

Vergleich der digitalen Modula mit den Synchronimp

Bernhard Liesenkötter

Zusammenfassung

In der Diskussion um die Schädlichkeit von Mobilfunkstrahlen wird betont, dass vor allem die impulsförmig modulierte Hochfrequenz des GSM-Standards biologisch wirksam sein soll. Die bekanntlich relativ hohen Feldstärken von Rundfunk und Fernsehen seien dagegen nicht so relevant. In diesem Beitrag werden die Impulsflankensteilheiten der GSM-Signale mit denen der Fernsehsignale verglichen. Das Ergebnis zeigt, dass die meisten Spektralanteile der GSM-Impulse auch im Spektrum der Fernseh-Synchronimpulse enthalten sind, letztere weisen jedoch eine um ein Vielfaches höhere Impulsflankensteilheit auf.

Eine Berücksichtigung der landesweit herrschenden Strahlungsintensitäten von Mobilfunk und Fernsehen kann zur Aussage führen, dass die seit über 50 Jahren weltweit eingeführte Fernseh-Technik die Behauptung der biologischen Schädlichkeit der Impulsflankensteilheit digital modulierter Hochfrequenz widerlegt.

1. Häufig behauptete Beeinträchtigung der Gesundheit durch steilflankige Impulse

In vielen deutschsprachigen Aufsätzen und in im Internet verbreiteten Ansichten wird eine mögliche Gesundheitsgefahr durch Mobilfunk begründet unter anderem mit Berichten über messbare Effekte, nach denen eine Mobilfunk-Exposition beispielsweise das EEG des Menschen deutlich beeinflusst. Die gesundheitliche Relevanz solcher Effekte ist jedoch noch unklar, auch konnte bisher noch keine Schädlichkeit des vermuteten Einflusses zweifelsfrei ermittelt werden.

Auf eine immer wieder betonte Schlüsselaussage in diesen Aufsätzen, dass vor allem die digitale pulsartige Modulation der Mobilfunkstrahlung die Gesundheitsgefährdung ausmache, soll in diesem Beitrag genauer eingegangen werden.

Eine vor allem von Mobilfunkgegnern häufig zitierte Aussage von [1] betont, dass nicht die Intensität unmodulierter oder herkömmlicher überwiegend analog modulierter Hochfrequenzaussendungen (im VHF-Bereich und darüber) die biologischen Abläufe im lebenden Körper beeinflusst, sondern die Steilheit der Impulsflanken von digital modulierten Signalen, wie sie in den Mobilfunkgeräten nach GSM-Standard verwendet werden.

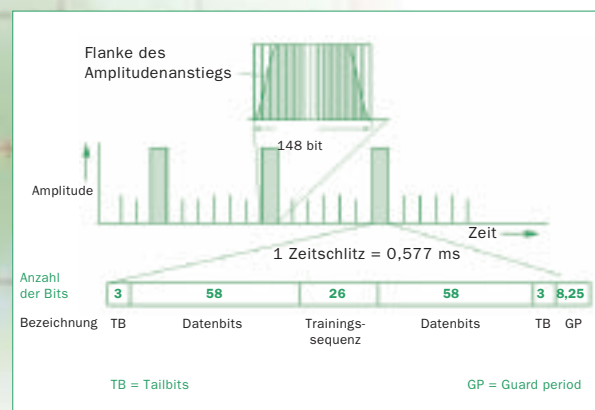


Abbildung 1: Struktur eines „normal burst“ mit Darstellung der Amplitudensteilheit (nach [2])

tion des GSM-Mobilfunks ulsen von TV-Sendern

Zitat aus [1]: „Es muss festgehalten werden, dass das biologische System auf die Änderung pro Zeit reagiert und die Periodizität dieser Signaländerung eine biologische Relevanz besitzt“.

Der dort gebrachte Hinweis auf die vergleichsweise Harmlosigkeit von TV-Signalen bringt bei der nun folgenden genaueren Betrachtung etwas mehr – für viele vielleicht verblüffende – Klarheit in die Diskussion um die mögliche Schädlichkeit der Mobilfunk-Aussendungen.

