

# Radar – Eine unterschätzte Belastung?

Wolfgang Kessel

Umweltanalytik Kessel

Am Bargfeld 15, 22941 Bargteheide

Tel: 04532 - 66 79

Fax: 04532 - 59 34

[umweltanalytik.kessel@t-online.de](mailto:umweltanalytik.kessel@t-online.de)

[www.umweltanalytik-kessel.de](http://www.umweltanalytik-kessel.de)

Veröffentlicht in: Tagungsband der 3. EMV-Tagung „Energieversorgung & Mobilfunk“ des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V. am 01.-02.04.2004 in Würzburg; [www.baubiologie.net](http://www.baubiologie.net)

## Einleitung

Durch den Auf- und Ausbau der GSM-Mobilfunknetze seit Anfang der 90er Jahre ist das Thema der möglichen Gesundheitsgefahr durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung öffentlich geworden. Sendeanlagen rückten auf einmal ins optische Bewusstsein, die „Gefahr“ bekam Struktur in Form von Mobilfunkantennen auf Masten, Silos, Schornsteinen und Hausdächern. Verursacher von Hochfrequenzstrahlung wurden auf einmal mit den Sinnen (Sehen) wahrnehmbar.

Im Sommer 1999 wurde der Autor von der Bürgergemeinschaft Gemeinde Elmenhorst e.V. (Schleswig-Holstein) gebeten, eine messtechnische Bestandsaufnahme der Hochfrequenzsituation in der Gemeinde vor Inbetriebnahme der Mobilfunkbasisstation von VIAG-Interkom (heute O2) durchzuführen. Ein Vorher-Nachher-Vergleich sollte dokumentieren, welchen Anteil die Mobilfunkstrahlung an der gesamten Hochfrequenzintensität, vor allem im Nahbereich der Sendeanlage (ca. 150 - 400 m von der nächsten Bebauung entfernt), hat. Bei einem Mitglied der Bürgergemeinschaft maß ich im Schlafzimmer des Obergeschosses erstmals einen Flugsicherungsradar mit einer Intensität von  $8.900 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Zweitägige Recherche war notwendig um den Verursacher zu ermitteln. Entfernung des Radarsenders vom Messpunkt 29,3 km, Standort Boostedt bei Neumünster.

Das Problem: Der Verursacher ist aufgrund der Entfernung nicht mehr sichtbar, eine potentielle Gefahr nicht mehr einschätzbar, eine direkte Orientierung bzw. Risikoabschätzung ausgeschlossen.

Ziel dieser Abhandlung ist es, das Thema Radar einer breiteren Öffentlichkeit zuzuführen, die grundlegende Technik und Arbeitsweise, das Anwendungsfeld, anzutreffende Intensitäten, Frequenzbereiche, Reichweiten sowie Problemstellungen bei praktischen Messungen vorzustellen. Die Auswertung von 106 Radarmessungen gibt eine erste Einschätzung über den Stellenwert von Radarintensitäten innerhalb der Hochfrequenzlandschaft.

## Grundlagen der Radartechnik

Wie die Bedeutung des Wortes **R A D A R** (**R**adio **D**etection **a**nd **R**anging) andeutet, soll mit dieser Technik die Lage von Objekten nach Richtung und Entfernung mittels eines funktechnischen Echowfahrens bestimmt werden. Heute ist die Radartechnik ein fester Bestandteil der Mikrowellentechnik. In vielen Gebieten wird sie angewendet:

- zur Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung von Wasser-, Luft- und Landfahrzeugen
- zur Navigation und Landeanflughilfe bei Flugzeugen
- bei der kartographischen Vermessung der Erde (über Satelliten)
- bei der Suche nach Bodenschätzen und Wasservorkommen (über Flugzeuge und Satelliten)
- bei der Wettererkundung
- bei der astronomischen Radiometrie
- in der Wissenschaft, für industrielle Anwendungen und für militärischen Einsatz.

Die Radartechnik ist ein einzigartiger Sensor zur Beschaffung von Informationen über ferne Ziele (wie Flugzeuge, Schiffe, Raumfahrzeuge, Vögel, Insekten) sowie von Informationen über die Umwelt (Land, Meer, Atmosphäre). Die Radartechnik wird manchmal „remote sensor“ (übersetzt: „Fernmessgerät“) genannt, denn sie ermöglicht die Erfassung dieser Informationen ohne direkten Kontakt mit dem Objektziel und ohne seine Störung. ([1] S. 59)

## Übersicht über die verschiedenen Radarverfahren und Systeme zur Entfernungs-, Winkel-, Höhen- und Geschwindigkeitsbestimmung

Die nachstehende Tabelle 2-1 zeigt, in welchen Bereichen die Radartechnik zu Wasser, zu Lande sowie in der Luft- und Raumfahrt zur Anwendung kommt. Reichweite und Empfindlichkeit des Radarsystems sind dabei die entscheidenden Kriterien für den jeweiligen Einsatz.

Zivile Anwendung	Militärische Anwendung
<b>Luftverkehr (Bodenradar)</b>	
Luftverkehrskontrolle im Flughafennahbereich	Luftraumüberwachung
Luftverkehrskontrolle auf den Flugtrouten	Flugsicherung
Präzisions-Anflugradar (PAR)	Präzisions-Anflugradar (PAR)
Wetterradar	Wetterradar
Erkennung von Scherwinden, Vogelzügen, u.ä.	High Power Illumination Radar
Kontrolle des Rollverkehrs auf dem Flugfeld	Überreichweitenradar
<b>Luftverkehr (Bordradar)</b>	
Wetterradar	Wetterradar
Radarnavigation	Zielverfolgungsradar
Antikollisionsradar	Antikollisionsradar
Radarhöhenmesser	Radarhöhenmesser
Ground-Mapping	Terrain-Following-Radar
	Zielverfolgungsradar
	Side-Looking-Radar
	ECM-Radar
<b>Schiffsverkehr</b>	
Navigationshilfe, Kollisionsvermeidung	Navigationshilfe, Kollisionsvermeidung
Search and Rescue (SAR)	Search and Rescue (SAR)
Küstenradar	Luftraumüberwachungsradar
Wasserstraßenüberwachung	Feuerleitradar
	Sonar, Lidar

Zivile Anwendung	Militärische Anwendung
<b>Raumfahrt</b>	
Wetterbeobachtung	Zielverfolgung
Erderkundung, Geodäsie, Umwelt	Aufklärung
Satellitenkursverfolgung	Satellitenortung, Raketenortung
<b>Landgebundene Radaranwendungen</b>	
<b>Straßen- und Schienenverkehr</b>	<b>Gefechtsfeldüberwachung</b>
Geschwindigkeitsmessung	Boden- und Luftraumüberwachung
Hinderniserkennung, Abstandswarnung	Feuerleitradar
<b>Industrie, Fertigungstechnik</b>	
Berührungslose Positionsmessung	
Füllstandsmessung, Hohlraumerkennung	

Tab. 2-1: Beispiele für die verschiedenen Anwendungen der Radartechnik (Quelle: [2])

### Wie funktioniert Radar ?

Radarsysteme sollen Ziele nach Entfernung und Richtung orten. Neben der Ortsangabe für das Ziel sind heute oft zusätzliche Angaben über Größe und Relativgeschwindigkeit, oder bei sich drehenden Objekten über deren Rotationsgeschwindigkeit erwünscht.

Zur Durchführung der Objektortung werden elektromagnetische Wellen von der Antenne des Radarsystems in eine bestimmte Raumrichtung ausgesendet, beim Pulsradar z.B. in Form von regelmäßigen, kurzen Impulsen. Treffen diese auf ein reflektierendes Objekt, so wird die Echoenergie von der Radarantenne wieder aufgefangen (siehe Abbildung 2-1).

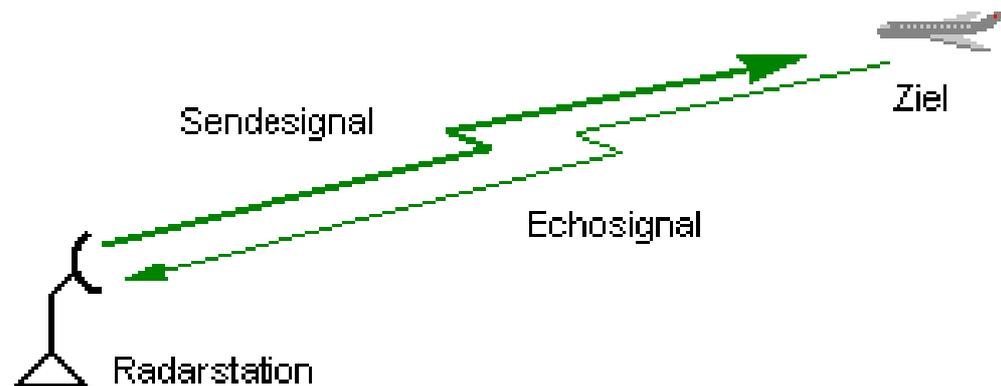


Abb.2-1: Beispiel für eine Radarstrecke zur Flugzeugortung (Quelle: [3])

Durch Messung der Signallaufzeit kann die Entfernung festgestellt werden. Zur Ermittlung der Zielentfernung „R“ muss beim Pulsradar die halbe Gesamtlaufzeit „t“ des Radarimpulses mit der Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  (= ca. 300.000 km/s) multipliziert werden.

$$\text{Formeln: } R = t/2 \cdot c_0 \quad \text{bzw.} \quad t = 2 \cdot R / c_0$$

R = Abstand des Flugzeugs                      t = Signallaufzeit                       $c_0$  = Lichtgeschwindigkeit

Beispielrechnungen:

Ähnlich wie man mit einem „Lichtjahr“ (eigentlich eine Zeiteinheit) eine Entfernung beschreibt (nämlich die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt), ist es üblich mit einem „Radarkilometer“ die Zeit zu bezeichnen, die der Radarstrahl zur Überbrückung von einem Kilometer Entfernung zwischen Radarantenne und Ziel (Hin- und Rückweg) benötigt:

$$1 \text{ Radarkilometer} = 2 \cdot 1 \text{ km} / 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} = 6,66 \mu\text{s}.$$

Für eine Entfernung von 100 km benötigt das Radarsignal eine entsprechend hundertfach längere Laufzeit (100 Radarkilometer):

$$100 \text{ Radarkilometer} = 100 \cdot 6,66 \mu\text{s} = 666 \mu\text{s} = 0,666 \text{ ms}.$$

Für praktische Überschlagsrechnungen kann die Entfernung R mit der folgenden zugeschnittenen Größengleichung ermittelt werden:

$$R [\text{km}] = 0,15 \cdot t [\mu\text{s}]$$

Mit einem Radarsystem soll die Lage von Objekten nach Richtung und Entfernung möglichst genau bestimmt werden:

- Bei beweglichen Zielen muss die Antenne mechanisch oder ihr Richtdiagramm elektronisch schwenkbar sein.
- Zur exakten Lagebestimmung muss der Öffnungswinkel der Antennencharakteristik extrem schmal oder in besonderer Weise geformt sein.
- Für hohe Reichweiten oder kleine Zielobjekte ist ein hoher Antennengewinn erforderlich.
- Für exakte Peilung ist große Nebenzipfeldämpfung Voraussetzung.

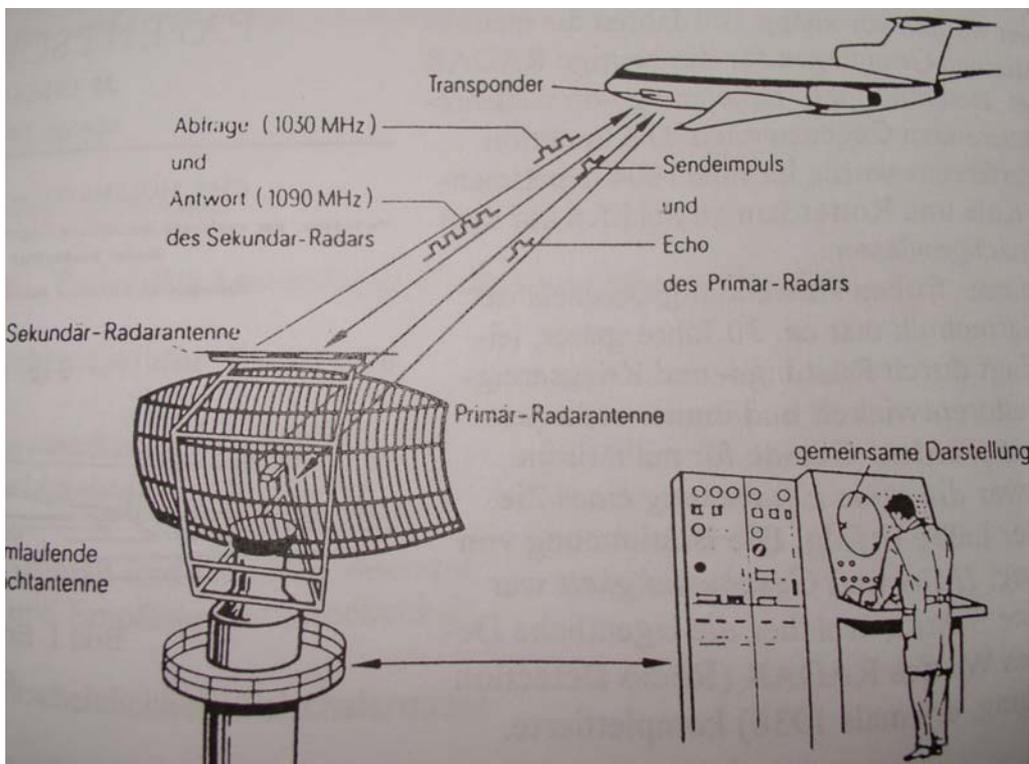


Abb. 2-2: Primär-Rundradar, kombiniert mit Transponder-Sekundär-Radar (Secondary Surveillance Radar SSR) (Quelle: [2]); Ausführung in der Praxis siehe Abbildung 2-5, Flughafenradare Stuttgart

Abbildung 2-2 zeigt, wie bei einer typischen Rundsichtradaranlage mit dem Primärpulsradar durch Messung der Pulslaufzeiten die Entfernung zu einem Flugzeug bestimmt wird. Kombiniert mit dem Primärradar ist hier die Antenne eines Sekundärradars montiert, das dem jeweils beleuchteten Flugzeug mit genormten Abfrageimpulsen auf 1.030 MHz gezielt Informationen abverlangt, die ein bordeigener Transponder mit ca. 500 W Sendeleistung auf 1.090 MHz beantwortet (Transponder-Sekundär-Radar).

