiegewinnung aus Zucker – nicht mehr ablaufen können. Schon in den fünfziger Jahren hat man bei Einzellern die Unfähigkeit zur Teilung unter starker elektrischer Feldeinwirkung beobachtet. Dabei ist eine Wirkung prinzipiell verschieden, ob Gleichfelder, niederfrequente Wechselfelder oder Hochfrequenzfelder einwirken. Die im Gleichfeld sehr effektiven Veränderungen werden medizinisch, z. B. bei der Iontophoresetherapie, angewandt. Hochfrequenzfelder sind wegen der kurzen Periodendauer einer Halbwelle nicht in der Lage, Nettoverschiebungen zu verursachen. Auch wenn man Nichtlinearität

an den Zellmembranen im Sinne von Gleichrichtereffekten annimmt, was sehr wohl bei niederen Frequenzen bis zu einigen KHz zu beobachten ist, sind solche Prozesse der Ionenverschiebung ab dem MHz-Bereich unbekannt.

## Reizeffekte

Aus dem niederfrequenten Bereich sind Reizwirkungen auf Nerven, Muskeln und Sinnesorgane (z. B. Elektrophosphene am Auge) bekannt. Sie sind von 0 bis 30 kHz beschrieben. Allerdings nur für sehr hohe Feldstärken, die im 50 Hz-Bereich bis an die Durchschlagungsgrenze reichen. Es sind dazu Körperstromdichten von einigen mA/cm<sup>2</sup> nötig. Dies kann besonders für den Herzmuskel gefährlich sein, wenn dadurch das tödliche Herzkammerflimmern ausgelöst wird.

Maßgebend für diese Reizeffekte sind Membraneigenschaften, wie sie für erregbare Membranen bei Muskel, Nerv und Sinnesorganen, charakteristisch sind. Diese besitzen Proteinmoleküle, die bei einer bestimmten elektrischen Spannungsdifferenz zwischen extrazellulär und intrazellulär ihre Molekülstruktur so verändern, dass sie für bestimmte Ionen z. B. Na<sup>+</sup>- und K<sup>+</sup>-Ionen durchlässig werden und ein elektrisches Aktionspotential generieren. Dieses Aktionspotential wird dann zum Selbstläufer und gibt die Erregung an benachbarte Membranabschnitte weiter. Wiederum muss betont werden, dass die Proteinmolekülstruktur massebehafet ist und nicht beliebig schnell ihre Konformation verändern kann. Hochfrequente Felder sind normalerweise nicht in der Lage, Erregungen auszulösen. Nur vereinzelt traten in Studien Reizwirkungen durch kurze starke Hochfrequenzimpulse auf. Diese konnten jedoch bisher immer auf die bereits bekannten Effekte Wärmewirkung oder elektromagnetischer Durchschlag des Mediums zurückgeführt werden. So sind neuerdings aus den USA schmerzauslösende Effekte durch starke Radarimpulse (Painbeam, Verwendung als nichttödliche Waffe) bekannt geworden. Diese könnten als reizauslösend bezeichnet werden, bei genauerem Hinsehen geht der Effekt aber auf eine extrem kurze Erwärmung zurück, die einen Hitzeschmerz auslöst.

### Krebsrisiko

Krebspromotion oder -kopromotion ist eine der am häufigsten genannten Befürchtungen über die Wirkung von elektromagnetischen Feldern und Radarstrahlung allgemein. Sehr oft wird Leukämie (krebsartige Vermehrung der weißen Blutkörperchen) und Krebsstod als Folge von Radarstrahlung zitiert. Dies ist aber eine Extrapolation aus der Wirkung ionisierender Strahlung ohne belastbare Unterstützung aus Untersuchungen mit nichtionisierenden Feldern. Untersuchungen zur Mortalität von Radarmechanikern (**David et al 2002**) haben keinen Unterschied zur Sterblichkeit von anderen Mechanikern bei der Bundeswehr gezeigt. Nach **Forstreuter** (2005/06) unterscheidet sich das Auftreten verschiedener Krebsarten bei den Radarmechanikern nicht wesentlich von denen bei anderen Mechanikern.

### Mikrowellenhören

Von verschiedenen Seiten wird glaubhaft berichtet, dass starke gepulste Mikrowellenfelder Hörsensationen auslösen. Diese Höreffekte treten vornehmlich bei jungen Menschen auf, wohl weil sie mehr im Hochtonbereich wahrgenommen werden. Dies ist konsistent mit der Tatsache, dass ältere Menschen im Rahmen der Presbyakusis audiometrisch Hochtonverluste aufweisen.