2. Technische Grundlagen und Vergleich zwischen Fernseh- und Mobilfunk-Aussendungen

Es werden im folgenden die bei Fernsehsendern und bei GSM-Mobilfunkgeräten vorkommenden Flankenteilheiten in der Modulation der Hochfrequenzsignale untersucht und dargestellt. Die Signalinhalte von Sendungen werden durch verschiedenartige Modulationen auf hochfrequente Träger aufgeprägt. Die üblicherweise als analog bezeichnete Modulation der TV-Sender ist eine Kombination aus analoger Amplitudenmodulation (Bildinhalt) und Frequenzmodulation (Toninhalt) sowie einer Impulsübertragung zur Bildsynchronisation. Die im folgenden genauer beschriebene digitale Modulation der Mobilfunkgeräte ist kom-

binert aus einer kontinuierlichen Phasenmodulation und einer Amplitudentastung (Ein-Aus-Schalten). Die Synchron-Impulse des TV-Signals können daher mit den Impulsen der amplitudengetasteten Mobilfunkstrahlung gut verglichen werden.

2.1 Analyse der Mobilfunkstrahlung

Die für den Benutzer stärkste und wegen der streng periodischen Pulsung¹ diskussionswürdige Feldstärke bzw. Strahlungsintensität im Mobilfunkbereich ist die der Mobilstationen (Mobilfunkendgerät, „Handy“). Die Basisstationen dagegen senden meist mehrere Signale in verschiedenen sogenannten Zeitschlitzten aus, so dass die resultierende Strahlung dort keine so deutliche gleichmäßige, periodische Pulsung beinhaltet; obendrein ist die Strahlungsintensität im öffentlich zugänglichen Bereich um die Basisstationen um Größenordnungen niedriger als die der Mobilstationen beim Telefonierenden und in dessen näherer Umgebung (Begleitung, Sitznachbar im öffentlichen Verkehrsmittel usw.).

In Abschnitt 3.3 wird der bezüglich der Pulsung bei einer Basisstation als ungünstig anzusehende Fall nur eines aktiven Zeitschlitzes angenommen, die Signalform entspricht dann der Aussendung einer Mobilstation.

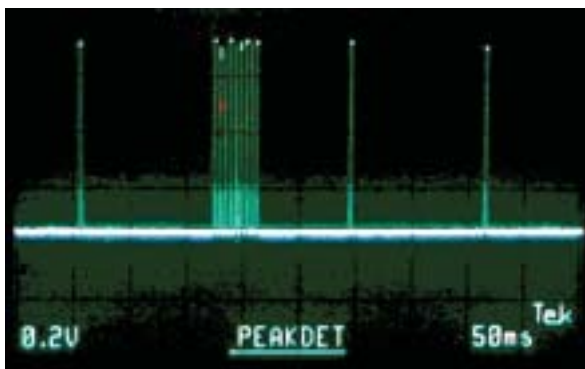


Abbildung 2: Eine gemessene Pulsform der Handy-Abstrahlung beim Zuhören (DTX-Modus, 12 Burst in einer Gesamt-Periode von 480 ms)

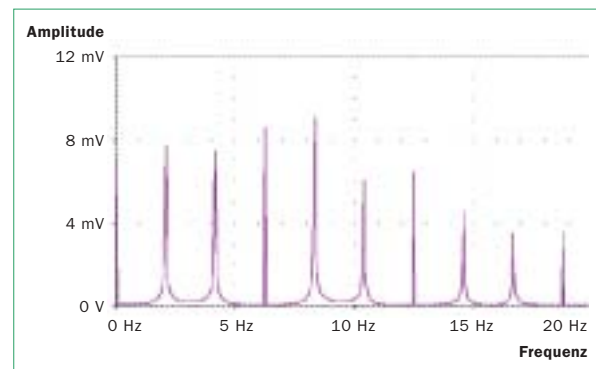


Abbildung 3: Signal-Spektrum der Handy-Aussendung nach Abb. 2 (demodulierter NF-Bereich, unterste Frequenzen)

