

# **Eine Analyse zur häufig behaupteten Schädlichkeit digital modulierter Mobilfunkstrahlen**

Analysis about the Contended Health Risks due to Digitally Modulated Mobile Phone Radiation

Bernhard Liesenkötter  
Fachhochschule Augsburg, Fachbereich Elektrotechnik

Vorabdruck des Manuskripts

Dieser Beitrag ist inzwischen  
erschienen in der  
**Zeitschrift für Medizinische Physik**  
(ISSN 0939-3889)  
Heft Nr. 3/2002 (Sept. 2002)

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Liesenkötter  
Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik  
Fachhochschule Augsburg  
Baumgartnerstr. 16  
86161 Augsburg

Fax: (0821) 5586 360

E-mail: [liese@rz.fh-augsburg.de](mailto:liese@rz.fh-augsburg.de)

## **Eine Analyse zur häufig behaupteten Schädlichkeit digital modulierter Mobilfunkstrahlen**

Analysis about the Contended Health Risks due to Digitally Modulated Mobile Phone Radiation

B. Liesenkötter

Fachhochschule Augsburg, Fachbereich Elektrotechnik

### **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 Spektralanteile der GSM-Impulse auch im Spektrum der Fernseh-Synchronimpulse enthalten sind, diese 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.

**Schlüsselwörter:** Mobilfunk, Digital-Modulation, Gesundheitsgefährdung, Impulsflankensteilheit

### **Abstract**

In the public discussion regarding the health risks of mobile phone system radiation, it is emphasized that the pulse slope of digital modulation, as defined in the GSM-Standard, will cause biological effects, whereas the high fieldstrength of broadcasting and television radiation, on the contrary, is not considered to be relevant. This paper compares quantitatively the slope of the digital GSM-pulses with that of the synchronizing pulse of the television signal. The result shows clearly that the pulse spectrum of the television signal contains that of the GSM-signal; in addition the synchronizing impulse of television exhibits a much steeper slope. Considering the normal radiation intensities of television and mobile phone systems, one will consequently find that the world-wide exposure of people to the common television signals over more than 50 years can disprove the contention of adverse biological health effects of the pulse slope of digitally modulated radiofrequency.

**Key words:** Mobile phones, digital modulation, health risks, pulse slope

## **1. Einführung**

Eine Durchsicht vieler in den letzten Jahren veröffentlichter Forschungsergebnisse bringt keine Klarheit über die Frage, ob die auf thermischer Beeinflussung basierenden gesetzlichen Grenzwerte der Strahlungsintensität von Hochfrequenz eine Schädlichkeit der Mobilfunkstrahlung für den Menschen oder andere Lebewesen ausschließen.

Die in Großbritannien von 1999 bis 2000 eingesetzte Expertenkommission IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones) hat in ihrem Bericht ("Stewart-Report" [7]) eine Großzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen genau untersucht, ihre Ergebnisse miteinander verglichen und daraus entsprechende Schlussfolgerungen gezogen.

Wegen teilweise entgegengesetzter Aussagen oder unzureichender wissenschaftlicher Belastbarkeit vieler Forschungsergebnisse (bis einschl. 1999) konnte in der Zusammenfassung des Reports (11.5.2000) keine krankheitsverursachende Wirkung des Mobilfunks festgestellt werden. Deshalb wurden auch keine niedrigeren Grenzwerte als die bisher zulässigen vorgeschlagen. Zusätzlich wurden jedoch vage Empfehlungen gegeben, die am 13.6.2000 nachträglich erläutert werden mussten [8], da sie anscheinend in der Öffentlichkeit zu Missverständnissen führen konnten.

In einem Bericht der deutschen Strahlenschutzkommission SSK werden in [9] auch noch jüngere Untersuchungen berücksichtigt; es ergaben sich keine neuen Anhaltspunkte für wissenschaftlich erwiesene gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Mobilfunk.

In manchen deutschsprachigen Aufsätzen wurde eine mögliche Gefährdung begründet unter anderem mit Berichten über messbare Effekte, nach denen eine Mobilfunk-Exposition beispielsweise das EEG des Menschen deutlich beeinflussen soll. Die Relevanz solcher Effekte ist jedoch noch unklar, auch konnte bisher noch keine Schädlichkeit des vermuteten Einflusses ermittelt werden.

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

## **2. Häufig behauptete Beeinträchtigung der Gesundheit durch steilflankige Impulse**

Eine vor allem von Mobilfunkgegnern häufig zitierte Aussage von [5] 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.

