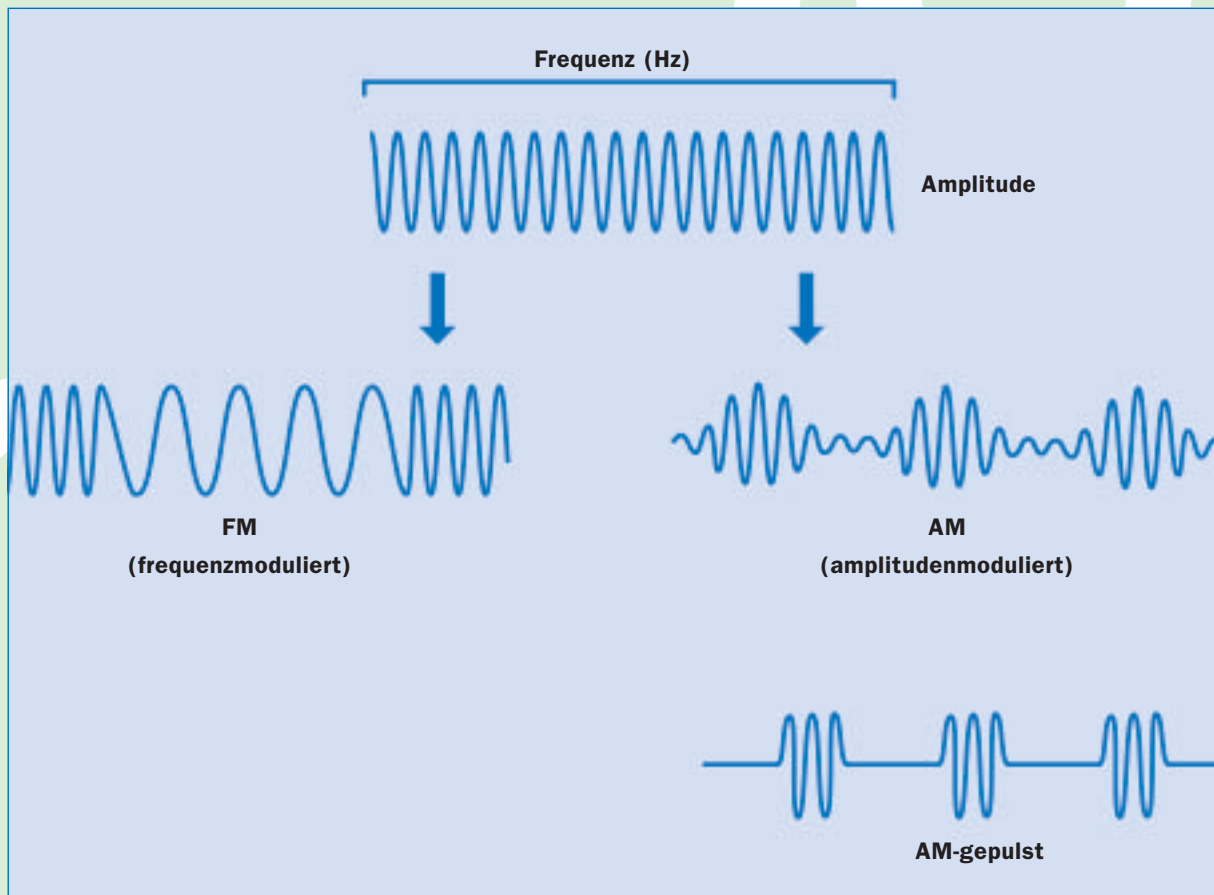


# Spielen Modulation bei bio hochfrequen

Die Zusammenfassung einer Stellungnahme aus Sicht der WHO  
(K. R. Foster und M.H. Repacholi, Radiation Research 162,  
219-225, 2004)

Roland Glaser



Frequenzmodulierte (FM) und amplitudenmodulierte (AM) Funkwellen

# en eine Rolle logischen Effekten ter Felder?

Ogleich die meisten Hochfrequenzfelder, denen die Bevölkerung derzeit durch verschiedene technische Einrichtungen ausgesetzt ist, moduliert oder gepulst sind, bezieht sich nur ein kleiner Teil der Untersuchungen über mögliche biologische Feldeffekte auf solche Modulationen. Auch die Grenzwerte, empfohlen von internationalen Expertenkommissionen, wie der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) oder dem Institut für Elektro- und Elektronik-Ingenieure (IEEE), zumeist vom nationalen Gesetzgeber übernommen und in den meisten Ländern gültig, berücksichtigen dieses Problem nicht. Lediglich für extrem kurze Pulse hoher Intensität, wie sie im militärischen Bereich verwendet werden, sind Sonderregelungen definiert.