2.1.1 Struktur der in einem Zeitschlitz gesendeten Signale

Eine Mobilstation sendet gemäß dem GSM-Standard sowohl den Sprachinhalt als auch zusätzliche Informationen zum Verbindungsaufbau und Betrieb als digital modulierte Trägerfrequenz, z.B. bei ca. 900 MHz. Die Modulation erfolgt in einem 4,615-ms-Rhythmus als Pulsfolgen (auch Bursts genannt) mit der Pulsdauer von je 0,577 ms. In der Pause von 4,038 ms zwischen den eigenen Bursts können sieben weitere Mobilstationen auf der gleichen Trägerfrequenz mit der gleichen Basisstation kommunizieren, so dass die Gesamtperiode in 8 Zeitschlitz unterteilt ist. Abb. 1 zeigt die Bursts einer Mobilstation und den Aufbau eines typischen Burst. Allen – teilweise unterschiedlich aufgebauten – Bursts gemeinsam sind die drei „Tailbits“ an Anfang und Ende, die einen Teil der Flankensteilheit des Bursts bestimmen.

Die Struktur eines typischen Bursts ist durch eine GMSK²-Modulation während der Bitfolge und durch eine kontinuierliche Amplitudenänderung von 0 auf Maximum zu Beginn bzw. von Maximum auf 0 am Ende der Bitfolge gekennzeichnet. Diese Amplitudenänderung kann (nach [2]) im Zeitrahmen der genann-

ten 3 Tailbits (das entspricht 11 μ s) erfolgen. Nach der offiziellen Spezifikation ist eine Zeitmaske von max. 28 μ s vorgesehen, die Industrie stellt einen Mittelwert von ca. 18 μ s ein.

2.1.2 Resultierendes Signal-Spektrum der Mobilstation

Aus der Pulsmodulation im 4,6-ms-Takt und einem Tastverhältnis von 1:8 kann die spektrale Verteilung des mit der Trägerwelle übertragenen Signals ermittelt werden (Fourieranalyse). Dabei ergibt sich, dass natürlich nicht nur die häufig zitierte 217-Hz-Schwingung, sondern – nur wenig schwächer – auch bei 434 Hz und 651 Hz Schwingungen auftreten, und dass ebenso noch weitere Spektrallinien vorhanden sind, deren Amplituden erst oberhalb von 1 KHz deutlich unter 50 % der 217-Hz-Amplitude absinken.

Seit einiger Zeit wird von besorgter Seite auch auf eine 8,33-Hz-Pulsung hingewiesen, die dann auftritt, wenn an der Mobilstation dem Gesprächspartner nur zugehört wird (im DTX-Mode). Dieser Effekt beruht darauf, dass keine eigene Sprach-Information übertragen werden muss und die Mobilstation alle 120 ms einige Messwerte überträgt. Dieser sogenannte

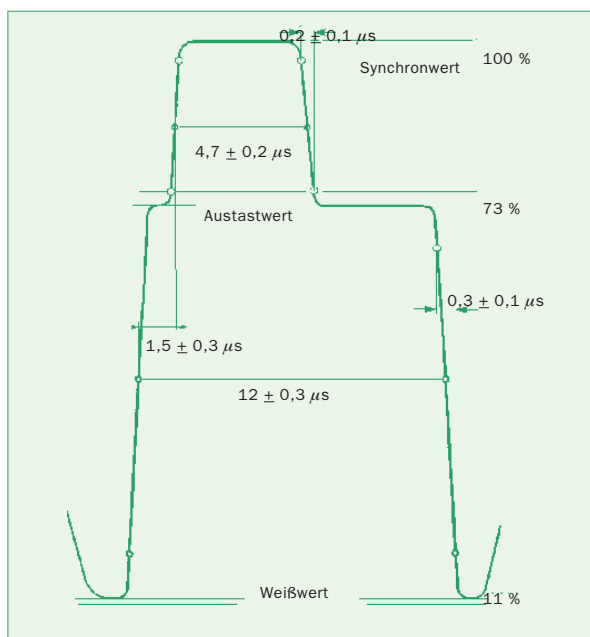


Abbildung 4: Spezifizierte Form der Synchronimpulse (73 % bis 100 %) am Senderausgang eines Fernsehsenders (Pflichtenheft Nr. 5/2.1)