Zitat aus [5]: "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 - eine für viele vielleicht verblüffende - Klarheit in die Diskussion um die mögliche Schädlichkeit der Mobilfunk-Aussendungen.

### **3. Technische Grundlagen für den Vergleich von TV-Signalen mit Mobilfunk-Signalen**

Es werden im folgenden die bei Fernsehsendern und bei GSM- Mobilfunkgeräten vorkommenden Flankensteilheiten 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 weiter unten genauer beschriebene digitale Modulation der Mobilfunkgeräte ist kombiniert aus einer kontinuierlichen Phasenmodulation und einer Amplitudentastung (Ein-Aus-Schalten). Die Impulse des TV-Signals können daher mit den Impulsen der amplitudengetasteten Mobilfunkstrahlung verglichen werden.

#### **3.1 Analyse der Mobilfunkstrahlung**

Die für den Benutzer stärkste und wegen der streng periodischen Pulsung<sup>1</sup> 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). In 4. 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.

##### **3.1.1 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 Bursts können

---

<sup>1</sup> „Pulsung“ steht als Synonym für periodische Amplitudentastung (= eine digitale Form der Modulation)

sieben weitere Mobilstationen auf der gleichen Trägerfrequenz mit der gleichen Basisstation kommunizieren, so dass die Gesamtperiode in 8 Zeitschlitze 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.

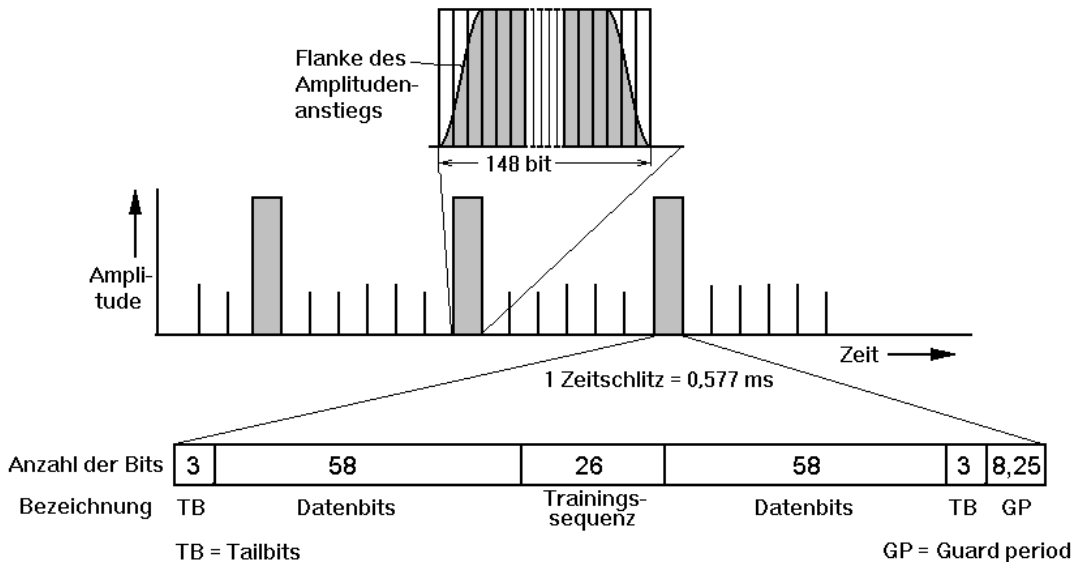


Abb. 1: Struktur eines „normal burst“ mit Darstellung der Amplitudensteilheit (nach [2])

Die Struktur eines typischen Bursts ist durch eine GMSK<sup>2</sup>-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 genannten 3 Tailbits (das entspricht 11 µs) erfolgen. Nach der offiziellen Spezifikation ist eine Zeitmaske von max. 28 µs vorgesehen, die Industrie stellt einen Mittelwert von ca. 18 µs ein.

### 3.1.2 Resultierendes Spektrum der Mobilstation

Aus der Pulsmodulation im 4,6-ms-Takt und einem Tastverhältnis von 1:8 kann die spektrale Verteilung ermittelt werden. Dabei ergibt sich, dass nicht nur das häufig zitierte 217-Hz-Signal, sondern - nur wenig schwächer - auch bei 434 Hz und 651 Hz Signale auftreten, und dass ebenso noch weitere Spektrallinien vorhanden sind, deren Amplituden erst oberhalb von 1 kHz deutlich unter 50% der 217-Hz-Amplitude absinken.