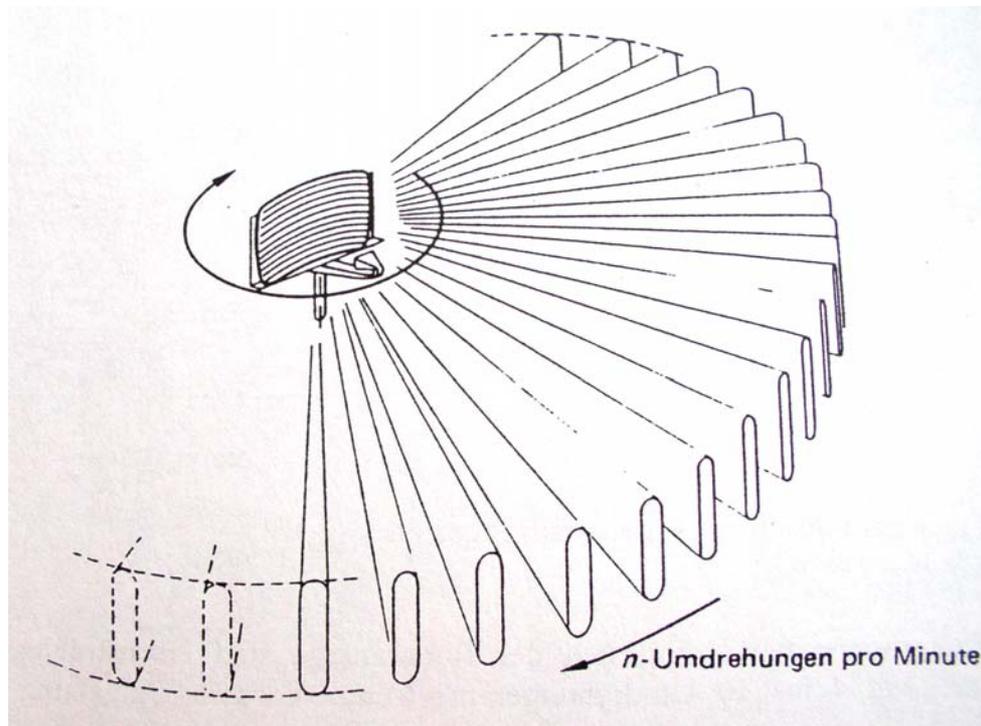


Abb. 2-3: Strahlenspeichen einer Rundsichtradaranlage (Quelle: [2])

Es folgt ein Rechenbeispiel für die mindestens erforderliche Umdrehungszeit eines Rundsichtradars mit einer Reichweite von 100 km und einem horizontalen Öffnungswinkel der Antenne von  $1,5^\circ$ . Je schärfer die Bündelung der Antenne, um so kleiner ist die zulässige Auslenkung der rotierenden Antenne zwischen Aussendung und Empfang eines Radarimpulses; sie beträgt in diesem Beispiel  $0,1^\circ$ . Damit ergeben sich  $360^\circ / 0,1^\circ = 3.600$  aufzulösende Schritte pro Umdrehung. Die Radarlaufzeit für eine Entfernung von 100 km beträgt 0,666 ms, wie oben gezeigt wurde.

Mindest-Umdrehungszeit = Radarlaufzeit · Anzahl Schritte pro Umdrehung

Damit ergibt sich für die hier vorgenommene Beispielrechnung:

Mindest-Umdrehungszeit =  $0,666 \text{ ms} \cdot 3.600 = 2,39 \text{ s}$

Für eine Radaranlage mit einer größeren Reichweite von 400 km erhöht sich unter diesen Bedingungen die minimal erforderliche Umlaufzeit auf 9,59 sec.

Generell gilt: Je größer die Reichweite eines Radars, desto größer ist auch seine Umlaufzeit.

## Wellenausbreitung, Frequenzwahl, Störeinflüsse, Clutter und Losses

Für die **Frequenzwahl** eines Radarsystems sind folgende weitere Faktoren zu berücksichtigen, die auch mit in die Radargleichung zur Berechnung der Stärke des Echosignals (s.u.) einfließen:

- Dämpfung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre; sie steigt mit wachsender Frequenz

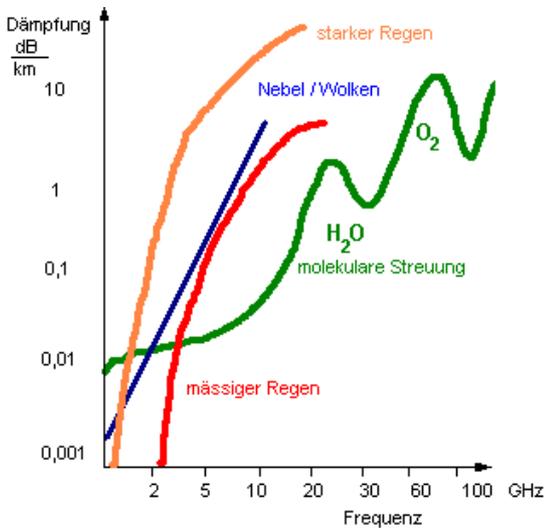


Abb. 2-4:

Das Diagramm zeigt, dass die Dämpfung der Atmosphäre mit Zunahme der Feuchtigkeitsanteile steigt. Des Weiteren ist zu sehen, dass mit steigender Sendefrequenz die Dämpfung ebenfalls anwächst (Quelle: [4]).

Atmosphärische Dämpfungsverluste sind zwar permanent vorhanden, lassen sich allerdings schwer zahlenmäßig erfassen, da sie ständig Veränderungen unterworfen sind.

- Zielobjekte besitzen bei niedrigeren Frequenzen eine kleinere Radar-Rückstrahlfläche
- Boden-, See- und Wetter-**Clutter** (Reflektionen durch Geländeformation, Regen- oder Hagelfronten, Wellen an der Meeresoberfläche) steigen mit der Frequenz
- Störungen durch Insekten, Vogelschwärme, Regen, Schnee oder Hagel sind bei niedrigeren Frequenzen erheblich geringer
- Der Radarquerschnitt (Reflektionsfähigkeit des Zielobjektes) ist bei höheren Frequenzen kleiner, da hohe Frequenzen an der Zielfläche stärker absorbiert werden
- Die Schärfe der Bündelung einer Antenne und die Höhe des Antennengewinns wachsen mit zunehmender Frequenz
- Für extrem feine Auflösungen – z.B. für die schon erwähnte Erderkundung – muss man zu extrem hohen Frequenzen greifen (35 - 150 GHz);
- Für Radaranlagen mit Reichweiten weit über den sichtbaren Horizont können nur Frequenzen im Kurzwellenbereich eingesetzt werden, weil nur diese an der Ionosphäre gebeugt werden; auch das vom Zielobjekt reflektierte Signal muss diesen Weg nehmen.

**Störeinflüsse** technischer Art können durch fremde Radarsignale auftreten, die in die eigene Anlage eindringen und dort Interferenzen verursachen. Dieser Vorgang kann den Radarempfang stören oder unmöglich machen. Diesen Vorgang nennt man auch „**Jamming**“ (engl. to jam: etwas lähmen, blockieren, verstopfen).

Diverse Verluste (**Losses**), die das Empfangssignal schwächen, müssen ebenfalls in der Radargleichung (s.u.) Berücksichtigung finden; dazu gehören Verluste an den Komponenten der Radaranlage ( $L_{\text{Komponenten}}$ ), an der Antennenkeule ( $L_{\text{Ant.-Keule}}$ ), durch die Summe aller atmosphärischen Dämpfungsverluste ( $L_{\text{Atm}}$ ), Signalverarbeitungsverluste ( $L_{\text{Signalverarb.}}$ ) sowie die Dämpfungen durch Verschleiß oder Alterung der Bauteile einer Radaranlage ( $L_{\text{Realität}}$ ).

Als Resultat aller Argumente und Effekte werden in der Radartechnik hauptsächlich GHz-Frequenzen gewählt. Nur für Sonderaufgaben kommen auch Kurzwellen infrage. Die gebräuchlichsten Radarfrequenzen zeigt Tabelle 2-2:

Standard Radar-Frequenzbänder nach IEEE 521		
Bandbezeichnung	Frequenzbereich	Radarnutzung
HF	3 - 30 MHz	–
VHF	30 - 300 MHz	138 - 144 MHz
UHF	300 - 1.000 MHz	420 - 450 MHz
<b>L</b>	<b>ca. 1 - 2 GHz</b>	<b>1,215 - 1,4 GHz</b>
<b>S</b>	<b>ca. 2 - 4 GHz</b>	<b>2,3 - 3,7 GHz</b>
<b>C</b>	<b>ca. 4 - 8 GHz</b>	<b>5,25 - 5,9 GHz</b>
<b>X</b>	<b>8 - 12 GHz</b>	<b>8,5 - 10,6 GHz</b>
K <sub>u</sub>	12 - 18 GHz	13,4 - 17,7 GHz
K	18 - 27 GHz	24,05 - 24,3 GHz
K <sub>a</sub>	27 - 40 GHz	33,4 - 36,0 GHz
V	40 - 75 GHz	59,0 - 64,0 GHz
W	75 - 110 GHz	76,0 - 100 GHz
mm	110 - 300 GHz	100 - 300 GHz

Tab. 2-2: Standard Radar-Frequenzbänder nach IEEE 521 (Quelle: [2])

Die am häufigsten bei Messungen im Out- oder Indoorbereich anzutreffenden Frequenzbereiche sind die der Bandbezeichnungen L bis X (in Tabelle 2-2 fett markiert).

## Die Radargleichung

Die Radargleichung dient dazu, u.a. die Reichweite einer Radaranlage, abhängig von der Sendeleistung  $P_{\text{sende}}$ , dem Antennengewinn der Sendeantenne  $G_{\text{SA}}$ , der Freiraumdämpfung und den anderen Verlusten, der Reflektionsfähigkeit des „Zieler“ – ausgedrückt durch den Begriff „Radarquerschnitt  $\sigma$ “ – und der Empfängerempfindlichkeit – abzuschätzen.

Für die Herleitung der Radargleichung gelten folgende Größen:

$P_{\text{so}}$	Leistung, die die Senderöhre abgibt
$P_{\text{sende}}$	Sendeleistung, die von der Antenne abgestrahlt wird
$G_{\text{SA}}$	Gewinn der Sendeantenne (als Faktor)
$R$	Entfernung des Zielobjekts vom Standort der Radaranlage
$\sigma$	Rückstrahlquerschnitt des Zielobjekts, Radarquerschnitt oder Radar Cross Section (RCS)
$S^*_{\text{Ziel}}$	Leistungsflussdichte, die am Ort des Zielobjekts auftritt
$S^*_{\text{Empf}}$	Leistungsflussdichte, die durch das rückkehrende Signal am Ort der Empfängerantenne vorliegt
$A_{\text{EA}}$	Effektive Fläche der Empfangsantenne
$G_{\text{EA}}$	Gewinn der Empfangsantenne, häufig identisch mit $G_{\text{SA}}$
$P_{\text{Empf}}$	Von der Empfangsantenne aufgenommene Empfangsleistung
$L_{\text{Ltg}}$	Faktor für Verluste auf den Zuleitungen ( $L = \text{Loss}$ als Faktor)
$L_{\text{Atm}}$	Faktor für Verluste durch frequenzabhängige Dämpfung des Radarsignals in der Atmosphäre
$\lambda$	Wellenlänge des verwendeten Radarsignals

Formel für die Radarempfangssignalleistung, abgeschwächt durch Verluste auf dem Übertragungsweg:

$$P_{\text{Empf}} = \frac{P_{\text{Sende}} \cdot G_A^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \cdot \frac{1}{L_{\text{Ltg}} \cdot L_{\text{Atm}}}$$

(Quelle: [2])

## Beispiele von Radarantennen

Abbildung 2-5 zeigt das Primärradar als Rundstrahlradar mit dem gekoppelten Sekundärradar am Stuttgarter Flughafen in Echterdingen-Stetten. Hier werden ständig drei Sendefrequenzen abgestrahlt:

- 1.030 MHz für das Transponder-Sekundärradar;
- 2.807 MHz und
- 2.867 MHz für das Primärradar.



Abb. 2-5: Flughafenradare Stuttgart

Abbildung 2-6 zeigt eines von neun stationären Schiffsleitradaren, die von der Elbmündung bis zum Hamburger Hafen verteilt sind; Frequenz: 9.170 MHz



Abb. 2-6: Schiffsleitradar Hamburg-Hafen, Nähe Augustinum

Abbildung 2-7 zeigt ein Radom (Kunstwort aus „**R**adar **D**omicile“) auf dem Lufthansa-Gebäude in Hamburg; Frequenz: 5.614 MHz



Abb. 2-7: Wetterradar Hamburg, Sportallee Nähe Flughafen



Abb. 2-8: Fliegerhorst Wunstorf, Radom (Pfeil) auf dem Flughafengelände

Am Messplatz beim Fliegerhorst Wunstorf (Abb. 2-8) waren folgende Radarfrequenzen von unterschiedlichen Standorten anzutreffen: 1.030 MHz, 1.258 MHz, 1.344 MHz, 2.708 MHz, 2.778 MHz, 2.815 MHz, 2.875 MHz.



Abb.: 2-9 Fahrlässige Schiffsradarposition – mehrere Dutzend  $W/m^2$  HF-Intensität im Führerhaus

Abbildung 2-9 zeigt ein niederländisches Binnenfrachtschiff bei laufendem Radar. Der Schiffsführer befindet sich nur ca. 3 Meter von der Antenne entfernt im Führerhaus.

Frequenz: 9.411 MHz,  
Strahlungsdichte in ca. 20 m Entfernung:  $1.505.000 \mu W/m^2$  (=  $1,505 W/ m^2$ ).



Abb. 2-10: Rundstrahlradar in 2,9 km Entfernung, Hohenlinden-Birkach

Frequenzen: 1.258 MHz, 1.344 MHz, 1.030 MHz; Umlaufzeit des Radars: 10 Sekunden.

Am Messplatz zu Abb. 2-10 (Innenhof eines Bauernhofes) wurden mehr als  $1,5 \text{ W/m}^2$  Leistungsflussdichte ermittelt. Während der gesamten Umdrehungszeit des Radarschirms (d.h. permanent) ist der Puls des Radars von ca. 500 Hz hörbar und auf dem Spektrum-Analysator sichtbar (starker Reflektionsanteil im Nahbereich).