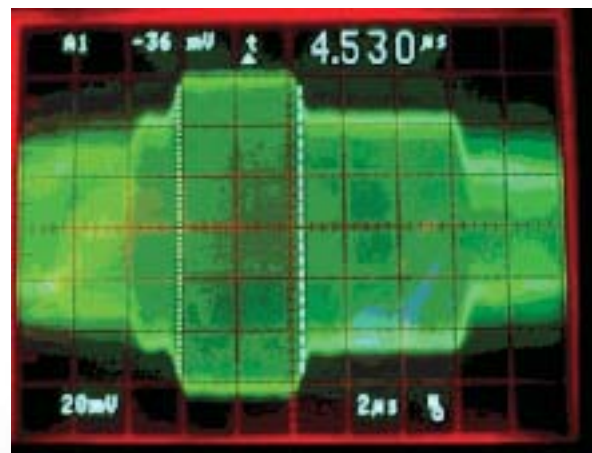


Abbildung 5: Gemessenes TV-Signal an der Empfangsantenne des Rundfunkteilnehmers. Darstellung des Bereichs um den Synchronimpuls (Mittelachse entspricht 0 % in der Abb. 4)

SACCH-Kanal der Mobilstation erscheint nur einmal im sogenannten „26-Multirahmen“, der insgesamt 120 ms Dauer aufweist. Die darauf beruhende Modulation besteht daher aus nur einem Burst pro 120 ms. Der gleichmäßige Rhythmus wird jedoch durch die Aussendung weiterer Informationen (je ein Burst in 8 aufeinanderfolgenden TDMA-Rahmen, alle 480 ms wiederholt) deutlich verändert. Abbildung 2 zeigt eine solche gemessene typische Aussendung eines Handys beim Nur-Zuhören.

Das Tastverhältnis von 1 : 240 des SACCH verursacht ein extrem breitbandiges Spektrum, in dem die 8,33-Hz-Schwingung genauso wie ihre Vielfachen bis zum Kilohertz-Bereich in praktisch gleicher (sehr geringer) Höhe erscheinen. Dieses theoretisch gleichmäßige Spektrum wird jedoch durch die Übertragung der Burst-Gruppe im 480-ms-Rhythmus dahingehend in seiner Struktur verändert, dass auch eine 2,08-Hz-Schwingung mit ihren Vielfachen (4,17 Hz, 6,25 Hz usw.) in sehr schwacher und wechselnder Intensität auftritt.

Abb. 3 zeigt die untersten Frequenzen der sich aus dem Signal von Abb.2 errechneten Spektralanteile (Annahme eines über 20 Sekunden unveränderten Signalinhalts). Es ist zu beachten, dass die Impulshöhe zu 1 V angenommen wurde, die verschiedenen im Signalgemisch vorhandenen harmonischen Schwingungen zeigen also jeweils nur eine Amplitude von ca. 0,8 % (auch die maximale Spektrallinie, die 217-Hz-Schwingung, erscheint nur mit 1,15 %).

Ein eventuell frequenzselektiv anregbares Medium kann also bei diesen untersten Signalfrequenzen nur mit $6,4 \cdot 10^{-5}$ (also 0,064 Promille) der Pulsspitzenleistung angeregt werden.

Bei der Überlegung, ob einige dieser Schwingungen eventuell lebende Organismen störend beeinflussen könnten – die Eigenfrequenzen des Resonators Erdkugel + Ionosphäre (7,5 Hz und erste Vielfache davon) sind alle irdischen Lebewesen gewohnt – sollte also einerseits immer beachtet werden, mit welchem minimalen Leistungsanteil diese Frequenzen im Informationssignal des Mobilteils enthalten sind, und andererseits, dass dieses niederfrequente Informationssignal der hochfrequenten Trägerschwingung erst über eine nichtlineare Funktion der Körperzellen durch Demodulation gewonnen werden müsste. Diese Nichtli-