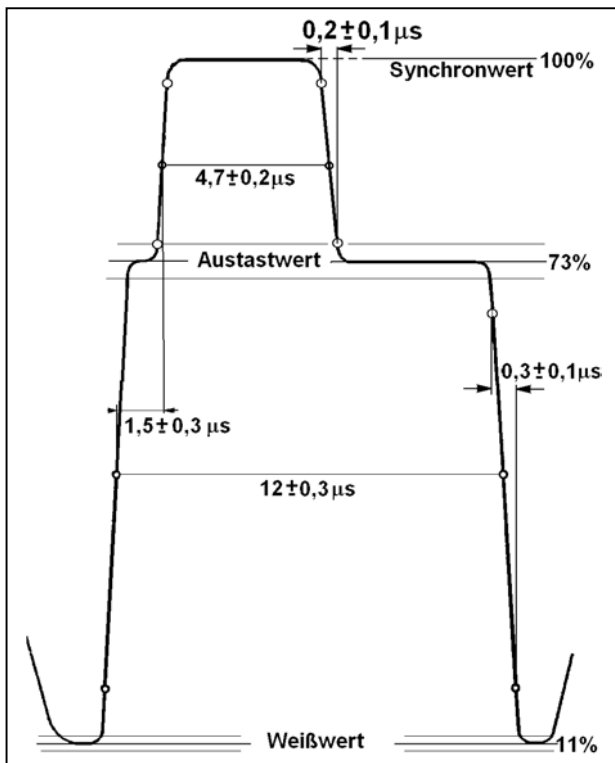
Das bedeutet, dass das durch die Pulsung erzeugte breite niederfrequente Spektrum keine wesentlichen Unterschiede zeigen würde, wenn mit einer etwas anderen Taktfrequenz gearbeitet werden würde.

<sup>2</sup> Gauss-Minimum-Shift-Keying, eine spezielle Phasenmodulation; die Amplitude bleibt konstant.

### 3.2 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 Synchronisationsimpuls ermöglicht, der 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. 2



von  $0,2 \pm 0,1 \mu\text{s}$ .

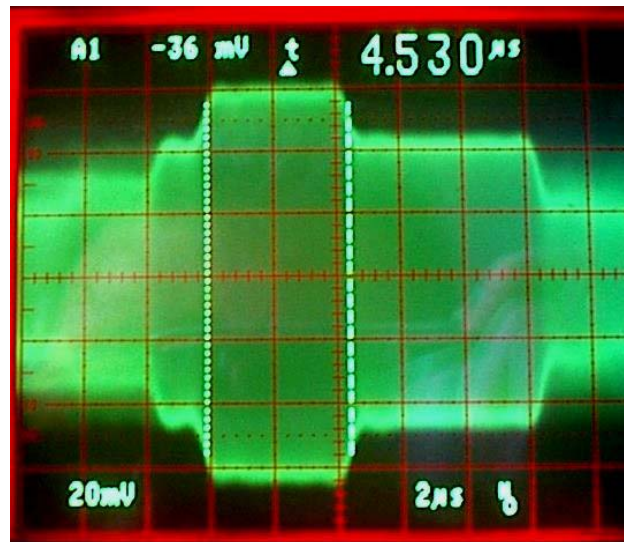


Abb. 2: Spezifizierte Form der Synchronimpulse (73% bis 100%) am Senderausgang eines Fernsehsenders (Pflichtenheft Nr. 5/2.1)

Abb. 3: Gemessenes TV-Signal an der Empfangsantenne des Rundfunkteilnehmers. Darstellung des Bereichs um den Synchronimpuls (Mittelachse entspricht 0% der Abb.2)

Zur Bestätigung dieser spezifizierten Signalform wurde ein überall mit einer Antenne empfangbares HF-Signal soweit verstärkt, dass es auf einem Oszilloskop dargestellt werden konnte, siehe Abb. 3; hier kann die Form des Synchronisationsimpulses gut wiedererkannt werden.

Dieser Impuls wird zur Zeilensynchronisation ( $15,625 \text{ kHz}$ ) sowie zur Bildsynchronisation ( $50 \text{ Hz}$ ) verwendet. Sein Spektrum ist sehr breit, wie in Abb. 4 zu sehen ist.

Man kann feststellen, dass zahlreiche Frequenzen im Bereich zwischen 100 Hz und 1000 Hz, die von manchen Forschern im Zusammenhang mit Mobilfunk als bedenklich angesehen werden, auch in diesem TV-Signal enthalten sind.