### Übersicht über häufig anzutreffende Radaranlagen im GHz-Bereich (Beispiele)

	Frequenz MHz	Leistung kW *	Umdrehungen 1/min.	Impulsfolge Hz	Impulsdauer $\mu\text{s}$	Reichweite km
Rundstrahlradar Luftstraßen	1.300	Bis 2.500	2 - 7,5 typisch 6	500	2	1.000 und mehr
Rundstrahlradar Flughafen	2.800	500	ca. 13	1.200	1	500
Schiffsrundstrahlradar Bw**	3.200	1.500	4 - 8	60 - 1.430	36	450
Wetterradar (Beispiel)	5.600	250	1 - 6	250 - 1.200	0,5 - 3	120
Rollfeldüberwachungsradar	9.100	40 und mehr	60	2.400	0,25	20 und mehr
Küsten- und Hafenradar	9.100 - 9.400	10 - 40	17 - 25	1.000	bis 5	100
Schiffsradar (Binnenschiff.)	9.400	4 - 20	17 - 25	1.000 - 3.200	0,05 - 5	0,3 - 64
Schiffsradar (Seefahrt)	9.400	bis 75	10 - 25	1.000	bis 5	100

Tab. 2-3: Häufig anzutreffende Radaranlagen im GHz-Bereich (Beispiele; Quelle: [5], S. 128)

\*Pulsspitzenleistung beim Impulsradar

\*\*Bw: Bundeswehr

## Radar- und Navigationsverfahren

Unterschiedliche und vielfältige Aufgabenstellungen erfordern komplexe und an der Problemstellung orientierte Lösungen für den Einsatz von Radarsystemen. Die zivilen und militärischen Aufgabenbereiche wurden grob in Tabelle 1-1 beschrieben. Hier folgt nun eine Zusammenstellung der verschiedenen Radarverfahren als Aufzählung nach der Art der Signalformen (Puls oder Dauerstrich = CW = **C**ontinuous **W**ave) bzw. nach Ausnutzung bestimmter physikalischer Effekte (Doppler-Effekt, Pulskompression usw.):

- Dauerstrich-Radar (CW), nur zur „Zielbeleuchtung“
- Dauerstrich-Radar mit Dopplerfrequenzverschiebung zur Geschwindigkeitsmessung
- Dauerstrich-Radar mit Dopplerfrequenzverschiebung zur Navigation
- Dauerstrich-Radar zur Bewegungsmeldung bzw. Alarmauslösung
- Dauerstrich-Radar als Landeanflughilfe
- FM-CW-Radar zur Entfernungsmessung oder Flughöhen-Messung (FM: **F**requenz**m**odulation)
- Puls-Radar zur Entfernungsmessung
- Puls-Radar zur Höhenmessung
- Puls-Radar zur Zielverfolgung
- Puls-Radar zur Landeanflughilfe PAR (**P**räzisions-**A**nflug-**R**adar)
- Puls-Doppler-Radar zur Detektion, Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung
- 2D- und 3D-Radar (D = Dimension (des Raumes))
- FM-Puls-Radar mit Pulskompression zur hochempfindlichen Detektion von fernen Objekten
- Transponder-Sekundär-Radar mit gepulsten Abfrage- und Antwort-Signalen (**S**econdary **S**urveillance **R**adar **SSR**)

## Radarantennen

Die Grundforderungen bei Radarsystemen sind eine hohe Messgenauigkeit, eine große Reichweite und ein gutes Auflösungsvermögen. Diese führen physikalisch begründet meist zur Anwendung möglichst hoher Frequenzen.

Erst wenn Antennen- oder Antennenreflektorabmessungen ein Mehrfaches der verwendeten Wellenlänge betragen, entstehen hinreichend schmale Keulen in der Richtcharakteristik.

Die Radartechnik brachte durch die Verwendung der kurzen cm- und mm-Wellen bei Frequenzen im Gigahertz-Bereich die Anwendung einer neuen Leitungstechnik mit sich. Hier sind die Vorteile der **Hohlleiter** kaum durch andere Leitungstypen zu ersetzen.

Das Antennengebilde, das den Übertritt der elektromagnetischen Welle aus der Leitung in den freien Raum ermöglicht, wird auch **Primärstrahler** genannt. Die bekannteste Form ist der Hornstrahler oder die Hornantenne. Diese gibt es, je nach Polarisierung und Richtwirkung, in den unterschiedlichsten Ausführungsformen.

Zur Verbesserung des Antennengewinns und der Richtwirkung werden zusammen mit dem Primärstrahler noch Reflektoren oder Linsen zur Bündelung der Strahlen verwendet. Diese sind die **Sekundärstrahler**.

### ◆ Rundsichtantennen

Wie der Name bereits sagt, muss die Richtcharakteristik dieser Antennen rundherum drehbar sein, damit der gesamte Horizont um 360° abgeleuchtet werden kann.

Die einfachste Lösung ist eine drehbare Radarantenne, bei der Primär- und Sekundärstrahler zusammen auf einem Drehtisch mit bestimmter Winkelgeschwindigkeit rotieren. Siehe hierzu die Abbildungen 2-5 bis 2-10.

### ◆ 3-D-Radarantennen

Will man neben der Entfernung und Winkelstellung eines Zielobjektes auch noch dessen Höhe über Grund ermitteln, muss man hierzu in die dritte Dimension des Raumes gehen. Gegenüber herkömmlichen Rundsichtantennen wird nun durch Verwendung mehrerer übereinander gestaffelter Primärstrahler ein vertikaler Diagrammfächer geschaffen, mit dessen Hilfe bei der Zielerstellung ermittelt werden kann, ob sich in einer bestimmten Winkelstellung und in gleicher Entfernung ein oder mehrere Flugobjekte übereinander bewegen. Dieses Ergebnis lässt sich auch mit einem schwenkbaren schmalen Suchstrahl einer phasengesteuerten Antenne erreichen.

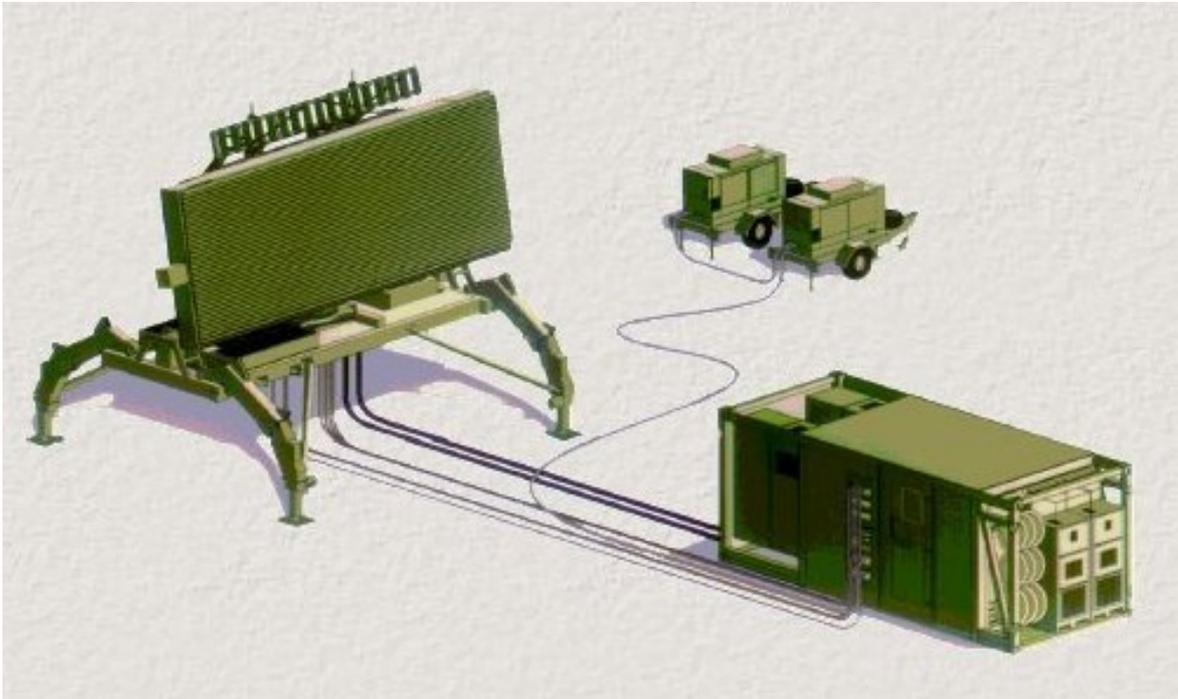


Abb. 2-11: Das taktische 3-D Luftraumaufklärungsradar Thomson Master-T (Quelle: [4])

### ◆ Präzisionsanflugradar (PAR)

Hier besitzen zwei getrennte Antennen einen Antennen-Nick- bzw. Schwenkbereich. Die kleinen und schnell bewegten Antennen erzielen eine sehr hohe Auflösung unter Verwendung von Zentimeterwellen im X-Band. Bei einem Öffnungswinkel von nur  $0,75^\circ$  wird ein Antennengewinn von 41 dB erzielt. Dies bedeutet eine Erhöhung der Strahlungsdichte in der Hauptkeule ca. um den Faktor 10.000 gegenüber einem in alle Raumrichtungen gleichmäßig abstrahlenden Kugelstrahler. Zum Vergleich haben Mobilfunk-Sektorantennen i.d.R. ca. 17 dB Antennengewinn (entsprechend Faktor 50 gegenüber dem Kugelstrahler).

### ◆ Militärische Radaranwendungen

Im militärischen Bereich gibt es eine riesige Vielfalt von unterschiedlichen Antennentypen. Vom Zielverfolgungsradar über das Gefechtsfeldüberwachungsradar bis hin zu Multiobjekt-Trackingradaren mit sehr hohem Antennengewinn, der Möglichkeit bis zu 10 Objekte gleichzeitig zu verfolgen und das mit einer hypothetischen Reichweite von bis zu 8.000 km.

Jedoch wird die Radarart mit der wohl niedrigsten Sendeleistung – bis zu 100 mW – von vielen Bürgern am meisten gefürchtet: Das

### ◆ Geschwindigkeitsradar

Hier betragen die Reichweiten nicht Kilometer sondern allenfalls Meter. Genau bis zu 50. Hier wird nicht mit rotierenden Radarimpulsen gemessen, sondern mit einer gepulsten kontinuierlichen Welle (CW-Radar). Die Frequenzverschiebung, die dabei zwischen dem ausgesandten und rückkehrenden Signal auftritt, ist proportional zur Relativgeschwindigkeit zwischen Beobachter und Ziel (Doppler-Effekt).

### ◆ Sekundär-Radar-Antennen

Unter Sekundär-Radar (Secondary Surveillance Radar SSR) versteht man ein Ortungsverfahren, bei dem sich an Bord des zu ortenden Flugzeuges ein aktives Antwortgerät (Transponder) befindet, das durch einen Abfrageimpuls einer Radarstation zu einer spezifischen Antwort veranlasst wird.

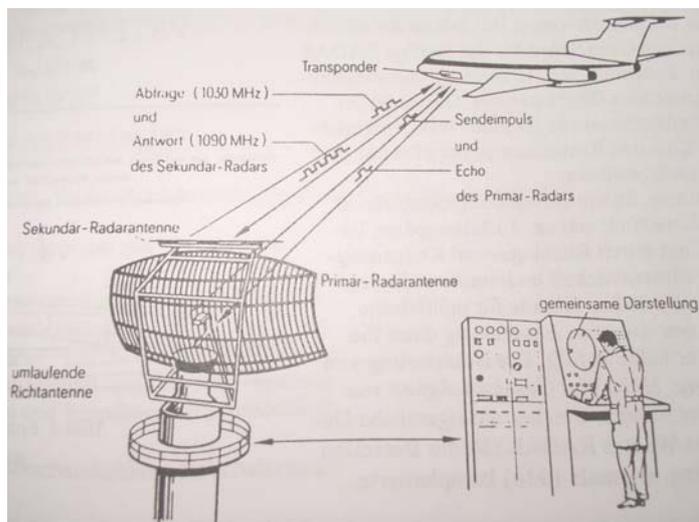


Abb. 2-12: Kombiniertes Primär- und Sekundärradarsystem (Quelle: [2])

### ◆ OSWIN-VHF-Radar zur Untersuchung der Atmosphäre



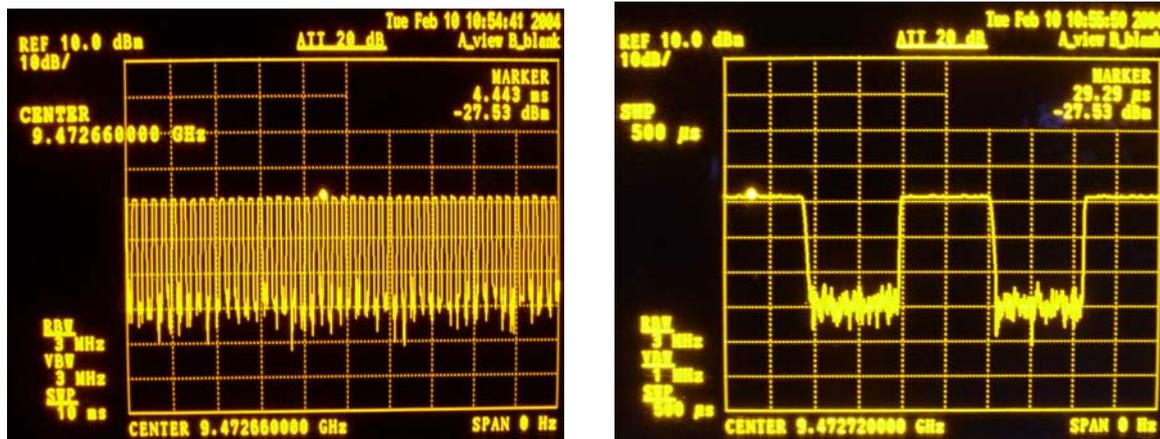
Bild 2-13: OSWIN (Ostsee-Wind-Radar) in Kühlungsborn; ein VHF-Radar, bestehend aus 144 Einzelantennen (4-Elemente-Yagi) zur Untersuchung der Dynamik und Struktur der Tropo-, Strato- und Mesosphäre (Quelle: [6])

- Frequenz: 53,5 MHz
- Spitzenleistung: 90 kW
- Mittlere Leistung: 4,5 kW (bei 5 % Impulszeit)
- 3dB-Öffnungswinkel: 6°
- Impulslänge: 1 - 32  $\mu$ s
- Pulswiederholfrequenz: < 50 kHz
- Höhenbereiche: (0,4) 1 - 18 km (65 - 95 km)

### ◆ Weitere Radarsysteme

Eine Vielzahl von Anwendungen zur Überwachung von Räumen oder Trassen, in Verbindung mit oder als Alarmanlage werden auch im privaten Bereich immer beliebter. Hier kann z.B. wie beim DECT-Telefon, beim Access-Point des WLAN oder der drahtlosen Bild- und Tonübertragung auf die aufwändigere Verkabelung verzichtet werden.