Entsprechend der Empfehlung des Internationalen EMF-Projektes der WHO, in Zusammenarbeit mit der ICNIRP, ist für die Jahre 2006 bis 2007 eine umfassende Risikoabschätzung möglicher Gesundheitsgefährdungen von Hochfrequenzfeldern geplant. Diese soll auch das Problem der Modulationen einbeziehen. Ohne den Ergebnissen dieser Studie vorzugreifen, fassten der Physiker Kenneth R. Foster und der Biologe Michael H. Repacholi einige Gedanken dazu zusammen. K. Foster (University of Pennsylvania, USA), ehemaliger Mitarbeiter von Herman Schwan, dem Altmeister auf dem Gebiet der Forschung über biologische Feldeffekte, hat sich als Experte auf diesem Gebiet längst einen Namen gemacht. Der Australier Michael H. Repacholi, den meisten bekannt durch die 1997 publizierten Experimente an gen-manipulierten Mäusen, ist seit vielen Jahren Mitarbeiter der WHO in Genf.

Im Mittelpunkt dieser Erörterungen steht die Frage nach einer sinnvollen Forschungsstrategie. Welchen Arbeitshypothesen kann man folgen? Welchen experimentellen Hinweisen sollte man nachgehen? Wie ist der begrenzte Etat der Forschungsmittel am effektivsten einzusetzen? – Es muss immerhin beachtet

werden, dass experimentelle Forschung sehr teuer ist. Will man sicher sein, dass die ermittelten Aussagen einen hohen Grad an Zuverlässigkeit aufweisen, dann sind große Versuchsserien erforderlich. Geht man von der Arbeitshypothese aus, dass Hochfrequenzfelder spezifisch durch ihre Modulationen wirken, dann eröffnet sich eine ungeheure Vielzahl von Varianten. Die Notwendigkeit, für jede dieser Varianten eine Dosis-Effekt-Kurve der Wirkung aufzunehmen, steigert die Anzahl erforderlicher Experimente noch weiter. Ohne ein gutes Konzept ist deshalb eine effektive Forschung auf diesem Gebiet gar nicht möglich.

Was bedeutet eigentlich Modulation und welche Arten von Modulationen sind in der Technik derzeit gebräuchlich? Prinzipiell geht es darum, einem sinusförmigen Trägersignal, im Mobilfunk sind das etwa 900 bzw. 1800 MHz, eine niederfrequente Information aufzuprägen, etwa eine Schwingung im Frequenzbereich des hörbaren Schalles. Dies ist prinzipiell dadurch möglich, indem man die Amplitude der Trägerschwingung im Takt der Niederfrequenz variiert, man spricht dann von Amplitudenmodulation. Andererseits kann man auch die Hochfrequenz selbst im Rhythmus und Betrag der Niederfrequenz variieren. Diese bei der Kodierung der Mobilfunk-Signale verwendete Technik wird Frequenzmodulation genannt. Wenn auf diese Weise zum Beispiel ein 10 kHz Signal einem 900 MHz-Träger aufgeprägt wird, dann schwingt dessen Frequenz folglich von 899,99 bis 900,01 Hz, also lediglich um etwa 0,01 Promille.

Es ist schwer vorstellbar, dass diese geringen Schwankungen der Trägerfrequenz eine spezifische biologische Wirkung haben könnten. Zusätzlich kommt jedoch beim Mobilfunk die Pulsierung des Signals hinzu. Ein gepulstes Hochfrequenzsignal kann man sich vorstellen, wie eine spezielle Art der Amplitudenmodulation. Es gleicht der Überlagerung einer hochfrequenten Sinus-Schwingung durch eine niederfrequen-

te Pulsfolge. Im europäischen GSM-System werden Pulse einer Länge von 0,577 Millisekunden in einer Folge von 217 Hz gesendet.