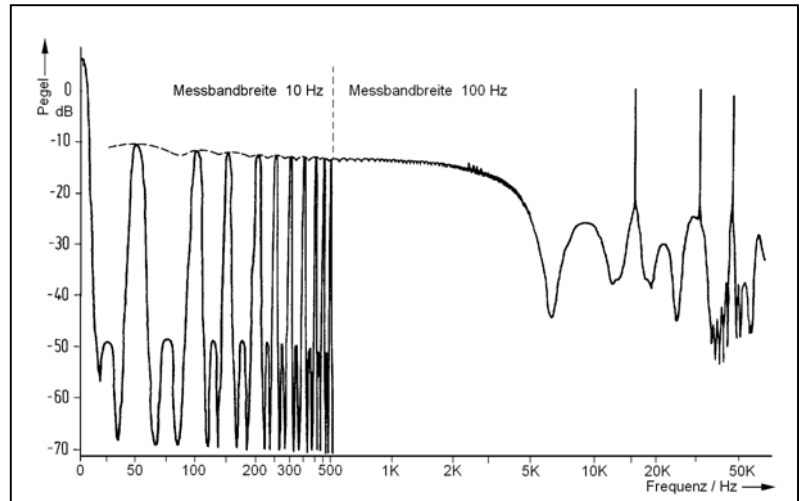


Abb. 4: Spektrum des Fernseh-Synchronimpulses (aus [6])

#### 4. Vergleich zwischen der Fernseh- und der Mobilfunk- Belastung der Bevölkerung

##### 4.1 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 [4] 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. 5 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 %.

Interessant in diesem Zusammenhang ist auch die 2001 durchgeführte Vermessung der Mobilfunkstrahlung an über 100 Orten im Fürstentum Liechtenstein [1]. Die dort für die „Orte mit empfindlicher Nutzung“ (an denen sich Menschen über längere Zeit aufhalten) vereinbarten stark erniedrigten „Vorsorgegrenzwerte“ wurden regelmäßig stark unterschritten. Die ermittelten Immissionen erreichten im Durchschnitt nur 13% dieser strengen Vorsorgegrenzwerte.

Zur Beurteilung der Einflüsse wurde in [4] zunächst die Unterteilung der verschiedenen Bauernhöfe in vier Gruppen vorgeschlagen, damit der Einfluss der Mobilfunkstrahlung möglichst isoliert herausgearbeitet werden kann. Aus verschiedenen Gründen konnte jedoch diese Auftrennung nicht konsequent durchgeführt werden.

Das Ergebnis dieser nicht optimal angelegten Studie war zwar für die Öffentlichkeit enttäuschend, weil kein eindeutiges Ergebnis dargestellt werden konnte. Die dort durchgeführten ausführlichen Feldstärkemessungen können jedoch zum folgenden Vergleich herangezogen werden, mit dem die in [5]

aufgestellte Behauptung der Schädlichkeit der Signalform der Mobilfunkstrahlung – für viele vielleicht überraschend eindeutig – widerlegt werden kann.

#### 4.2 Vergleich der Belastungen bei Betrachtung der Impulsanstiegs-Steilheit

Mehr als die Hälfte der in [4] ausgewählten Bauernhöfe lagen - nach Meinung der Besitzer und/oder der auswählenden Institutionen - in einem Bereich erhöhter Strahlenbelastung, vor allem durch Mobilfunk.

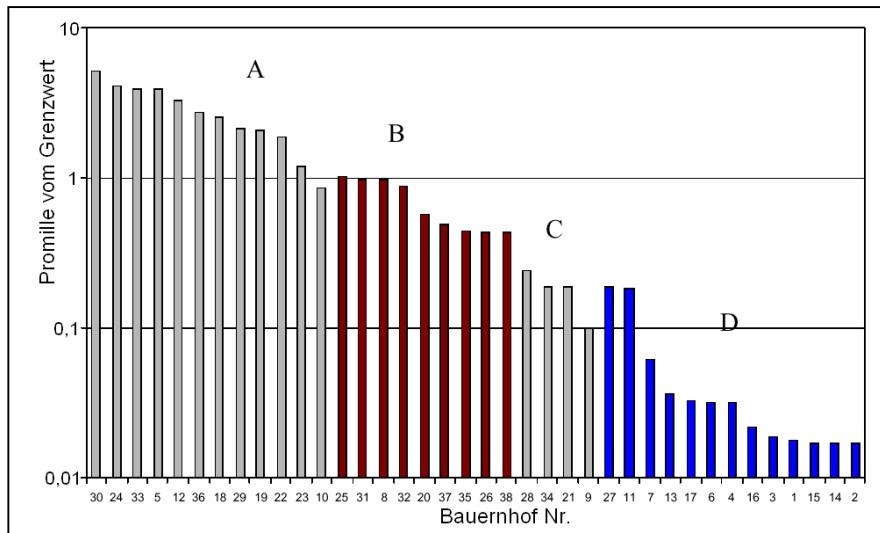


Abb. 5: Gesamtfeldstärken (TV und Mobilfunk) in den ausgewählten Bauernhöfen (aus [4]; die Gruppen A B C D unterscheiden sich bezüglich der TV- bzw. Mobilfunkanteile)

Bei fast der Hälfte aller in Abb. 5 gezeigten Messstellen ergaben sich 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 [10]).