Als Beispiel sei die Auflösung eines CW-Radars an einer Detektionsstrecke in einem Hochsicherheitsbereich aufgeführt. Hier wird der Zugang zu einem Gelände mit Hochfrequenz im Zentimeter-Bereich überwacht. Die horizontale Zeitachse auf dem Display des Spektrum-Analysators (Sweep Time) umfasst 10 ms (Abb. 2-14 a) bzw. 500  $\mu$ s (Abb. 2-14 b), die Pulsfrequenz beträgt ca. 5 kHz, die Sendefrequenz 9,47 GHz, die Sendeleistung 10 Watt. Die Reichweite beträgt maximal 250 Meter.



a) Zeitachse (Sweep Time) 10 ms

b) Zeitachse (Sweep Time) 500  $\mu$ s (= 0,5 ms)

Abb. 2-14: CW-Radar an einer Detektionsstrecke, Darstellung der Pulsung im Zeitbereich

## Grenz- und Vorsorgewerte für Radarintensitäten

### Grenzwerte

Für die Bevölkerung sind Grenzwerte in der 26. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (26. BImSchV), „Elektromogverordnung“ geregelt. Die Grenzwerte sind frequenzabhängig und betragen oberhalb von 2 GHz für das elektrische Feld 61 V/m (Volt pro Meter) bzw. für die Leistungsflussdichte 10 W/m<sup>2</sup> (= 10.000.000  $\mu$ W/m<sup>2</sup>).

Die 26. BImSchV gilt nicht für den Arbeitsschutz. Statt dessen wird zum Schutz der Beschäftigten die Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder (BGV B11) vom 1. Juni 2001 angewandt. Für Arbeitsplätze im Expositionsbereich 1 (kontrollierte Bereiche bzw. Bereiche mit nur vorübergehender Exposition über 10 W/m<sup>2</sup>,  $f > 2$  GHz) betragen die Grenzwerte oberhalb von 2 GHz 137,3 V/m bzw. 50 W/m<sup>2</sup>.

Die 26. BImSchV gilt **nur** für Funksendeanlagen, die **gewerblichen Zwecken** dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden. Die Funksendeanlagen der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten z.B. werden darin nicht erfasst.

Der Umkehrschluss: Nichtgewerbliche Anlagen, also Anlagen, die privaten oder hoheitlichen Aufgaben dienen, sind von der 26. BImSchV nicht erfasst.

Radaranlagen – zumindest die großen Flugsicherungs- und Küstenradare – dienen der Sicherheit der Bundesrepublik Deutschland und unterliegen damit nicht den Bestimmungen der 26. BImSchV. Gewerbliche Radare – wie z.B. CW-Radare für private Sicherungsaufgaben – fallen dahingegen unter die Grenzwertregelung der 26. BImSchV. Da hier die Sendeleistungen relativ niedrig, die Einsatzgebiete beschränkt und damit die Reichweiten kurz sind, haben diese Anlagen für die Allgemeinbevölkerung allerdings bei weitem keine so hohe biologische Relevanz wie die „großen“ Radare mit hoheitlichen Aufgaben.

Zur gesundheitlichen Relevanz von Radaranlagen schreibt das **Bundesamt für Strahlenschutz** auf seiner Homepage „www.bfs.de/elektro/hff//andere\_anwendungen.html“:

„Radaranlagen werden für vielfältige Zwecke eingesetzt. Am bekanntesten sind Radarsysteme für die zivile und militärische Flugüberwachung, Wetterradar oder Verkehrsüberwachungsradar. Die genutzten Frequenzen liegen im Bereich zwischen 1 und 35 GHz ( ... ). Die Sendeleistungen sind abhängig von der Anwendung und können bei weitreichenden Radaranlagen bis in den Megawattbereich (Pulsleistung) reichen. Radargeräte auf Flugplätzen strahlen ihre Energie vorwiegend in den Luftraum ab, um fliegende Objekte zu erfassen. Die Feldeinwirkungen im Umkreis der Flug-Radaranlagen sind in den öffentlich zugänglichen Bereichen so gering, dass Beeinträchtigungen für die Bevölkerung nicht zu erwarten sind.“ [7]

Die gesetzlichen Grenzwerte der 26. BImSchV, auch wenn sie nur analoge Anwendung finden würden, haben noch die Besonderheit, dass **Pulsspitzen** der **Feldstärke** um den **Faktor 32** über den oben genannten Grenzwerten – die als Mittelwerte über einen Zeitraum von 6 Minuten definiert sind – liegen dürfen; bezogen auf die **Leistungsflussdichte** beträgt der **Faktor 1.000**. Die Pulsspitze eines Radarsignals darf nach dieser Rechnung bis zu 1.950 V/m betragen; dies entspricht einer Strahlungsdichte von 10.000 W/m<sup>2</sup> (10.000.000.000 µW/m<sup>2</sup>).

## Das Problem der Mittelung

Der alleinige Ansatz des thermischen Effekts bei der Grenzwertfestsetzung ohne Berücksichtigung von Periodizität und Pulsspitzenleistung ist in der Wissenschaft umstritten.

So schrieb **Prof. Dr. Günter Käs** für den Münchner Merkur: “Die Grenzwerte sind völlig unzureichend für den Gesundheitsschutz. Alle offiziellen Stellen beten die Grenzwerte nach, auch das zuständige Bundesamt für Strahlenschutz. Es heißt, nach derzeitigem Stand der Wissenschaft sei eine Gesundheitsgefährdung ausgeschlossen. Das halte ich für hanebüchen. Den Experten der Bundeswehr ist seit Jahrzehnten bekannt, dass der Gesetzgeber die besonders gefährliche gepulste Mikrowellenstrahlung verharmlost. Hier wird einfach ein Mittelwert angesetzt. Darauf führe ich die ganze Geschichte zurück.“ [8]. Mit dem letzten Satz ist die hohe Zahl an Krebserkrankungen von Radarpersonal der Bundeswehr gemeint.

Prof. Käs weiter: “Saftige Ohrfeigen werden zu sanften Streicheleinheiten, wenn man die Ohrfeigen und die dazwischen eingelegten Pausen zusammennimmt und daraus einen rechnerischen Mittelwert bastelt.“ [8]

**Prof. Michael Kundi**, Leiter des Instituts für Umwelthygiene der medizinischen Universität in Wien zu „Puls-Tipp“, einer Schweizer Gesundheitszeitschrift in der Ausgabe 2/2004 zur Mittelung der Strahlungsintensitäten: „Es gibt keinen Anlass, Radarstrahlung so zu berechnen. Der wissenschaftliche Beweis, dass die Wirkung des gemittelten Wertes gleich ist, fehlt.“ [9]

Zur Mittelung von Pulsspitzen für die biologische Bewertung schreibt **Wolfgang Maes** in seiner in Kürze erscheinenden 5. Auflage 2004 des Buches „Stress durch Strom und Strahlung“:

„Am Beispiel Radar wird der legalisierte Unsinn des thermischen Konzeptes besonders deutlich. Das ist so, als würden Sie ihre Hand einen Moment in kochendes Wasser tauchen und dann zehn Sekunden Pause einlegen, dann wieder kochendes Wasser ... Wetten, dass die zwischen Kochwasser und kühler Umgebung theoretische gemittelte Wärme nur noch 30 °C Badewannenwohlfühltemperatur beträgt und Sie aus wissenschaftlicher Sicht keine biologischen Probleme haben dürften, keine Verletzung, keine Verbrühung, keine Brandblasen, keine Nervenreizung, nicht mal Hautrötung, auch nicht nach Jahren, so gesehen. Oder Sie drücken alle zehn Sekunden den Revolver neben dem Ohr ab. Ohrenbetäubender Knall, mathematisch gemittelt mit stillen zehn Sekunden ergibt Zimmerlautstärke. Rauschende Ohren, Schwerhörigkeit, Kopfschmerzen, das geplatze Trommelfell? Kann nicht sein, so gesehen. Wissenschaft made by Strahlenschutz. Eine Mittelung ist für biologische Bewertung nicht zulässig, es gibt hierfür keine wissenschaftliche Grundlage.“ [10]

## Vorsorgewerte

Vorsorgewerte für Radarintensitäten an Daueraufenthaltsplätzen sind bisher offiziell nicht definiert worden.

### ◆ Vorsorgewerte des Ecolog-Instituts, Hannover

Dem Autor sind jedenfalls bis auf die folgende Bewertung des Ecolog-Instituts, Hannover, vom Januar 2004 keine bekannt. In dem Vorschlag zur Bewertung von Messungen an Radaranlagen werden vom Ecolog-Institut vier Bewertungsgruppen benannt [9]:

- |                                   |  |                |
|-----------------------------------|--|----------------|
| 1. <b>unauffällige</b> Exposition | bis 25 $\mu\text{W}/\text{m}^2$              | (bis 0,1 V/m)  |
| 2. <b>erhöhte</b> Exposition      | 25 - 80.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$         | (bis 5,5 V/m)  |
| 3. <b>hohe</b> Exposition         | 80.000 - 82.000.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ | (bis 176 V/m)  |
| 4. <b>kritische</b> Exposition    | über 82.000.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$     | (über 176 V/m) |

Diese Bewertung orientiert sich am Anlagengrenzwert für Radaranlagen in der Schweiz. [9]

Eine Differenzierung nach unterschiedlichen Frequenzbändern oder Umlaufzeiten der Radarantenne wird nicht vorgenommen.

So schreiben Dr. H. Peter Neitzke und Dr. Julia Osterhoff, Ecolog-Institut, Hannover:

„Bei Experimenten an Tieren mit Puls-Feldstärken in Bereich „erhöhte Exposition“ wurde u.a. eine krebsfördernde Wirkung beobachtet (s. z.B. Chou und Mitarbeiter 1992, Repacholi und Mitarbeiter 1997). Es gibt auch Hinweise auf eine verstärkte Aktivierung so genannter Hitzeschock-Proteine (s. z.B. de Pomerai und Mitarbeiter 2000, 2003, Kwee und Mitarbeiter 2001). Dieser Effekt zeigt an, dass Zellen auf hochfrequente elektromagnetische Felder mit Stress reagieren. Außerdem spielen die Hitzeschock-Proteine möglicherweise eine Rolle bei der Entwicklung von Krebserkrankungen (French und Mitarbeiter 2001). Auch andere Auswirkungen auf zelluläre Prozesse wurden bei Puls-Feldstärken von weniger als 176 V/m festgestellt (s. z.B. Balcer-Kubiczek und Mitarbeiter 1991, Cain et al. 1997, Ivaschuk und Mitarbeiter 1997, Stagg und Mitarbeiter 1997). In der Umgebung der Skruna-Radaranlage in Lettland wurden bei Schulkindern Beeinträchtigungen motorischer und psychologischer Funktionen festgestellt (Kolodynski und Kolodynska 1996). Die Belastung der Kinder wurde zwar nur stichprobenhaft ermittelt, aber aus den Angaben in der Veröffentlichung lässt sich schließen, dass sie Puls-Feldstärken zwischen 1,0 und 30 V/m ausgesetzt waren.“ [9]

### ◆ Vorsorgeempfehlungen des Autors

Bewertungskriterien für Pulsspitzenleistungen von Radarintensitäten:

Radartyp / Pulsradar Umlauf- zeit	Belastung in $\mu\text{W}/\text{m}^2$				
	sehr niedrige	niedrige	mittlere	hohe	sehr hohe
<b>CW-Radar</b>	> 0,1	> 1	>10	> 100	> 1.000
<b>Pulsradar Umlaufzeit 1 sec.</b>	< 10	> 10	> 100	> 1.000	> 10.000
<b>Pulsradar Umlaufzeit &lt; 5 sec.</b>	< 50	> 50	> 500	> 5.000	> 50.000
<b>Pulsradar Umlaufzeit &gt; 10 sec.</b>	< 100	> 100	> 1.000	> 10.000	> 100.000

Diese Werte gelten für die Bewertung von Daueraufenthaltsplätzen. Intensitäten zeitsynchronisierter Radarfrequenzen werden als Summe erfasst.

## Studien zur gesundheitlichen Wirkung von Radaranlagen

Es gibt nur wenige Studien, die gesundheitliche Risiken von Radarintensitäten untersucht haben. Hier folgen einige Auszüge.

### ◆ Erhöhte Leukämierate bei HF-exponierten Soldaten

Prof. Stanislaw Szmigielski – Zentrum für Strahlenbiologie und Strahlensicherheit Warschau (1995), [11]

Polnisches Militärpersonal, das in erhöhtem Maße HF-Strahlung und Mikrowellen ausgesetzt war, weist nach einer polnischen Studie eine erhöhte Krebsrate gegenüber Nichtexponierten auf. Insbesondere war das relative Risiko, an Krebsarten des blutbildenden Systems (Lymphome und Leukämien) zu erkranken, unter Hochfrequenzbelastung bis um das Achtfache erhöht.

Die Studie, die von Prof. Stanislaw Szmigielski vom Zentrum für Strahlenbiologie und Strahlensicherheit und dem Militärinstitut für Hygiene und Epidemiologie in Warschau durchgeführt worden war, erfasste einen 15-jährigen Zeitraum (1971-1985). Im Durchschnitt wurden jährlich 127.800 Soldaten in die Untersuchung aufgenommen, von denen durchschnittlich 3.720 hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (HF- und Mikrowellen) ausgesetzt waren.

Wie in der Ausgabe Mai/Juni 1995 der Zeitschrift Microwave News berichtet, ermittelte Szmigielski, ein ehemaliges Mitglied des Herausgeberstabes der renommierten Zeitschrift „Bioelectromagnetics“, eine Verdoppelung des Erkrankungsrisikos bei Exponierten gegenüber der Kontrollgruppe bei Einbeziehung aller Krebsarten und eine noch deutlichere Erhöhung des Risikos für die meisten akuten und chronischen Krebsarten des blutbildenden Systems.

Das nachträglich geschätzte relative Risiko (Odds Ratio), an Lymphomen oder Leukämien zu erkranken, betrug bei Betrachtung aller Altersgruppen mehr als das Sechsfache, für die Altersgruppe der 20 bis 49-jährigen Exponierten sogar mehr als das Achtfache gegenüber der Kontrollgruppe. Die erhöhte Erkrankungsrate war für alle Altersgruppen hoch signifikant ( $p < 0,01$  bzw.  $p < 0,001$ ). Die durchschnittliche jährliche Neuerkrankungsrate einer Krebserkrankung betrug in der exponierten Gruppe 119 pro 100.000 und in der nichtexponierten Gruppe 58 pro 100.000. Die entsprechenden Neuerkrankungsraten von Leukämien und Lymphomen lagen bei 43 für exponierte Soldaten gegenüber 6,8 bei nichtexponierten. Insgesamt traten in der exponierten Gruppe 25 und in der großen Kontrollgruppe 133 Leukämien und Lymphome auf.

Auch die Raten für Gehirntumore und bösartige Erkrankungen der Speiseröhre sowie des Dick- und Enddarms waren in der strahlenexponierten Gruppe erhöht.

Eine Bestätigung der Ergebnisse bedarf nach Ansicht von Szmigielsky einer größeren Gruppe exponierten Personals. Dies sei nur möglich in Zusammenarbeit mit anderen Ländern. Es bestehe in dieser Richtung dringender Forschungsbedarf, zumal sich die Expositionen in Größenordnungen bewegten, die bisher allgemein als gesundheitlich unbedenklich angesehen werden.