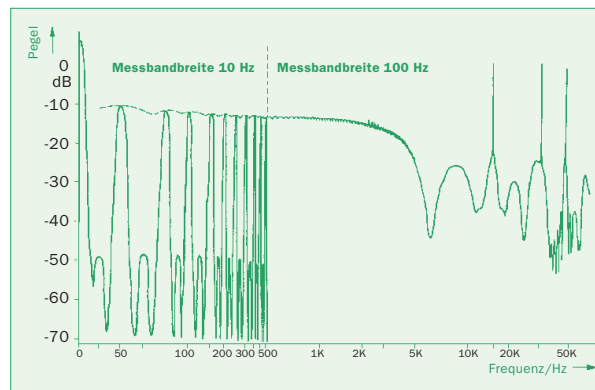


Abbildung 6: Spektrum des Fernseh-Synchronimpulses (aus (4))

nearität scheint jedoch bei den höheren Frequenzen noch nicht zweifelsfrei nachgewiesen worden zu sein (siehe z.B. [3]).

2.2 Analyse der Fernsehsignale

Die relativ komplexen Signale der Fernsehsender sind überwiegend analog moduliert (Bildinhalt und Toninhalt), die Synchronisation des Empfängers zur richtigen Bildwiedergabe wird jedoch durch einen Synchronisationspuls ermöglicht, der deshalb mit der digitalen Modulation des Mobilfunks verglichen werden kann.

Die TV-Signale zeigen im Bereich des etwa $4,7 \mu\text{s}$ langen Synchronisationsimpulses die in Abb. 4 spezifizierte Flankenform mit einem Anstieg von 75 % auf knapp 100 % der Signalamplitude innerhalb von $0,2 \pm 0,1 \mu\text{s}$. Zur Bestätigung dieser spezifizierten Signalform kann eine überall mit einer Antenne empfangbare TV-Aussendung verstärkt und auf einem Oszilloskop dargestellt werden, siehe Abb.5; hier kann die Form des Synchronisationsimpulses gut wiedererkannt werden.

Dieser Impuls wird zur Zeilensynchronisation (15,625 kHz) sowie zur Bildsynchronisation (50 Hz) verwendet. Sein Spektrum ist sehr breit, wie in Abb. 6 zu sehen ist.

Man kann feststellen, dass zahlreiche Signal-Frequenzen im Bereich zwischen 50 Hz und 1000 Hz, die von manchen Forschern im Zusammenhang mit Mobilfunk als bedenklich angesehen werden, auch in diesem TV-Signal enthalten sind.

3. Vergleich zwischen der Fernseh- und der Mobilfunk- Belastung der Bevölkerung

3.1 Messungen der Intensität von Fernseh- und Mobilfunkstrahlung

Im Rahmen der in Bayern als „Rinderstudie“ bekannt gewordenen Untersuchungen über Krankheiten und/oder Verhaltensanomalien von Rindern abhängig von der Intensität der elektromagnetischen Bestrahlung [5] wurden an den ausgewählten Bauernhöfen die Feldstärken von Mobilfunk-Basisstationen und von anderen HF-Quellen (z.B. TV-Sendern) gemessen. Es ergaben sich die in Abb. 7 gezeigten Intensitäten der Gesamtexposition im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert. Auffallend ist, dass auch die maximale Gesamt-Exposition nur 5,2 Promille des gesetzlich zulässigen Wertes betrug, der Mittelwert lag bei etwa 0,3 ‰.

Das Ergebnis dieser nicht optimal angelegten Studie war zwar sowohl für die Öffentlichkeit als auch für Fachleute enttäuschend, weil kein eindeutiges Ergebnis herausgearbeitet werden konnte. Jedoch können die dort durchgeführten ausführlichen Feldstärkemessungen von TV- und Mobilfunkausstrahlungen zum folgenden Vergleich der (als biologisch wirksam apostrophierten) Impulsflankensteilheit herangezogen werden.