In der Fachwelt wird dieses Phänomen als nichtthermischer Effekt bezeichnet. Man geht davon aus, dass die Mikrowellen-Pulse über eine pulssynchrone Erwärmung des Schädelinhalts im Rahmen eines thermoelastischen Effekts Schwingungen auslösen, die sich dann auf Gehirnstrukturen übertragen und dort auf noch nicht geklärte Weise zu Erregungen führen. Wenn diese Erregung im Hörzentrum des Gehirns erfolgt, dann führe dies zu akustischer Wahrnehmung.

Richtig an dieser Hypothese ist die Existenz des thermoelastischen Effekts, der zur Schwingung der Schädelkalotte führt. Der daraus resultierende Mechanismus des Knochenleitungshörens ist schon lange bei den Audiologen bekannt. Dabei überträgt sich die Schwingung auf das Felsenbein, einem Knochenteil des Schädels, in dem die Schnecke des Innenohres liegt. Wird die Hörschnecke, auch Kochlea genannt,





im Rhythmus der Schädelschwingung komprimiert und entspannt, dann überträgt sich diese Schwingung auf die beiden Flüssigkeitsgänge. Diese sind durch die elastische Trennmembran (Basilarmembran) voneinander getrennt. Der obere Gang (Scala vestibuli) ist an das Gehörknöchelchensystem gekoppelt und kann dem Druck nicht so gut ausweichen wie der untere Gang (Scala tympani). Dieser ist durch eine dünne Membran (rundes Fenster) an den Luftraum des Mittelohres gekoppelt, so dass der Druckausgleich erleichtert ist. Dadurch wird die Innenohrflüssigkeit (Perilymphe) im Rhythmus der Schwingungen ungleichmäßig verschoben, was zur Auslenkung der Basilarmembran führt. Dadurch werden die akustischen Sinnesrezeptoren (Haarzellen) wie beim normalen Hörgang bewegt und damit erregt. Damit lässt sich das Phänomen des Mikrowellenhörens auf den thermoelastischen Effekt und den normalen physiologischen Vorgang des Knochenleitungshörens zurückführen. Es handelt sich daher streng genommen nicht um eine athermische Wirkung.

## Elektroporation

Neuerdings erscheinen Berichte aus der Pharmakologie, wonach starke ultrakurze Hoch- oder Niederfrequenzimpulse das Eindringen von Pharmaka in lebendige Zellen begünstigen. Die Wirkhypothese geht

davon aus, dass die aus einer makroskopisch stabilen Phospholipiddoppelschicht bestehenden Zellmembranen elektrisch durchbrochen werden. Grundlage für die Porenbildung ist die örtlich und zeitlich im Mikrobereich instabile Verteilung der Phospholipide in der Membran, die der hohen elektrischen Ladung der HF-Feld-Schwingungen nicht standhalten und durchbrechen. Durch die so entstandenen Poren können dann Stoffe leichter diffundieren. Der Effekt tritt aber nur bei höchsten Feldstärken und definierten Pulszeiten auf, die im Bereich der Radarexposition nicht auftreten.

## Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass auch gepulste Hochfrequenzfelder im Mikrowellenbereich thermische Wirkungen entfalten, wenn sie genügend Energie aufweisen. Dieser Effekt scheint sich gegenüber dem reinen Effektivwert noch zu verstärken, wenn das Tastverhältnis Spitze zu Pause ungünstig ist, was allerdings bei der Festlegung der Grenzwerte berücksichtigt wurde. Die Förderung von Krebserkrankungen wird häufig dem Radar zugesprochen, ohne dass jedoch diese Hypothese durch belastbares Datenmaterial gestützt werden kann. Der scheinbare Zusammenhang resultiert aus der Vermischung von Expositionen (ionisierend-nichtionisierend), ihrem prinzipiellem Auftreten bei der Erzeugung des Radarsignals und ihrem realen Beitrag zu der Expositionssituation des Einzelnen. Im Rahmen von Gerichtsverhandlungen über Versorgungsschäden durch Radar wird immer wieder auch auf die Parallelität zur Auslösung von Elektrosensibilität in der Kommunikationstechnik hingewiesen. Hier wie dort gibt es aber, wie ausführliche Untersuchungen gezeigt haben, kein einheitliches und charakteristisches Krankheitsbild zur Elektrosensibilität. Inwieweit schwache gepulste Felder andere als nur thermische Effekte haben, ist weiterhin Inhalt von Untersuchungen, woraus aber nicht der Schluss gezogen werden kann, dass die Tatsache ihrer Erforschung schon ihre Existenz belegt.