Informationen über das Expositionsmaß wurden für die Studie von militärischen Sicherheitsgruppen gesammelt, die HF- und Mikrowellenintensitäten an Stellen gemessen hatten, wo entsprechende Geräte benutzt, repariert oder gewartet wurden. Die meisten Quellen emittierten gepulste Strahlung auf Frequenzen zwischen 150 und 3.500 MHz. Die Messungen ergaben, dass 80 - 85% der Expositionen  $2 \text{ W/m}^2$  nicht überschritten, die übrigen sich zwischen  $2$  und  $6 \text{ W/m}^2$  bewegten und nur wenige über  $6 \text{ W/m}^2$  lagen. Der Autor betonte, dass die Expositionen gleichmäßiger waren als in typischen Elektroberufen. [11]

Zum Vergleich: Die internationalen Grenzwertempfehlungen (IRPA 1988) liegen für die Allgemeinbevölkerung zwischen  $2 - 10 \text{ W/m}^2$  (30 - 300 MHz) und  $10 \text{ W/m}^2$  (2 - 300 GHz) und für die erhöhte bzw. kurzfristige berufliche Exposition (Expositionsbereich 1) zwischen  $10 \text{ W/m}^2$  (30 - 400 MHz) und  $50 \text{ W/m}^2$  (2 - 300 GHz).

### ◆ Leicht erhöhtes Risiko für Gehirntumore bei EMF-exponiertem US-Air-Force-Personal

J. Kevin Grayson vom Armstrong-Forschungslabor der Brooks Air Force Basis in Texas untersuchte 230 Fälle von Gehirntumoren bei männlichen Personen, die zwischen 1970 und 1989 mindestens ein Jahr bei der Air Force beschäftigt waren ( $n = 880.000$ ), und verglich diese mit 920 Kontrollfällen. Die kumulative Belastung durch niederfrequente EMF und Hochfrequenzstrahlung wurde auf der Basis der Art und der Dauer der Tätigkeit geschätzt. Für den Niederfrequenzbereich wurden Einteilungen in „keine, mögliche, wahrscheinliche und

sichere Exposition“, für den Hochfrequenzbereich Einteilungen in „keine, mögliche und wahrscheinliche Exposition“ vorgenommen.

Wurden die Nicht-Exponierten den Exponierten gegenüber gestellt, so fand sich für die gegenüber niederfrequenten EMF Exponierten eine grenzwertig signifikante Zunahme des Risikos für das Auftreten eines Gehirntumors um 28 % (Konfidenzintervall: 0,95-1,74) und für die gegenüber hochfrequenten EMF Exponierten eine grenzwertig signifikante Zunahme des Risikos um 39% (Konfidenzintervall: 1,01-1,90). Bei diesen Berechnungen wurden Alter, Rasse und militärischer Rang berücksichtigt.

Es fand sich bei Berücksichtigung unterschiedlicher Intensitäten und Dauern der Exposition kein klarer dosisabhängiger Effekt. Zudem ließ sich keine wechselseitige Beeinflussung bei Exposition gegenüber verschiedenen Frequenzen nachweisen. Allerdings war ein zunehmender militärischer Rang mit einem erhöhten Risiko verbunden.

Dieser Zusammenhang zwischen militärischem Rang und Hirnkrebsrisiko ließ sich nicht dadurch erklären, dass höherrangige Personen länger bei der Air Force waren, denn auch unter Berücksichtigung von Alter oder Dauer des Dienstes blieb der Effekt bestehen. Der Zusammenhang konnte vom Autor nicht hinreichend erklärt werden.

Abschließend geht Grayson trotz der Begrenztheit der Studie, die vor allem die Expositionsabschätzung betrifft, davon aus, dass eine "geringe Beziehung" zwischen EMF-Exposition und Gehirntumoren bei Air-Force-Mitarbeitern bestehe. Genauere Aussagen ließen sich nur durch sehr aufwendige prospektive Studien mit Messungen der Exposition gewinnen. [12]

#### ◆ Häufung von Hirntumoren in Vollersode bestätigt

In Vollersode und Wallhöfen im Landkreis Osterholz-Scharmbeck, nördlich von Bremen, hatte Egbert Kutz, ein örtlicher Arzt für Allgemeinmedizin, zwischen 1981 und 1994 eine Häufung von Hirntumoren festgestellt. 1997 wurden die Ergebnisse einer Befragung des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes veröffentlicht, nach denen der Verdacht einer Verursachung durch Radarstrahlung fortbesteht.

Kutz hatte im genannten Zeitraum alle Hirntumore in der Gemeinde Hambergen registriert, in der eine deutliche Häufung der Hirntumorfälle in Vollersode und Wallhöfen aufgefallen war [13]). Mit 15 Hirntumorfällen war die statistische Durchschnittswahrscheinlichkeit um das Fünffache überschritten worden. Die Häufung war auch vom Robert-Koch-Institut in Berlin bestätigt worden.

Als Ursache vermuten Kutz und besorgte Bürger, die sich in einer Bürgerinitiative zusammengeschlossen hatten, die Radaranlage der Bundeswehr-Raketenstellung und den Fernmeldefunkturm der Telekom. Zeichnet man um beide Sendeanlagen einen Kreis von dreieinhalb Kilometern Radius, so liegen die meisten Hirntumorfälle in dem Bereich, wo sich beide Kreise überlappen.

Der Radarexperte Prof. Dr. Heinrich Hönerloh vermutete als Ursache für die erhöhte Anzahl der Tumoren die Radarstrahlen aus den Hochleistungsgeräten der Raketenstellung. Die Exposition könne durch Reflexionen z. B. am Funkturm erhöht werden. Demgegenüber seien die Emissionen des Telekom-Funkturms vernachlässigbar.

Messungen zeigten, dass die zeitlich gemittelte Dauerleistung für die Radaranlage (Hawk-Raketenstellung mit Rundsicht- und Zielmarkierungsradar) um ein Mehrfaches über der des Fernmeldefunkturms der Telekom liegt. Die – umstrittenen – gesetzlichen Grenzwerte werden jedoch heute nicht überschritten. Werte für die Vergangenheit waren nicht zu erhalten.

Um die Ursache für die Tumorhäufung zu klären, wurde vom Niedersächsischen Landesgesundheitsamt eine Befragung der erkrankten Bewohner bzw. bei Verstorbenen eine Befragung der Angehörigen hinsichtlich des Vorliegens weiterer möglicher Risikofaktoren für die Entwicklung eines Hirntumors durchgeführt. Neben der Sicherung der Diagnose interessierten das Vorliegen von Schädel-Hirn-Verletzungen, vergangene Strahlenanwendungen (Röntgen etc.), eine besonders starke Pestizid-, Holzschutzmittel- oder Lösungsmittelexposition, Nikotin- und Alkoholkonsum, Medikamenteneinnahme und die Verwendung elektrischer Geräte.

#### Ergebnisse der Befragung

- Von den 15 Patienten mit Hirntumoren hatten 14 ihren Wohnort in Vollersode. Von diesen haben sechs Fälle immer dort gelebt, weitere sechs haben länger als 16 Jahre und zwei weitere länger als 9 Jahre vor der Diag-

nose des Tumors dort gewohnt. Der fünfzehnte Patient war zwei Jahre vor der Diagnose verzogen, hatte aber vorher sehr lange in Vollersode gewohnt und wurde daher berücksichtigt.

- Die Altersverteilung bei den bösartigen Tumoren war im Vergleich zum Krebsregister des Saarlandes deutlich nach unten verschoben. Der Median (Zentralwert) in Vollersode lag bei 40 Jahren gegenüber 55 bis 60 Jahren im Krebsregister.
- In vier Fällen bestanden Vorerkrankungen im Schädel-/Hirnbereich (zwei Fälle von Gehirnerschütterung, ein Fall von Hirnhautentzündung und ein Fall von Schlaganfall).
- Auffälligkeiten hinsichtlich weiterer möglicher Risikofaktoren, die auf eine besondere Belastung des untersuchten Kollektivs durch chemische Substanzen (Medikamente, Alkohol, Pestizide etc.) oder durch ionisierende und nicht-ionisierende Strahlung (Röntgen, niederfrequente elektromagnetische Felder) schließen lassen, bestanden nicht.

### Schlussfolgerungen

Aufgrund der Befragung bleibt festzuhalten:

- Es gibt eine auffällige Häufung von Hirntumoren, was einen Hinweis auf einen besonderen äußeren Auslöser gibt.
- Das Erkrankungsalter ist auffällig niedrig, was ebenfalls ein Hinweis auf eine Auslösung durch einen äußeren Faktor ist.
- Außer der hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung durch die Radaranlage und die Funksendeanlage gibt es weiterhin keinen anderen Hinweis auf einen auslösenden äußeren Faktor.

Möchte man sich nicht damit zufrieden geben, dass es sich um eine zufällige Häufung handelt oder dass ein bisher unbekannter Faktor für die Häufung der Hirntumoren verantwortlich ist, so steht die Radar-Strahlung weiterhin im Verdacht, Ursache für die Häufung der Hirntumore in Vollersode und Wallhöfen zu sein. [13]

### ◆ **EMF-Forschung in der UdSSR / GUS 1960 bis 1992**

Im Auftrag des ehemaligen Bundesamtes für Post und Telekommunikation (BAPT) führten Mitarbeiter des Instituts für Pathologische Physiologie der Humboldt-Universität Berlin (Charité) eine Literaturstudie über die EMF-Forschung in der ehemaligen Sowjetunion und den GUS-Nachfolgestaaten der Jahre 1960 bis 1992 durch. Die Wissenschaftler der UdSSR hatten sich intensiv mit den biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder befasst und dabei bemerkenswerte Ergebnisse erhalten, die auf gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder unterhalb der internationalen Grenzwerte hinweisen. [14]

Das 150 Seiten starke Gutachten berücksichtigt 232 wissenschaftlichen Beiträge. Andere Arbeiten wurden von den federführenden Berliner Wissenschaftlern Dr. habil. nat. Marianne Poppei, Dr. Dietmar Sass und Dr. Naum Goldstein wegen methodischer Mängel oder anderer Themenstellungen (z. B. medizinische Therapie) nicht näher betrachtet.

Wie in der Forschung der westlichen Industriestaaten galt das Hauptaugenmerk der Wissenschaftler der ehemaligen UdSSR vor allem den nicht-thermischen Wirkungen schwacher elektromagnetischer Felder und den sich daraus ergebenden Folgerungen für Grenzwertempfehlungen. Es wurde das Frequenzspektrum zwischen 10 Hz und ca. 3 GHz untersucht, darunter im Niederfrequenzbereich vor allem 50 Hz (übliche Haushaltswechselspannung) und im Hochfrequenzbereich 2.375 MHz (Mikrowellenbereich).

Die Autoren der Literaturstudie weisen auf einige Schwächen hin, die die Verwendbarkeit der Ergebnisse einschränken: Methodische Mängel und geringes wissenschaftliches Niveau hätten zum Ausschluss von etwa 40% der Arbeiten geführt. Veröffentlichte Resultate widersprachen sich oftmals. Es seien keine epidemiologischen Studien mit exakten Angaben der EMF-Belastung bekannt. Solche Angaben liegen nur für Untersuchungen an Freiwilligen sowie für Tier- und Zell- bzw. Gewebeexperimente vor.

Als Nachteil erweist sich zudem die Tatsache, dass im niederfrequenten Bereich vor allem die Stärke des elektrischen Feldes (Volt/Meter) und nur selten die magnetische Flussdichte (Tesla) gemessen wurde. Leider lässt sich im niederfrequenten Bereich von der elektrischen Feldstärke nicht auf die magnetische Flussdichte schlie-

ßen, der heute allgemein die größere biologische Relevanz zugesprochen wird. Die wenigen experimentellen Studien mit Angaben über die Stärke der magnetischen Flussdichte bewegen sich im Milliteslabereich (mT), also deutlich über den internationalen Grenzwertempfehlungen für die Allgemeinheit von 100 µT (Mikrotesla), so dass sie für die Frage der biologischen Relevanz von EMF unterhalb der Grenzwerte keine große Rolle spielen.

Hier sollen vor allem solche Ergebnisse vorgestellt werden, die hinsichtlich der Expositionsstärken eine Bedeutung für die allgemeine Öffentlichkeit und die Arbeitswelt haben können und sich als weitgehend konsistent erweisen.

### Thermische - Athermische Wirkungen

Thermische Effekte durch EMF sind vergleichbar mit thermischen Effekten durch Erwärmung. Aufgrund verschiedener Wärmeeffekte wurde von UdSSR-Wissenschaftlern eine Schwellenintensität für eine Wärmewirkung von ungefähr  $0,1 \text{ W/m}^2$  ermittelt. In der westlichen Literatur wird diese Schwelle wesentlich höher angesetzt, so dass die IRPA-Grenzwerte von 1988 für den Mikrowellenbereich bei  $10 \text{ W/m}^2$  liegen. Am Anfang wurden in der UdSSR nur solche Effekte als athermische bzw. nicht-thermische Wirkungen bezeichnet, die ohne Wärmeentstehung zu verschiedenen Veränderungen führen. Später wurde darauf hingewiesen, dass dies eine lokale Wärmeentwicklung nicht ausschließt (STEMLER 1978, CHISCHNJAK 1987). Bei hochfrequenter Strahlung mit hoher Absorption trete eine Mikroerwärmung auf (OSIPOW 1963). FEITELBERG-BLANK (1979) und CHISCHNJAK (1987) sind sogar der Ansicht, dass die Einteilung von thermischen und athermischen spezifischen Effekten im Prinzip nicht korrekt ist.