	<b>TV-Signal</b> (bei 511 MHz)	<b>Mobilfunksignal</b> (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 µs (von 73% auf 100%)	min. 11 µs (üblich: ca. 18 µs)
Daraus resultierende <b>Impulsflankensteilheit</b>	<b>1 V/m pro 1 µs</b>	<b>0,015 V/m pro 1 µs</b>

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



### 4.3 Ergebnis und Bewertung des Vergleichs

Die in der Tabelle 1 für den Hof Nr. 32 beispielhaft berechnete Impulsflankensteilheit ist bei den Fernsehimpulsen über 60 mal so hoch wie bei den Mobilfunkimpulsen (hierbei wurde der deutlichste Puls angenommen, der sich bei nur einem aktiven Zeitschlitz ergibt).

Diese Tatsache wird in der öffentlichen Diskussion häufig durch den Hinweis auf die vollständige Amplitudentastung des Mobilfunksignals verschleiert. Das in [5] 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 [4] getroffenen Auswahl vieler Messstellen entsprechend einem vermuteten Bedrohungsschwerpunkt Mobilfunk ist davon auszugehen, dass im Durchschnitt aller Orte deutschlandweit die Strahlenbelastung durch die TV-Signale wesentlich höher liegt oder etwa in der gleichen Größenordnung ist, wie die durch Basisstationen des Mobilfunks oder anderer Dienste.

## 5. Schlussfolgerung

Die Behauptung in [5]: „, 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. Es wurde dabei jedoch versäumt, 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 durch die in der Mitte des vorigen Jahrhunderts weltweit eingeführte Technik des Fernsehens bereits hinreichend belegt wurde:

In allen Ländern der Welt mit TV-Versorgung wird die Bevölkerung mit den in 3.2 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 steileren Impulsflanken und gleichzeitig meist wesentlich höheren Feldstärken als bei den Mobilfunkanlagen längst festgestellt werden können bzw. müssen.

Die zur Zeit laufenden Langzeit-Studien im Bereich Mobilfunk werden wahrscheinlich das gleiche Ergebnis der Unbedenklichkeit bringen wie die Studie [3], 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 Mikom) für die GSM-Daten, sowie Herrn Kaufmann vom HF-Labor der FH Augsburg für die Messungen zur Abb. 3.

## Literatur

- [1] Amt für Kommunikation, Fürstentum Liechtenstein: Pressemitteilung v. 9.4.2001. Messbericht im Internet unter [www.ak.li](http://www.ak.li)
- [2] Eberspächer, J., Vögel, H.-J.: GSM – Global System for Mobile Communication. Verlag B.G. Teubner, Stuttgart 1997, S. 82-83
- [3] Götz, R., Käs, G.: Untersuchungen zur Wirkung elektromagnetischer Felder auf Waldbäume. Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Newsletter **3** (1999), S. 12-14
- [4] 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](http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/mobilf/rinder.pdf)
- [5] v. Klitzing, L.: Handys - ein gesundheitliches Risiko? Vortrag anlässlich der Winterschule 2000 der Deutsch. Ges. f. Mediz. Physik (DGMP) in Pichl, 24.01.2000, [www.buergerwelle.de](http://www.buergerwelle.de)
- [6] Mäusl, R.: Fernsehtechnik. 2. Auflage, Hüthig-Verlag, 1995
- [7] Stewart, W., et al.: Mobile Phones and Health. IEGMP Report, 11.05.2000, [www.iegmp.org.uk](http://www.iegmp.org.uk)
- [8] Stewart, W., et al.: Clarification of Issues Discussed in the Report. 13.06.2000
- [9] Strahlenschutzkommission SSK: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Empfehlung vom Sept. 2001, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)
- [10] Wuschek, M.: Detail zu [4], persönl. Kommunikation

Korrespondenzanschrift:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Liesenkötter  
Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik  
Fachhochschule Augsburg  
Baumgartnerstr. 16  
D-86161 Augsburg