*Prof. Dr. med. Eduard David, Dr. rer. nat. Andreas Wojtysiak,  
Universität Witten/Herdecke Forschungsgesellschaft,  
Zentrum für Elektropathologie*

## Ergänzende Literatur

- Bernhardt, J.H. (2002): Gesundheitliche Aspekte niederfrequenter Felder der Stromversorgung, Dtsch Ärztebl 2002, 99: A: S. 1898 - 1910.
- Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik BGFE (2001): BG-Regeln, BGR B11, Elektromagnetische Felder.
- Buddecke, E. (1980): Grundriß der Biochemie. Lehrbuch für Studierende der Medizin, Zahnmedizin und Naturwissenschaften, Walter de Gruyter Berlin - New York, S. 371 - 372.
- David, E.; an der Heiden, W.U.; Reißerweber, J.; Pfothenhauer, M. (1991): „Epidemiologische Studien zu den Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf den Menschen“, Dtsch Ärztebl - Ärztliche Mitteilungen, 88. Jahrgang/Heft 10 A: S. 753 - 758.
- David, E.; Reißerweber, J.; Wojtysiak, A. : Untersuchungen über die Erfassung des gesundheitlichen Risikos von Bundeswehrangehörigen im Arbeitsbereich Radar im Zeitraum 1956-1985 (Studie zur Analyse der Mortalität), Zentrum für Elektropathologie der Universität Witten/Herdecke
- David, E.; Reißerweber, J.; Wojtysiak, A.; Pfothenhauer, M. (2002): Das Phänomen der Elektrosensibilität, Umweltmed Forsch Prax 7 (1), S. 7 - 16.
- Forstreuter, C.(2005/06): Untersuchung zu Art und Häufigkeit von Neoplasien bei Radarmechnikern der deutschen Bundeswehr, Dissertation, Universität Witten/Herdecke
- Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (2000): Extrapulmonale Krebserkrankungen Wismut am 12. Februar 1998 in Hennef, BK-Report, Berufskrankheiten-Forum (Jacobi-Studien II und III), HVBG Sankt Augustin, ISBN: 3-88383-536-6.
- International Radiation Protection Association (IRPA) (1990): Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields, Health Phys. 58, S. 113 - 122.
- Liboff, A.R.; McLeod B.R.; Smith S.D. (1990): Ion Cyclotron Resonance Effects of ELF Fields in Biological Systems, in: Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer, edited by Bary W. Wilson, Richard G. Stevens and Larry E. Anderson, Battelle Press Columbus, Richland, for Library of Congress.
- Peier, D. (1990): Grundlagen der Feldtheorie, in: Haubrich, Hans-Jürgen: Sicherheit im elektromagnetischen Umfeld, Berlin - Offenbach: VdE-Verlag, ISBN 3 - 8007-1700-X, S. 7 - 21.
- Polk, C. (1986): CRC-Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, C. Polk and E. Postow, eds. Boca Raton, Florida.
- Reilly, J.P. (1992): Electrical Stimulation and Electropathology, with chapters contributed by Hermann Antoni, Cambridge University Press for Library of Congress.
- Reißerweber, J.; David, E.; Pfothenhauer, M. (1992): Untersuchungen über psychologische Aspekte bei der Wahrnehmung von Magnetophosphenen und Elektrophosphenen, Biomed. Technik 37, S. 42 - 45.
- Reiter, R.J.; Lerchl, A. (1992): Regulation of Mammalian Pineal Melatonin Production by the Electromagnetic Spectrum, in: Melatonin, Biosynthesis, Physiological Effects, and Clinical Applications, edited by Hing-Sing Yu and Russel J. Reiter, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, S. 108 - 127.
- Schröder, C.; Friedrich, K.; Butz, M. (1999): Uranerzbergbau und Berufsgenossenschaften: Das Berufskrankheitengeschehen der SAG/SDAG Wismut.
- Seidel HJ (1995): Umweltmedizin, Fakten und Informationen für einen verantwortungsvollen Umgang mit Umwelt und menschlicher Gesundheit, Georg Thieme Verlag Stuttgart – New York 1996.
- Sommer, Th. (2001): Die Bundeswehr und ihr Umgang mit Gefährdungen und Gefahrenstoffen, Bericht des Arbeitsstabes.