### Epidemiologische Studien

Bei Untersuchungen an Berufstätigen im Bereich von hochfrequenten Generatoren wurden Klagen über schnelle Ermüdbarkeit, Reizbarkeit, Verschlechterung des Gedächtnisses, Kopfschmerzen, Atemstörungen und Schlafstörungen registriert (KOWSCHILO 1983). Die Erregbarkeit der Bewegungsreflexe war mit zunehmender Arbeitsdauer erhöht, die Reaktionszeit verkürzt (BOITZOW 1984). In einer anderen Studie fiel eine Störung der Anpassung des Auges an die Dunkelheit auf (NIKOGOSJAN 1971). Untersuchungen an Elektroschweißern, die unter EMF von 50 Hz arbeiteten, zeigten motorische Störungen (Tremor der Augenlider und Ruhezittern der Hand) und eine erhöhte Reaktivität des vegetativen Nervensystems (ABRAMOWITSCH 1973). Arbeiter, die 5 bis 10 Jahre einer hohen Mikrowellenbelastung ausgesetzt waren, wiesen Veränderungen des Blutflusses im Gehirn auf (verminderte Blutfülle, veränderte Spannung der Blutgefäße) (SADSCHIKOWA 1972). Verschiedentlich wurden Veränderungen der Kreislaufregulation beobachtet. Arbeiter an EMF-Generatoren wiesen fast immer Störungen des hormonellen Systems auf (Schilddrüsenüberfunktion, Störungen des Hypothalamo-Hypophysen-Nebennierenrinden-Systems, Störungen des Ovarialzyklus bei Frauen, erhöhte oder herabgesetzte Potenz bei Männern) (KOWSCHILO 1983). Arbeiter an Umspannstationen (50 Hz) wiesen mit zunehmender Arbeitsdauer eine Erhöhung der Phosphataseaktivität auf, was als Erschöpfung der Immunfunktion gegen Ende der Arbeitsschicht interpretiert wurde (BUKE 1984). Bei einer Untersuchung von Radiostationsarbeitern, die länger als 3 Jahre im Nahbereich von Kurzwellensendern arbeiteten, fand sich eine Verminderung der Aktivität der Phagozyten (Freßzellen). Die Mundhöhle „war übersät von Mikroorganismen“ (WOLKOWA 1973). Bei Arbeitern in Radio- und Fernsehstationen seien funktionelle Störungen (Magen, Bauchspeicheldrüse, Herz-Kreislaufsystem, Mineralstoffwechsel) häufig.

### Untersuchungen an Freiwilligen

Bei 18 von 25 Freiwilligen fand sich nach Mikrowellenbestrahlung ( $10 \text{ W/m}^2$ ) ein erhöhter Fingertremor. Bei  $30 \text{ W/m}^2$  trat eine erhöhte Bewegungsaktivität im Schlaf auf, die sich nach 2 bis 3 Tagen wieder normalisierte (PIWOWAROW 1966). IWANOW-MUROMSKI (1977) fand bei Freiwilligen (380 bis 500 MHz,  $10 \text{ W/m}^2$ ) akustische Effekte (Klingeln, Pulsation etc.) bei individuell unterschiedlichen Frequenzen. Weitere Experimente zeigten, dass sich eine Intensität von  $4 \text{ W/m}^2$  bei Frequenzen von 200 bis 3000 MHz als besonders wirksam für solche später als thermoakustische Effekte bezeichneten Phänomene erweist.

### Tierexperimente

Bei Bestrahlung von weißen Mäusen mit  $10 \text{ W/m}^2$  (850 MHz und 2.375 MHz, 2 Stunden täglich) wurden keine Veränderungen bemerkt. Bei  $100 \text{ W/m}^2$  traten Störungen der Bewegungskoordination auf (GUSAROW 1971). Viele Wissenschaftler untersuchten die neuronale Impulsaktivität des Gehirns unter der Bestrahlung. Neben ge-

hemmten Neuronen wurden andere aktiviert. Hochfrequente EMF-Bestrahlung (0,2, 0,8, 4, 20 W/m<sup>2</sup>) auf eine Gehirnhälfte von Kaninchen bewirkte EEG-Veränderungen der anderen Seite (GWOSTIKOWA 1963/1964). Von verschiedenen Autoren und bei unterschiedlichen Tierarten (Mäuse, Ratten, Meerschweinchen) wurden im allgemeinen bei niedriger Intensität und kurzzeitiger hochfrequenter Bestrahlung (Milliwattbereich pro cm<sup>2</sup>) eine Aktivierung von Immunfunktionen festgestellt, während langfristige oder intensive Bestrahlungen diese Funktionen hemmten (WARTANOW 1969, SMUROWA 1967, WINOGRADOW 1981). SCHANDALA (1982) beschreibt an Ratten nach der Einwirkung hochfrequenter Felder (0,5 - 5 W/m<sup>2</sup>) folgende Reaktionen: Veränderungen der Leukoblastentransformation, der Phagozytose, des Komplementgehaltes und der Autoimmunfunktion. Bei Mikrowellenbestrahlung (Ratten, Hunde, Kaninchen) mit Intensitäten von 2 bis 20 W/m<sup>2</sup> ist nach 5 bis 10 Minuten ein Anstieg der Oxidation festzustellen (SCHOLOCHOW 1971). Gehirn und Augenge-webe reagiere besonders empfindlich.

### Grundsätzliche Beobachtungen

Nach den Untersuchungen der Wissenschaftler der UdSSR ist das Nervensystem eines der empfindlichsten Systeme für die Wirkung von EMF. Es wurden vor allem unspezifische und subjektive Symptome wie Müdigkeit, Reizbarkeit, Schlafstörungen etc. festgestellt (KOWSCHILO 1983). Alle anderen Reaktionen des Organismus (Immunfunktion, Stoffwechsel, Herz-Kreislauf etc.) seien eng mit Wirkungen auf das Nervensystem verbunden.

Junge Tiere wiesen eine größere Empfindlichkeit für hormonelle Veränderungen auf als ältere (BASKURJAN 1982, SCHUTENKO 1981).

EMF-Expositionen von 10 W/m<sup>2</sup> bei 2.375 MHz haben offenbar in den ersten Wochen der Bestrahlung eine stimulierende Wirkung auf das Immunsystem. Solche Stimulationen werden als Anpassungs- (= Adaptions-) prozesse des Organismus angesehen. Bei längeren oder intensiveren Belastungen werden dagegen die Immunfunktionen gehemmt (KRYLOW 1983, SIDOROWA 1982, BOGOLJUBOWA 1990). Ähnliche Beobachtungen mit Grenzen zwischen Stimulierung bzw. Adaptation und Hemmung bzw. Maladaptation durch EMF wurden von anderen Autoren auch für andere Funktionssysteme gemacht (z. B. SWATSCHENKO 1982).

### Grenzwertempfehlungen

Für Grenzwertempfehlungen sind beispielsweise die folgenden Beobachtungen von Bedeutung. Nach WINOGRADOW (1974, 1981, 1985) können bereits Intensitäten von 0,5 W/m<sup>2</sup> (2.375 MHz) einen Einfluss auf Immunfunktionen haben. GRABOWITZ (1975) fand bereits bei Intensitäten von 0,1 W/m<sup>2</sup> (2.375 MHz, 8 Stunden täglich über 3 Monate) signifikante Veränderungen der Spurenelementkonzentration des Blutes.

In den 80er Jahren wurden maximal zulässige Werte für die Allgemeinbevölkerung und Mindestentfernungen zu Hochspannungsleitungen und HF-Sendern verabschiedet, die deutlich unter den Standards westlicher Industrieländer liegen. Beispielsweise betrug in Russland der maximal zulässige Wert für den Frequenzbereich zwischen 300 MHz bis 300 GHz 0,05 W/m<sup>2</sup>, während der Wert für die USA bei 10 W/m<sup>2</sup> lag. Wieweit diese Grenzwerte heute noch Gültigkeit besitzen, konnte von den Autoren nicht gesagt werden.

### Schlussfolgerungen

EMF können „funktionelle und sogar morphologische Veränderungen in allen geprüften Organsystemen verursachen, wenn sie in entsprechenden Frequenzen und Intensitäten sowie über bestimmte Zeiträume einwirken... Die Mechanismen dieser Wirkung sind gegenwärtig noch nicht umfassend bekannt. Der größte Teil der sowjetischen Wissenschaftler spricht von Wärmeeffekten. ... Auch wenn man die Erhöhung der Temperatur in biologischen Materialien oder Objekten durch EMF-Wirkung nicht erfassen kann, können Mikroerwärmungen, sowohl in Bezug auf Volumen als auch auf Temperaturveränderungen, zur Entwicklung von freiradikalen Prozessen führen.“ Die Einwirkung der EMF führe zu physiologisch unspezifischen Regulationsstörungen in verschiedenen Organ- bzw. Funktionssystemen. Die Autoren der Berliner Studie zitieren VIRCHOW (1869) mit den Worten: „Die Krankheit beginnt in dem Augenblick, wo die regulatorische Einrichtung des Körpers nicht ausreicht, die Störungen zu beseitigen.“ Von theoretischen Überlegungen ausgehend müsse es „Resonanzfrequenzen der EMF für jede der vielen oszillatorisch im Organismus ablaufenden Funktionen geben.“ Dies könne die Vielfalt der Ergebnisse erklären. [14]

### ◆ **Schiffsradar als Quelle für Hirntumore?**

Im Oktober 2002 bat Kapitän Reinard Landau, Schiffsführer des Schleppers „Mignon“ – damals arbeitete er auf dem Dortmund-Ems-Kanal – den Autor Messungen der Radarintensitäten auf seinem Schiff durchzuführen. Anlass dieser Untersuchung, die seiner Aussage nach bisher in der Praxis auch bei Kollegen in der Binnenschifffahrt nicht durchgeführt wurde, war die Sorge um seine Gesundheit. Hatte er doch innerhalb eines Jahres drei seiner Kollegen durch Hirntumoren verloren. Messungen in seinem Führerhaus ergaben Pulsspitzenintensitäten des eigenen Radars von  $1 \text{ W/m}^2$ ; dabei war die Radarantenne noch über dem Führerhaus positioniert. Antennen auf anderen Binnenschiffen (siehe Abb. 2-9) sind meist entweder vor oder neben dem Führerhaus installiert. Der Vorteil dieser Position ist, dass das Radar im Brückenbereich nicht eingefahren werden muss. Der Nachteil: Im Nahaufenthaltsbereich sind Intensitäten auch oberhalb von  $100 \text{ W/m}^2$  als Pulsspitzenleistung anzutreffen. Und dies überflüssigerweise tagsüber bei Sonnenschein und bester Sicht, über 8 bis 10 Stunden oder auch beim Liegen im Hafen.

Der Hersteller des Radarsystems auf der Mignon schreibt in seinem technischen Datenblatt, dass Vorsorge zu tragen ist gegen gesundheitliche Einwirkungen der Radarstrahlung – insbesondere für die Augen. Wie die Vorsorge auszusehen hat, wird aber nicht näher erläutert.

## **Radarmessungen, Beispiele, Ergebnisse und statistische Auswertung**

Radarsignale lassen sich fast überall messen. Selten war an den Messpunkten ein Radarsender sichtbar. Nur durch Ortskenntnis in Verbindung mit Kartenmaterial und Kompass war die Himmelsrichtung des Senderstandortes bestimmbar.

### **Eingesetzte Messausrüstung**

Alle vorgestellten Messungen wurden vom Verfasser mit folgender Messausrüstung durchgeführt:

- Spektrumanalysator Advantest R 3271 A, (Rohde&Schwarz, D), Seriennummer 85060135, innerhalb der letzten 12 Monate werkskalibriert, Messbereich 100 Hz - 26,5 GHz
- HL 025, logarithmisch-periodische Messantenne, Messbereich: 1 - 26,5 GHz, kalibriert, (Rohde&Schwarz, D)
- USLP 9143, logarithmisch-periodische Antenne, Messbereich 0,3 - 5 GHz, kalibriert, (Schwarzbeck, D)
- HF-Kabel Sucoflex 104, 5 m Länge, Verwendungsbereich: 1 - 26,5 GHz, kalibriert, (Huber + Suhner, CH)
- HF-Kabel AK 9513, 10 m Länge, Verwendungsbereich: 300 MHz - 3 GHz, kalibriert (Schwarzbeck, D)
- Holzstative mit 3D-Kugelkopf.

### **Vorgehensweise**

Die nachfolgend beschriebenen Messungen im Outdoorbereich wurden in einer Höhe von 1,5 bis 2 Meter über Grund durchgeführt, abhängig von der Polarisationssebene. Alle Indoor-Messungen wurden bei geschlossenen Fenstern durchgeführt. Messungen bei geöffnetem Fenster wurden den Outdoormessungen zugerechnet. Alle Messungen wurden in Anlehnung an die Schweizer Messvorschrift für GSM-Sendeanlagen durchgeführt [15], dabei wurden natürlich den Besonderheiten des Radars angepasste Geräteeinstellungen des Spektrumanalysators gewählt. Hat z.B. ein Mobilfunksender eine Kanalbandbreite von 200 kHz, so beträgt die typische Kanalbandbreite bei Radarsendern mehrere MHz, zum Teil bis zu 60 MHz. Bei allen Messungen wurde keine Beaufschlagung um 3 dB zur Berücksichtigung der Messtoleranz vorgenommen.

Gemessen wurde nur an Plätzen oder Orten, an denen sich dauerhaft Menschen aufhalten oder aufhalten können. Alle Messungen wurden in Wohngebieten oder direkt neben Häusern am Ortsrand vorgenommen.

## Erfassung der Messwerte

Für diese Auswertung wurden insgesamt 106 Radarmessungen berücksichtigt. Alle Messwerte sind Spitzenwerte.

Für die Auswertung der Radarmessungen wurden nur solche Messergebnisse herangezogen, die auch eindeutig einem Sender zugeordnet werden konnten, denn bei vielen Radarmessungen war ein Standort der Radaranlage nicht zu ermitteln. 106 Messergebnisse wurden dokumentiert und fließen in diese Auswertung ein. Davon sind 54 Messungen innerhalb von Gebäuden und 52 im Outdoorbereich erfolgt. Für die statistische Auswertung wurden jeweils die Messbedingungen vor Ort dokumentiert. Dazu gehört auch die Entfernung des Messortes zum Sender. Da an den allermeisten Messplätzen kein Sichtkontakt zum Radarsender bestand, wurde die Entfernung kartographisch ermittelt. Ungenauigkeiten von bis zu einem Prozent der Entfernungsstrecke sind möglich.

Die festgestellten Messwerte lassen sich in verschiedene Untersuchungsbereiche einteilen:

- a. Radarintensitäten im Verhältnis zur **Entfernung** vom Sender
- b. Intensitätsvergleich der **Indoor- und Outdoor-** Messungen
- c. Vergleich verschiedener **Frequenzbänder**
- d. Entfernungsdigramm **Radarintensitäten** (n = 106) im Vergleich zu **Mobilfunkintensitäten** (n = 215)

Anders als beim Mobilfunk ist nicht der „echte“ Sichtkontakt ein wesentliches Kriterium für die Strahlungsintensität am Messort, sondern die Topographie in Verbindung mit dem „möglichen“ Sichtkontakt zum Radarsender. Bei einer Entfernung von mehr als zehn Kilometern Luftlinie zum Radarsender ist normalerweise ohne Fernglas ein Sichtkontakt nicht mehr möglich. Es sei denn, ein ausgesprochen exponierter Platz, wie z.B. das Radom auf der Wasserkuppe, ist die höchste Erhebung und von vielen Himmelsrichtungen aus einsehbar.

Die kleinste Entfernung zu einem Radarsender betrug 130 Meter, die höchste Entfernung 45 km.