Im Unterschied zur Frequenzmodulation ist eine spezifische biologische Wirkung der Amplitudenmodulation, besonders natürlich aber der Pulsierung, prinzipiell vorstellbar. Wie könnte dies erfolgen? Eine Möglichkeit wäre eine Demodulation im biologischen System, welches zum Auftreten eines niederfrequenten Feldes führen würde. Dies setzt bestimmte nichtlineare Wechselwirkungen voraus, Wechselwirkungen mit Vorgängen, die schnell genug wären, auf die hochfrequenten Trägerfrequenzen zu reagieren. Es sind allerdings keine plausiblen biophysikalischen Vorgänge dieser Art bekannt, insbesondere wenn man die geringen Intensitäten der Felder berücksichtigt. Demnach ist nicht vorstellbar, und auch experimentell nicht nachgewiesen, dass niederfrequente Felder als Resultat einer Demodulation von Hochfrequenzfeldern in biologischen Systemen auftreten. Niederfrequente Felder könnten höchstens direkt aus dem Betriebssystem des Handys stammen, diese sind jedoch nachweislich außerordentlich schwach.

Wenn auch nicht vorstellbar ist, dass amplitudenmodulierte oder gepulste Hochfrequenzfelder im Körper zu niederfrequenten Feldern demoduliert werden, so können sie doch andersartige Effekte in niederfrequenter Folge erzeugen. So ist zum Beispiel seit langem das Hören niederfrequent gepulster starker Hochfrequenzfelder bekannt. Treffen starke Radarpulse das Gehirn, so sind sie mitunter als eine Art Klicken zu hören. Der Mechanismus dieses Vorganges ist klar: Im Takt der eintreffenden Wellenpakete erfolgt eine Erwärmung des Gewebes, gefolgt von einer periodischen Ausdehnung. Dies führt zu mechanischen Schwingungen im Kopf, die als Schall wahrgenommen werden. Die Pulse eines Handys reichen dafür allerdings nicht aus.

Welche andere Möglichkeiten gäbe es, eine Spezifik modulierter Hochfrequenzfelder zu postulieren? In den 70-er und 80-er Jahren kursierte die von dem inzwischen in hohem Alter verstorbenen deutschen Physiker H. Fröhlich formulierte Theorie kohärenter Oszillationen (siehe z. B. Fröhlich und Kremer 1983). Diese postulierte, dass sich in Proteinen, die im star-

ken Gleichfeld der Zellmembran elektrisch ausgerichtet sind und sich darüber hinaus durch ihre Funktion im ausgelenkten thermodynamischen Gleichgewicht befinden, selbst unter dem Einfluss schwacher Felder noch Resonanzen aufschaukeln könnten, die ihre Funktion periodisch beeinflussen. Obgleich auch heute immer wieder zitiert, ist jedoch spätestens seit der Arbeit von R. K. Adair (2002) klar, dass dieser Mechanismus nicht funktioniert, berücksichtigt man die reale Viskosität biologischen Materials. Die Dämpfung des allgegenwärtigen Wassers verhindert jede Resonanzerscheinung dieser Art.

Verschiedentlich wurden auch Modelle postuliert, die eine spezielle Wirksamkeit niederfrequenter Modulationen auf das System des Kalzium-Transportes in Zellen, insbesondere in Nervenzellen, vorsah. Eine diesbezüglich immer wieder zitierte Untersuchung wurde von S. M. Bawin et al. in den Jahren 1973 bis 78 publiziert. In dieser wird die Kalzium-Ausschüttung im Hirn von Hühnern gemessen, die amplitudenmodulierten 147 MHz-Feldern ausgesetzt waren. Bei Variation der Modulationsfrequenz von 1 bis 35 Hz konnte gezeigt werden, dass ein Maximum von 20 % der Flux-Steigerung bei 16 Hz auftritt. Diese Publikation fand außerordentliche Beachtung insbesondere auch deshalb, weil in dem Telekommunikations-System TETRA, das in Großbritannien und anderen Ländern verwendet wird, die 17 Hz-Komponente eine besondere Rolle spielt. So gab es in dem vergangenen Vierteljahrhundert seit dieser Publikation viele Versuche, diese Ergebnisse zu reproduzieren, was jedoch nie gelang. Zudem müssten diese Effekte, träten sie denn tatsächlich auf, gravierende physiologische Auswirkungen auf die Hirnfunktion haben. Solches wurde aber nie beobachtet. Auch in bezug auf andere physiologische Parameter konnten bisher keine eindeutigen Ergebnisse erbracht werden, die auf eine spezifische Wirkung der Modulationsart schließen lassen. Ausgenommen hiervon sind Felder mit extrem kurzen und starken Impulsen im militärischen Bereich, deren Parameter jedoch völlig andere sind, als sie hier zur Diskussion stehen.