3.2 Vergleich der Belastungen bei Betrachtung der Impulsanstiegs-Steilheit

Mehr als die Hälfte der in [5] ausgewählten Bauernhöfe lag – nach Meinung der Besitzer und/oder der auswählenden Institutionen – in einem Bereich erhöhter Strahlenbelastung, vor allem durch Mobilfunk.

Bei fast der Hälfte aller in Abb. 7 gezeigten Messstellen ergaben sich jedoch höhere Werte im Bereich der TV- und Rundfunksignale.

Die Berechnung der Steilheit der Impulsflanken für einen willkürlich ausgewählten Hof bei etwa 1 ‰ der Grenzwertbelastung (Hof Nr. 32 in Abb. 5, auf der Weide) ergibt den in **Tabelle 1** ermittelten Vergleich (Messwerte aus [6]).

3.3 Ergebnis und Bewertung des Vergleichs

Die in der Tabelle 1 für den Hof Nr. 32 beispielhaft berechnete Impulsflankensteilheit ist bei den dort empfangenen Fernsehimpulsen über 60 mal so hoch wie bei den Mobilfunkimpulsen.

Diese Tatsache wird in der öffentlichen Diskussion offenbar deshalb nicht erkannt, weil sie häufig durch den Hinweis auf die vollständige Amplitudentastung des Mobilfunksignals verschleiert wird. Das in diesem Zusammenhang in [1] ausdrücklich angeführte logarithmische Maß der Amplitudenänderung zur Betonung der hundertprozentigen Tastung beim Mobilfunk ist völlig irrelevant, da diese Verhältniszahl bei verschwindendem Minimum-Pegel natürlich gegen Unendlich gehen muss.

Wegen der in [5] getroffenen Auswahl vieler Messstellen entsprechend einem vermuteten Bedrohungsschwerpunkt Mobilfunk ist davon auszugehen, dass im Durchschnitt aller Orte deutschlandweit die Strahlenbelastung durch den Impulsgehalt der TV-Signale wesentlich höher liegt (oder mindestens in der gleichen Größenordnung ist), wie die durch Basisstationen des Mobilfunks oder anderer Dienste.

	TV-Signal (bei 511 MHz)	Mobilfunksignal (Basisstation in der Nähe)
Gemessene elektr. Feldstärke	1,1 V/m (Mittelwert mehrerer Messstellen)	0,16 V/m (Maximalwert)
Feldstärke-Unterschied durch Modulationsgrad	0,297 V/m (= 100 % - 73 %)	0,16 V/m (= 100 %)
Impuls-Anstiegszeit	0,3 μ s (von 73 % auf 100 %)	min. 11 μ s (üblich: ca. 18 μ s)
Daraus resultierende		
Impulsflankensteilheit	1 V/m pro 1 μs	0,015 V/m pro 1 μs

Tabelle 1: Vergleich der Impulsflankensteilheiten zwischen TV-Signal und Mobilfunksignal

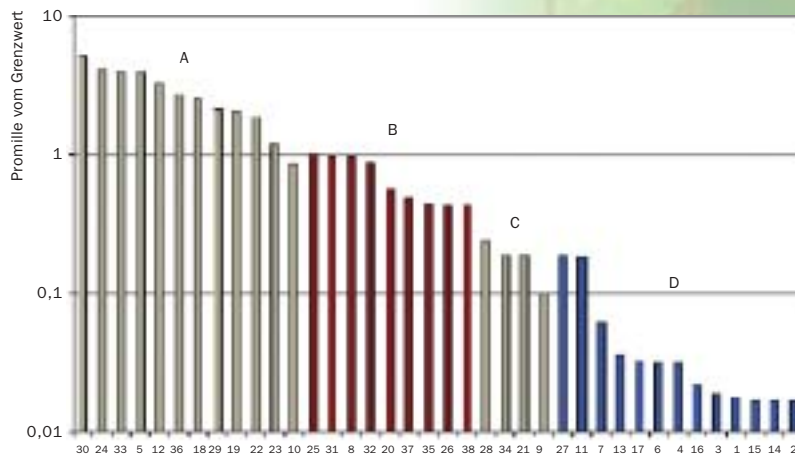


Abbildung 7: Gesamtfeldstärken (TV und Mobilfunk) in den ausgewählten Bauernhöfen (aus (5)); die Gruppen A, B, C, D unterscheiden sich bezüglich der TV- bzw. Mobilfunkanteile).