Folgende Parameter sind zu berücksichtigen:

- Abstand zur Radaranlage
- Art der Anlage (Versorgungsauftrag zivil oder militärisch)
- Anzahl der Sendefrequenzen
- Anzahl der Radarsendefrequenzen gesamt (z.B. Rundsicht-, Transponder- und Rollfeldradar)
- Topographie
- Sichtkontakt
- Reflektionen im Nahbereich
- Höhe des Messortes über Grund
- Bauweise / Baustoffe / Fensterglas / Dachaufbau

## Statistische Auswertung (gesamt)

Die Radarintensitäten betragen bei 106 ausgewerteten Messungen in % (Anzahl in Klammern):

- 8 % (8) bis  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 24 % (23)  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 24 % (25)  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 14 % (14)  $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 10 % (11)  $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $100.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 11 % (11)  $100.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 12 % (12)  $1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 2 % (2)  $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $100.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$

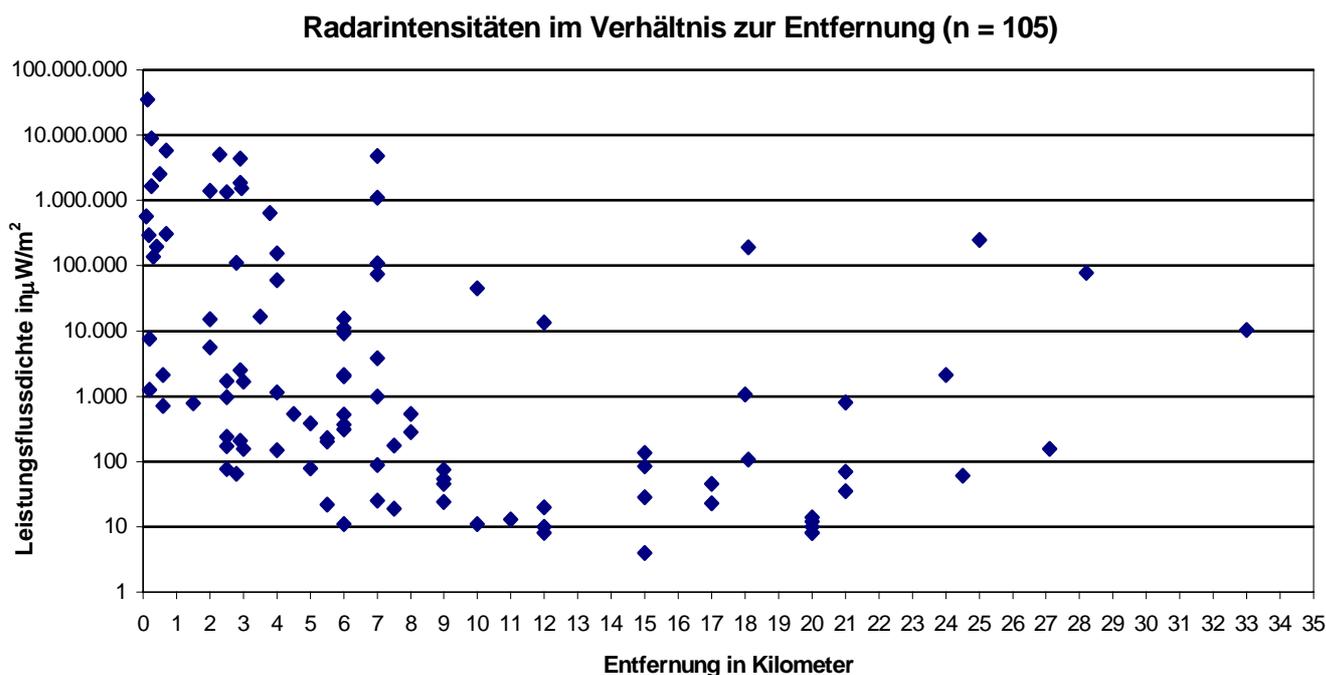
Auswertung nach Ecolog-Beurteilungswerten:

- 15 % der Messwerte liegen im Bereich „unauffällige Exposition“ bis  $25 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 60 % der Messwerte liegen im Bereich „erhöhte Exposition“ bis  $80.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 25 % der Messwerte liegen im Bereich „hohe Exposition“ bis  $82.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 0 % der Messwerte liegen im Bereich „kritische Exposition“  $> 82.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$

Auswertung nach Intensität und Entfernung:

- bis  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 12,0 bis 45,0 km
- bis  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,5 bis 24,5 km
- bis  $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 0,6 bis 27,1 km
- bis  $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 0,2 bis 24,0 km
- bis  $100.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,0 bis 33,0 km
- bis  $1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 0,15 bis 25,0 km
- bis  $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 0,25 bis 7,0 km
- bis  $100.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 0,13 bis 0,17 km

## Auswertung nach Intensität und Entfernung



**Abb. 4-1:** Radarintensitäten: Auswertung nach Entfernung zur Radaranlage

Die höchste gemessene Intensität betrug  $35.472.500 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Leistungsflussdichte bzw.  $115,7 \text{ V}/\text{m}$  elektrische Feldstärke. Der Messpunkt befand sich im Outdoorbereich ca. 130 m Luftlinie von einem Schiffsleitradar an einer belebten Uferpromenade.

Bis auf eine Messung an einem CW-Radar sind alle anderen Messungen an Rundblick-Pulsradaren durchgeführt

Die überwiegende Anzahl der Messungen (53) wurde an Radaren von Zivilflughäfen vorgenommen.

Bis auf den neuen Münchner Flughafen befinden sich alle anderen untersuchten zivilen Großflughäfen in oder direkt an Ballungsgebieten mit hoher Bevölkerungsdichte.

Die Anzahl der Messungen im Frequenzbereich über 3 GHz betrug 28. Hier wurden Schiffsleit- und Küstenradare, Rollfeldüberwachungsradare sowie Wetterradare gemessen. In Deutschland sind insgesamt 16 Wetterradare stationiert. Sie liefern die allabendlichen Radarfilmre im Wetterbericht der Tagesschau oder von Herr Kachelmann persönlich über zu erwartende Regenmengen oder herannahende Tiefdruckgebiete.

Besonderheiten bei den durchgeführten Messungen sind:

- dass bei den Messungen im L-Band militärische Flugsicherungsradare immer mit mehreren (mindestens 5) Frequenzen gleichzeitig senden.
- dass 500 Höhenmeter unterhalb eines Radarsenders in 12,3 km Entfernung immer noch  $13.600 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Leistungsflussdichte Indoor messbar waren.
- dass in 20 km Entfernung ein Wetterradar im 1. Obergeschoss – ohne topographische Höhenunterschiede zwischen Sende- und Messort – noch mit  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  messbar ist.
- dass der stärkste Radarsender aufgrund seiner hohen Sendefrequenz von 94 GHz vom Autor nicht gemessen werden konnte. Die Immissionen wurden daher von Prof. Dr.-Ing. H. Singer, Technische Universität Hamburg-Harburg, im Auftrag der Gemeinde Wachtberg in seiner gutachterlichen Stellungnahme vom 7.5.1997 rechnerisch ermittelt. Die Anlage wird als Versuchsradar betrieben, verursacht in 700 Meter Entfernung an einem Einkaufszentrum noch  $158.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bzw.  $244 \text{ V}/\text{m}$ , steht in Berkum (Voreifel) und wird am Wochenende meist ausgeschaltet. Dafür sind hier – auch am Wochenende – in 28,1 km Entfernung vom Kölner Flughafenradar noch  $78.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Leistungsflussdichte messbar.
- dass in 18,1 km ein Rollfeldüberwachungsradar noch  $108 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (9,1 GHz) verursacht.

## Auswertung nach Frequenzbändern

Die Aufteilung der Messungen (n = 106) nach Frequenzbändern ist in Tabelle 4-1 dargestellt.

Messungen im Frequenzband	Anzahl Messungen	Prozentanteil
L-Band (1 - 2 GHz)	20	19
S-Band (2 - 4 GHz)	62	58
C-Band (4 - 8 GHz)	8	8
X-Band (8 - 12 GHz)	16	15

Tab. 4-1: Anteile der Messungen nach Frequenzbändern

## Messvergleich Indoor-Outdoor

### Statistische Auswertung (Indoor)

Die Radarintensitäten betragen bei 54 ausgewerteten Indoor-Messungen (n = 105) in % (Anzahl in Klammern):

- 11 % (6) bis  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 35 % (19)  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 31 % (17)  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 7 % (4)  $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 7 % (4)  $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $100.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 4 % (2)  $100.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 4 % (2)  $1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  bis  $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$

Die Messungen wurden bei geschlossenen Fenstern durchgeführt.

Auswertung nach Ecolog-Beurteilungswerten (Indoor):

- 19 % der Messwerte liegen im Bereich „unauffällige Exposition“ bis  $25 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 74 % der Messwerte liegen im Bereich „erhöhte Exposition“ bis  $80.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 7 % der Messwerte liegen im Bereich „hohe Exposition“ bis  $82.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 0 % der Messwerte liegen im Bereich „kritische Exposition“  $> 82.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$

Auswertung nach Intensität und Entfernung (Indoor):

- bis  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 12,0 bis 45,0 km
- bis  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,5 bis 21,0 km
- bis  $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,5 bis 15,0 km
- bis  $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,5 bis 7,0 km
- bis  $100.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 7,0 bis 33,0 km
- bis  $1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,8 bis 7,0 km
- bis  $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  Entfernung: 2,9 bis 7,0 km

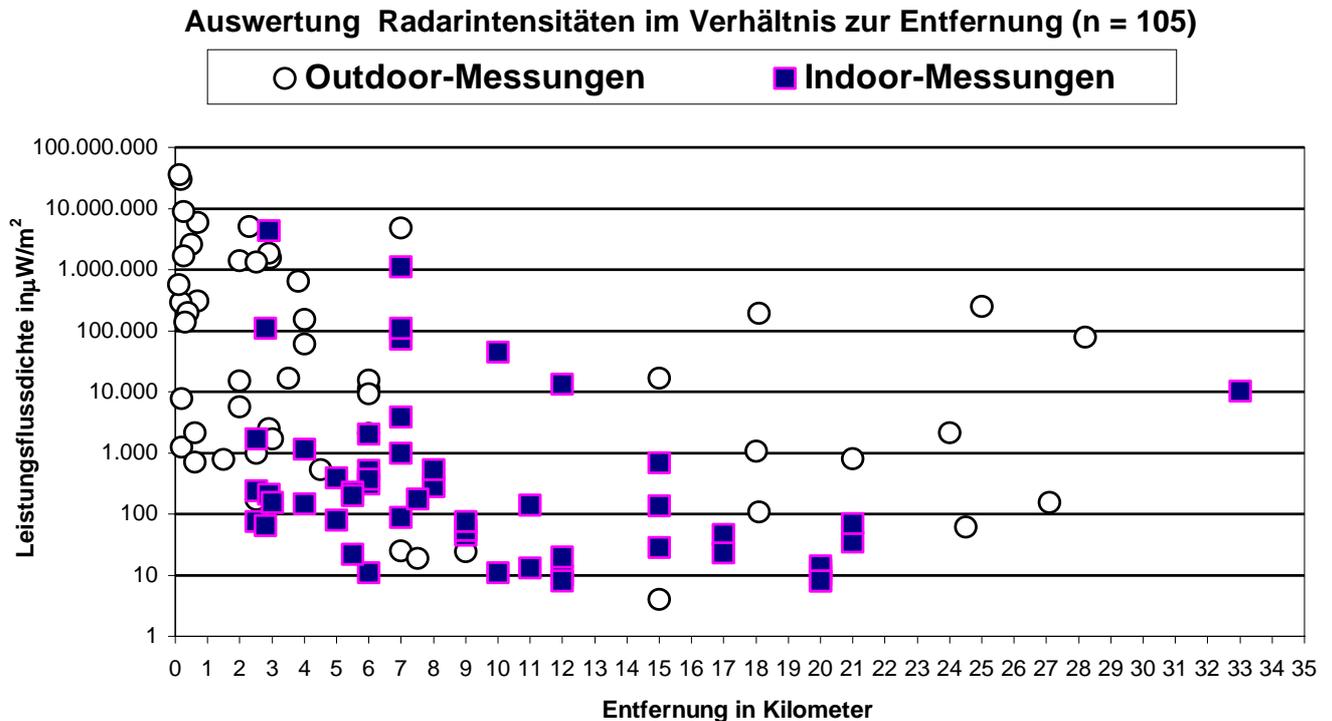


Abb. 4-2: Differenzierung nach Indoor- und Outdoormessungen

Besonderheiten sind:

- dass im Schlafzimmer des 1. Obergeschosses einer Wohnung – ohne Sichtkontakt zum militärische Flugsicherungsradar – in 3 km Entfernung  $110.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  anzutreffen sind.
- dass im Schulzentrum Bremen-Huchting in 2,9 km Entfernung im 5. Obergeschoss  $4.353.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  vom Flughafenradar gemessen wurden, die auf Dächern der Nachbargebäude 80 bzw. 100 Meter entfernten Mobilfunksendantennen von E-plus, T-Mobile, Vodafone und O<sub>2</sub> insgesamt  $54.800 \mu\text{W}/\text{m}^2$  verursachten. Die Intensitäten beider Sendergruppen wurden im Schulraum bei geschlossenen Fenstern ermittelt.

- dass im Indoorbereich die höchste Radarstrahlung aus der entgegengesetzten Richtung zur Senderquelle her rühren kann.
- dass – ähnlich wie bei Mobilfunkmessungen – der Unterschied zwischen den Messwerten im Erdgeschoss und im 1. oder 2. Obergeschoss bis zu 20 dB, manchmal auch mehr betragen kann.