Nachdem das Nationale Komitee für Strahlenschutz der USA (NRPB) im Jahre 2001 bereits aufgrund umfangreicher Literaturstudien die Existenz modulations-

spezifischer Kalzium-Effekte ausgeschlossen hatte, unterstrich es dies in dem folgenden Dokument aus dem Jahre 2003 noch einmal und stellt fest: „...zwei neuere gründliche Studien wurden berücksichtigt, und beide zeigten keinerlei Veränderung der zellulären Konzentration von Kalzium-Ionen – einem empfindlichen Indikator der Zellpathologie – als Folge einer HF-Exposition, auch dann nicht, wenn gepulste Modulation erfolgte. Dies bekräftigt zusätzlich die Zweifel an der Existenz spezifischer Puls-Modulations-Effekte auf Kalziumionen.“ („... two recent well-designed studies have been reviewed and both show no change in the cellular concentration of calcium ions – a sensitive indicator of cell pathology – in response to RF exposure, even when using pulse modulation, thus adding further doubt about the existence of a specific pulse modulation effect on calcium ions.“ Documents of NRPB Board, Chilton, 2001, 2003).

Es ist allerdings zu vermerken, dass doch immer wieder Studien und Publikationen kursieren, welche die Spezifität der Wirkung modulierter Felder für möglich halten (Zwamborn et al. 2003). Insbesondere Arbeiten aus einem Laboratorium in Pushchino bei Moskau berichten von solche Effekten, gewonnen an verschiedenen *in-vivo*- und *in-vitro*-Systemen (z.B.: Konovalov et al. 2001, Bolshakov et al. 2001). Bisher fehlen allerdings Bestätigungen dieser Ergebnisse durch andere Labors.

Wie geht es also weiter? Wie kann Klarheit geschaffen werden, ohne sich in das undurchdringliche Dickicht der unbegrenzten Variationsmöglichkeiten von Modulationsarten und Trägerfrequenzen zu verstricken?

WHO und ICNIRP arbeiten zur Zeit gemeinsam an einer Risikoabschätzung deren Fertigstellung bis zum Jahre 2006 zu erwarten ist, und die es voraussichtlich erlauben wird, Forschungsstrategien genauer zu definieren. Hier werden zunächst einige Gesichtspunkte stichpunktartig festgehalten:

1. Es sind unbedingt Grundlagenuntersuchungen erforderlich. Wenn diese Art der Forschung auch nicht unmittelbar dazu beiträgt, gesundheitliche Risiken zu definieren, so sind doch dadurch Hinweise auf Mechanismen der Wirkung zu erwarten, welche Extrapolationen erlauben und Aussagen über solche Expositionsbedingungen, die noch nicht ausführlich untersucht

wurden. Sicherheit in den praktischen Aussagen sind nur durch theoretische Klarheit zu gewinnen.

2. Toxikologische Untersuchungen sollten sich auf diejenigen Expositionsbedingungen konzentrieren, denen der größte Teil der Bevölkerung ausgesetzt ist. Ein Teil der Forschungskapazität ist den technischen Expositionsbedingungen zu widmen, die in absehbarer Zukunft zu erwarten sind.

3. Die Variation von Modulationsparametern ist von großem Interesse. Dies darf jedoch nicht davon ablenken, bei gefundenen Effekten nach dem Dosis-Wirkungs-Verhalten zu forschen. Die Korrelation von Effekt zum SAR-Wert ist hierfür immer noch die geeignetste Methode.

4. Die außerordentlich breite Möglichkeit der Variation von Modulationsfrequenz, Pulsations-Dauer, -Frequenz und -Art sollte dahingehend überprüft werden, ob unterschiedliche Effekte bei gleichem SAR-Wert auftreten.