4. Schlussfolgerung

Die Behauptung in [1]: „dass das biologische System auf die Änderung pro Zeit reagiert und die Periodizität dieser Signaländerung eine biologische Relevanz besitzt“ mag im Prinzip durchaus auf nachvollziehbaren Überlegungen basieren und logisch erscheinen.

Abgesehen davon, dass offenbar noch keine Demodulator-Funktion bei hohen Frequenzen im lebenden Organismus sicher erkannt wurde, ist bei dieser Behauptung jedoch versäumt worden, die bereits seit Jahrzehnten real existierende elektromagnetische Umwelt in dieser Richtung zu analysieren.

Die hier vorgelegte Analyse bezüglich der behaupteten besonderen Gefahr impulsförmig modulierter Hochfrequenz zeigt als Resultat, dass die biologische Unbedenklichkeit der heute diskutierten Strahlenbelastung durch Mobilfunk-Antennenmasten (Basisstationen) durch die bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts weltweit eingeführte Technik des Fernsehens eigentlich bereits hinreichend belegt sein müsste: In allen Ländern der Welt mit TV-Versorgung wird die Bevölkerung mit den in Abschnitt 2.2 beschriebenen periodischen steilen Impulsflanken belegt. Nach zwei Generationen der Menschheit und noch mehr Generationen bei den Nutztieren hätten schädliche Einflüsse durch diese impulsmodulierte Hochfrequenz mit ihren wesentlich steileren Impulsflanken und gleichzeitig ebenfalls meist wesentlich höheren Feldstärken als bei den Mobilfunkanlagen längst festgestellt werden können bzw. müssen.

Die zur Zeit laufenden Langzeit-Studien im Bereich Mobilfunk könnten deshalb möglicherweise das glei-

che Ergebnis der Unbedenklichkeit bringen wie die Experimentalstudie [7], die erst ein Jahrzehnt nach der Behauptung des Waldsterbens durch die elektromagnetischen Strahlen von Richtfunk und Radar diese Behauptung entkräftete.

Danksagung

Der Verfasser dankt den Herren Dosch und Dr. Wolf vom Institut für Rundfunktechnik für die Information zum ARD-Pflichtenheft, Herrn Braun (ehemals Fa. Mikom) für GSM-Daten, sowie Herrn Kaufmann vom HF-Labor der FH Augsburg für die Messungen zur Abb. 3.

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Liesenkötter, Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik, Fachhochschule Augsburg

Literatur

- [1] v. Klitzing, L.: Handys – ein gesundheitliches Risiko. Vortrag anlässlich der Winterschule 2000 der Deutsch. Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP) in Pichl, 24.01.2000
- [2] Eberspächer, J., Vögel, H.-J.: GSM – Global System for Mobile Communication. Verlag B.G. Teubner, Stuttgart 1997, S. 82-83.
- [3] Silny, J.: Rectification of RF Sine Wave Packages in Excitable Cells, Tested in In-Vivo-Investigations. BEMS (1999) Abstract Book, pp. 85 –86.
- [4] Mäusl, R.: Fernsehetechnik. 2. Auflage, Hüthig-Verlag, 1995.
- [5] Hecht, W., et al.: Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern. Kurzfassung Endbericht, www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/mobilf/rinder.pdf.
- [6] Wuschek, M.: Detail zu [5], persönl. Kommunikation.
- [7] Götz, R., Käs, G.: Untersuchungen zur Wirkung elektromagnetischer Felder auf Waldbäume. Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Newsletter **3** (1999), S. 12-14.

Fußnoten

- 1 „Pulsung“ steht als Synonym für periodische Amplitudentastung (= eine digitale Form der Modulation)
- 2 Gauss-Minimum-Shift-Keying, eine spezielle Phasenmodulation; die Amplitude bleibt konstant.