5. Es ist unumgänglich die ökonomische Seite dieser Forschung zu berücksichtigen. Wenn überhaupt, dann sind bei diesen Untersuchungen lediglich geringe Effekte zu erwarten. Sollen diese den tatsächlich erforderlichen Grad an Signifikanz erreichen, dann sind große Versuchsserien mit ausgefeilter Technik sowohl bezüglich der Exposition als auch der Untersuchungsmethoden einzusetzen. Dies verursacht hohe Kosten, was bei der Begrenztheit der Mittel gleichzeitig eine Limitierung der Versuchsparameter bedeutet. Es hat keinen Zweck eine Vielzahl von Modulationsarten etc. zu testen, auf Kosten der Anzahl der Wiederholungen der Experimente oder der Anzahl der Versuchstiere. Das Resultat wären letztlich unsichere und damit unbrauchbare Aussagen. Solche Untersuchungen haben bisher unter Verschwendung von Forschungsmitteln mehr Verwirrung als Klarheit erbracht. Die Kalzium-Experimente sind ein warnendes Beispiel dafür.

Die Schlussfolgerungen der Autoren dieses Artikels seien wörtlich wiedergegeben: „Eines ist klar. Sollte sich erweisen, dass die Modulation der hochfrequenten Felder eine biologische Bedeutung hat (abgesehen von einige Sonderfällen, wie den intensiven Pulsen), dann müssen die den geltenden Grenzwerten für hochfrequente Felder zugrunde liegenden Prinzipien revidiert werden. Aus gegenwärtiger Sicht ist dies

nicht der Fall. Die Publikation neuer Daten zu diesem Problem ist nicht kurzfristig zu erwarten und es ist unwahrscheinlich, dass sie endgültig sein werden. Das Thema „Modulation“ bezüglich der Unbedenklichkeit der Telekommunikationssysteme, wird sich für die Bevölkerung wohl nicht so leicht klären lassen.“

*(„One thing is clear: If modulation is biologically significant (apart from a few special cases such as intense pulses), the entire rationale for RF exposure guidelines would need revision. Present evidence does not indicate that this is the case. While more data will be published that bear on this issue, they will not be coming in quickly and they are unlikely to be definitive. Given public concerns about the safety of wireless communications systems, the issue of “modulation” will not be easily settled.“)*

## In diesem Bericht zitierte Literatur:

- Adair RK: Vibrational Resonances in biological systems at microwave frequencies. *Biophys. J.* **82** (2002) 1147-1152.
- Advisory Group on Non-ionising Radiation: Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields. Documents of National Radiological Protection Board, Chilton (2003).
- Advisory Group on Non-ionising Radiation: Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA). National Radiological Protection Board, Chilton (2001).
- Bawin SM, Adey WR, Sabbot IM: Ionic factors in release of <sup>45</sup>Ca<sup>2+</sup> from chicken cerebral tissue by electromagnetic fields. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **75** (1978) 6314-6318.
- Bawin SM, Gavalas-Medici RJ, Adey WR: Effects of modulated VHF-fields on specific brain rhythms in cats. *Brain Res.* **58** (1973) 365-384.
- Bawin SM, Kaczmarek LK, Adey WR: Effects of modulated VHF-fields on the central nervous system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **247** (1975) 74-81.
- Bolshakov MA, Kniazeva IR, Lindt TA, Evdokimov EV: Effect of low-frequency pulse-modulated 460 MHz electromagnetic irradiation on *Drosophila* embryos. *Radiats. Biol. Radioecol.* **41** (2001) 399-402.
- Foster KR, Repacholi MH: Biological effects of radiofrequency fields: does modulation matter? *Radiation Research* **162** (2004) 219-225.
- Fröhlich H, Kremer F (Hrsg.): *Coherent Excitations in Biological Systems*. Springer Verlag, Berlin (1983)
- Konovalov VF, Serikov IS: Delayed effects of modulated and non-modulated electromagnetic field on epileptiform activity in rats. *Radiats. Biol. Radioecol.* **41** (2001) 207-209.
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris A: Lymphomas in E:Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* **147** (1997) 631-640.
- Zwarnborn PM, Vossen SHJA, van Leersum BJAM, Noonan D, Finnie J, Harris AWI: Effects of global communication system radio-frequency fields on well-being and cognitive function of human subjects with and without subjective complaints. TNO Report FEL-03-C148, Netherlands Organization for Applied Scientific Research, The Hague (2003)

*Dr. Roland Glaser war Leiter des Instituts für Biophysik an der Humboldt-Universität Berlin.*