## Mobilfunk- und Radarintensitäten im Vergleich / Abstandsprofile

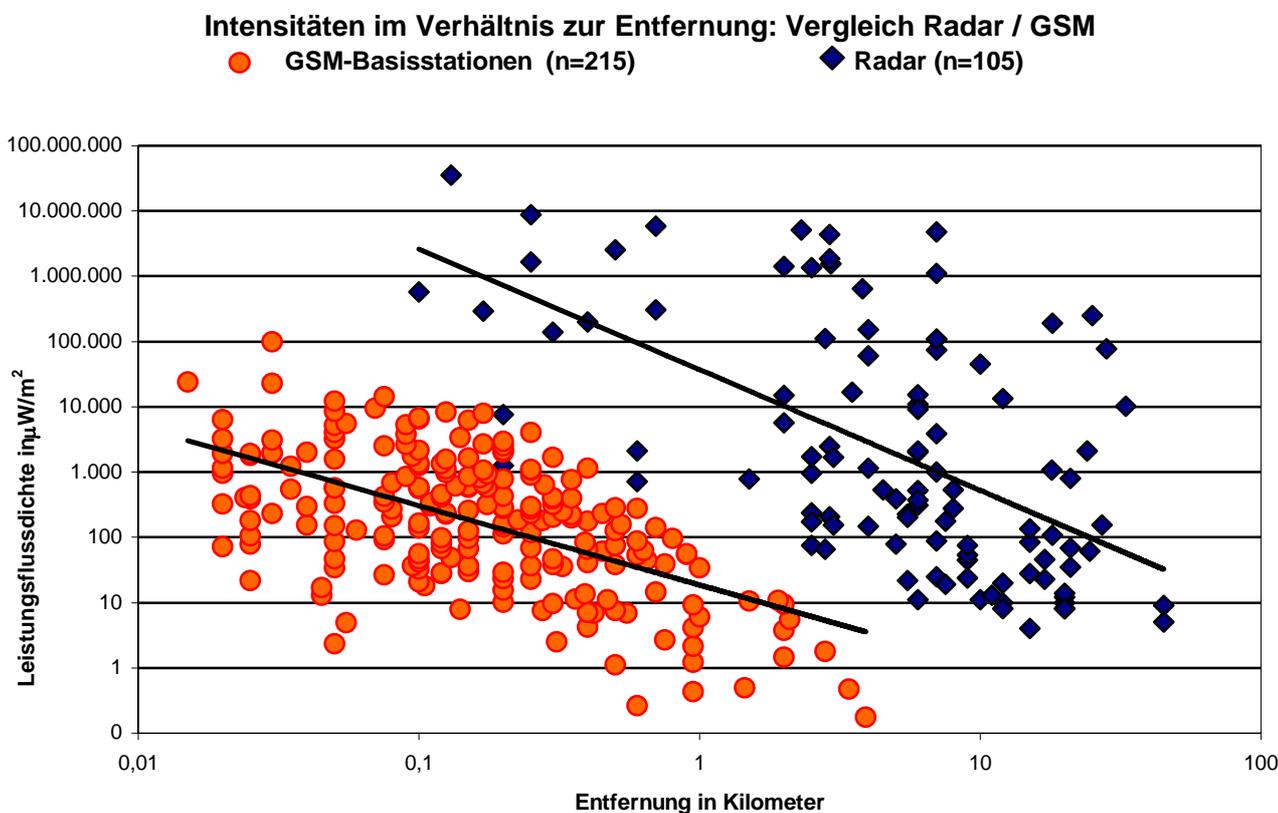


Abb. 4-3: Abstandsprofile GSM-Mobilfunk- (n = 215) und Radarintensitäten (n = 105) im Gesamtvergleich (Abstandsprofil der GSM-Basisstationen aus [16], S. 62)

Mobilfunksendeanlagen stehen im Nahbereich von Wohngebieten und verursachen dort dauerhaft eine mittlere HF-Intensität von **1.675  $\mu\text{W}/\text{m}^2$**  bei einem mittleren Abstand von **327 Metern** (n=215) [16]

Radar-Sendeanlagen stehen meist am Rande von Städten, auf topographisch günstigen Plätzen im unbewohnten Umfeld, teilweise aber auch mitten in Wohngebieten (Beispiel: Echterdingen-Stetten, Abb. 2.5). Der Mittelwert der Leistungsflussdichte – in Bezug auf die Fallzahl – beträgt **1.026.191  $\mu\text{W}/\text{m}^2$**  bei einem mittleren Abstand von **9,01 km** (n = 106).

## Fallbeispiele aus dem Süddeutschen Raum

### ◆ Schnaitsee/Oberbayern

Die vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen in Auftrag gegebene und veröffentlichte Untersuchung zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern, sog. „**Rinderstudie**“, herausgegeben Januar 2001, erforschte u.a. die Auswirkungen elektromagnetischer Wellen auf das Verhalten von Rindern. Auf 38 landwirtschaftlichen Betrieben in Hessen und Bayern wurden Mobilfunkintensitäten im Stall und im Umfeld der Höfe gemessen. Daneben wurden auch Rundfunk- und Fernsehsender messtechnisch erfasst. Warum Radarintensitäten keine Berücksich-

tigung fanden ist nicht wirklich nachvollziehbar, zumal auch hier überwiegend periodisch gepulste Signale eingesetzt werden. Wie viel ist eine 800.000 DM teure Studie wert, in der die stärksten Verursacher – was die Pulsspitzenleistung angeht – ohne Erwähnung bleiben?

Die höchsten Messwerte, bezogen auf den Mobilfunk, betragen in Schnaitsee nicht mehr als  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Die Pulsspitzenleistung eines Flugsicherungs-Rundstrahlradars mit Frequenzen von 1,258 GHz und 1,344 GHz mit Standort Hohenlinden-Birkach verursacht hier eine Gesamtimmission von  $247.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (Messpunkt Obernhof 2 in Schnaitsee). Selbst der gemittelte Wert würde unter Berücksichtigung des nicht unerheblichen Reflektionsverhaltens deutlich über den Mobilfunkintensitäten liegen. Der Verursacher ist allerdings 25 km Luftlinie entfernt, nicht sichtbar und von daher wahrscheinlich einfach vergessen worden ... oder?

Die Radaranlage in Hohenlinden-Birkach schlug auch im 33 km entfernten Rosenheim im 7. Stockwerk eines Hochhauses noch mit  $11.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (Pulsspitzenleistung) zu Buche.



**Abb. 4-4:** Messung der Radarstrahlung des Flugsicherungs- und Luftraumüberwachungsradars aus Hohenlinden-Birkach. Die Messung wurde exakt in Höhe der Schlafräume des benachbarten Hofes durchgeführt (Obernhof 2 in Schnaitsee).

#### ◆ Flughafen Stuttgart



**Abb. 4-5:** Bernhausen  
100 m vom Flughafengelände Stuttgart entfernt



**Abb. 4-6:** Hasenhof  
2,3 km vom Radarsender in Stetten

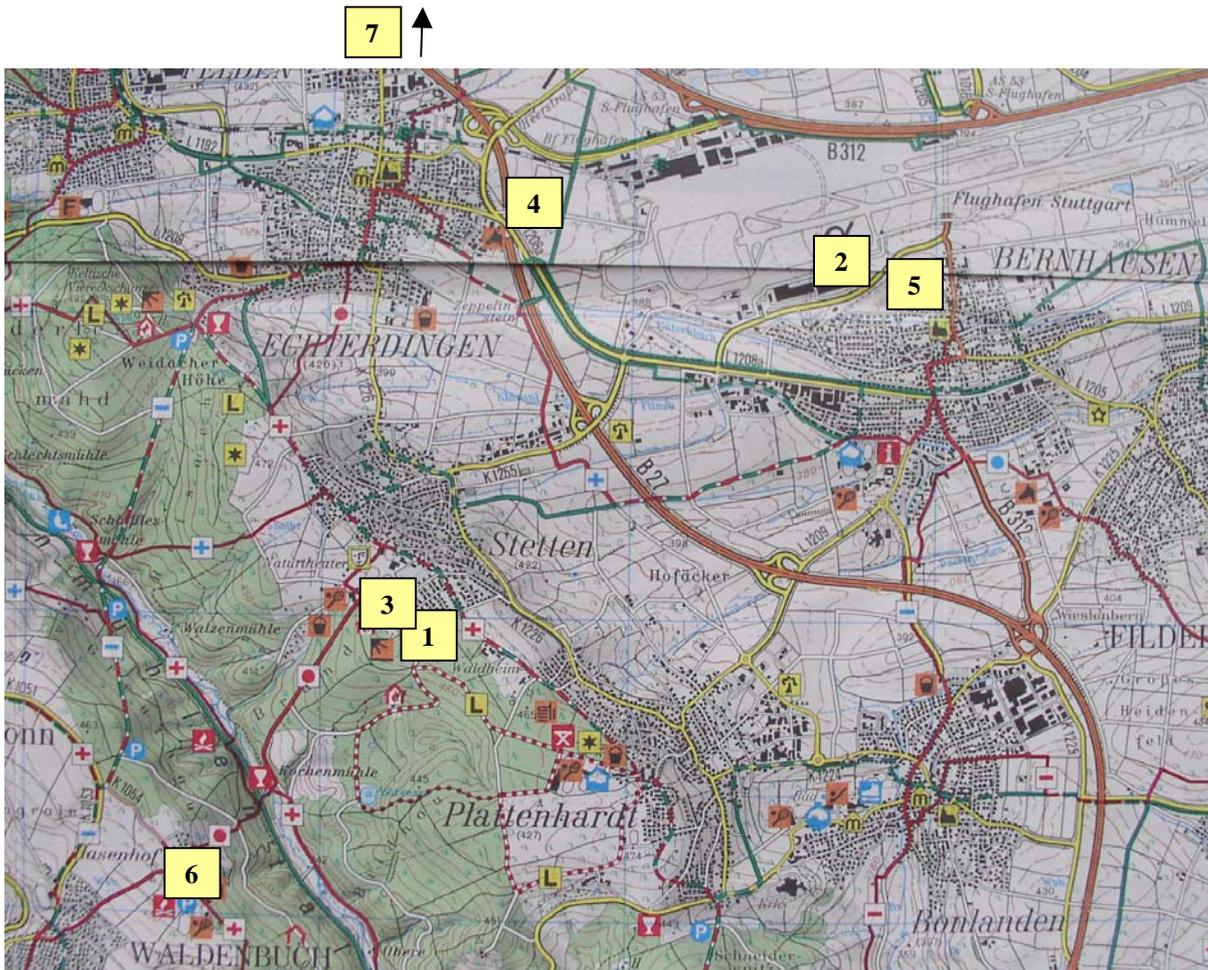


Abb. 4-7: Flughafen Stuttgart mit Radarfrequenzen von 1.030 MHz bis 9.100 MHz

Legende:

- 1 Flughafenradar Stetten, Primär- und Sekundärradar
- 2 Rollfeldüberwachungsradar Flughafengelände
- 3 Messpunkt 1 0,3 km entfernt  $138.273 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 4 Messpunkt 2 2,3 km entfernt  $1.339.111 \mu\text{W}/\text{m}^2$  und  $789 \mu\text{W}/\text{m}^2$  vom Rollfeldradar
- 5 Messpunkt 3 3,8 km entfernt  $643.163 \mu\text{W}/\text{m}^2$  und  $7.683 \mu\text{W}/\text{m}^2$  vom Rollfeldradar
- 6 Messpunkt 4 2,3 km entfernt  $5.073.497 \mu\text{W}/\text{m}^2$
- 7 Messpunkt 5 7 km entfernt  $4.785.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (nicht mehr auf der Karte)

**Erklärung:** Messpunkt 5 (Nr. 7) befindet sich in Stuttgart-Birkach. Dort waren im Wohnzimmer bei geschlossenen Fenstern von den beiden Flughafenradaren  $1.096.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  messbar, vom 4,5 km entfernten Rollfeldüberwachungsradar  $530 \mu\text{W}/\text{m}^2$  und vom 7 km entfernten Transponderradar  $26 \mu\text{W}/\text{m}^2$ .

Mit hochfrequenzabschirmender Glasscheibe SGG Climaplust Neutral, Planitherm Futur 1.1, von Saint Gobain in Aluminiumfensterrahmen und 25 cm Stahlbetonaußenwand waren im Kopfbereich des Schlafplatzes noch  $64.900 \mu\text{W}/\text{m}^2$  messbar.

## Zusammenfassung

---

Die Auswertung der Messergebnisse soll dazu beitragen Radarintensitäten besser beurteilen und einschätzen zu können. Die Schwierigkeiten der Beurteilung sind vergleichbar mit denen des Mobilfunks. Nur sind die dem Mobilfunk vergleichbare Messwerte beim Radar oft noch in mehr als zwei Zehnerpotenzen (hundertfach) weiterer Entfernung anzutreffen. ( $100 \text{ m} \cdot 10^2 = 10 \text{ km}$ ).

Je nach Topographie und Gewichtung aller anderen Parameter (siehe Kapitel „Erfassung der Messwerte“) können auch in 50 km Abstand vom Radarsender noch Intensitäten messbar sein, die nach Beurteilungskriterien des ECOLOG-Instituts Hannover noch eine „erhöhte Exposition“ darstellen.

Die relativ niedrige Fallzahl kann natürlich keinen repräsentativen Überblick über Radarintensitäten im Umfeld von Sendeanlagen geben, sie kann jedoch einen ersten Eindruck vermitteln und aufzeigen, dass Radarintensitäten bei der Bewertung von Hochfrequenzintensitäten insgesamt meist deutlich unterschätzt wurden oder werden.

Die meisten Radaranwendungen befinden sich im L- bis X-Band. Diese Bänder umfassen den Frequenzbereich von 1 - 12 GHz. Voraussetzung für eine umfassende Beurteilung von Radarstrahlung ist somit das Vorhandensein eines Messequipments, welches zumindest den Frequenzbereich bis 10 GHz abdeckt. Investitionen von 30.000 Euro aufwärts sind dafür erforderlich; gleichzeitig ist der zeitliche Aufwand zur Ermittlung von Radarintensitäten um ein Vielfaches höher als bei sog. „Dauersendern“ wie UKW-, Fernseh- oder Mobilfunk, DECT- oder Bluetooth.

Bei fast allen Indoor-Messungen hatte der Auftraggeber keine Ahnung von einer Radarbelastung, hätte sich nie vorstellen können, dass in seinem Haus- oder Büroumfeld Radaranlagen die Verursacher der stärksten Hochfrequenzimmissionen sind.

Langfristig hält der Autor die Anlage eines Radar-Katasters für sinnvoll. Dabei sollten Standort, Frequenzen, Anzahl der anzutreffenden Sendefrequenzen und womöglich ermittelte Messwerte im Umfeld der Anlagen gesammelt und veröffentlicht werden. Das weitere Sammeln von Daten aller physikalischen Parameter ist der unverzichtbare Bestandteil von wissenschaftlich fundierter Arbeit in Bezug auf die Bewertung von biologischen Risiken hochfrequenter Strahlung und niederfrequenter technischer Felder.

## Literatur

---

- [1] Larsen, Lawrence E.; Jacobi, John E.: Medical Applications of Microwave Imaging, New York 1986, S. 59-65
- [2] Pauli, P.: Radartechnik; Studienskript, Pflichtfach für die Studienrichtung Kommunikationstechnik der Bundeswehruniversität Neubiberg
- [3] Hatterscheid, Peter: Einführung in die Radartechnik und deren Messung; in: Seminarunterlagen zum 3. Expertenseminar Baubiologische Messtechnik, 31.10.-02.11.2003 in Fulda; Verband Baubiologie (VB)
- [4] [www.lycos.de/radargrundlagen/top.html](http://www.lycos.de/radargrundlagen/top.html)
- [5] Nährmann, Dieter: Das große Werkbuch Elektronik, Band 1; Franzis-Verlag Poing, 1994
- [6] [www.oswin.de](http://www.oswin.de)
- [7] [www.bfs.de/elektro/hff//andere\\_anwendungen.html](http://www.bfs.de/elektro/hff//andere_anwendungen.html)
- [8] Käs, Günter: Tod durch die Mikrowelle; in: Münchner Merkur, Ausgabe 15, 2001
- [9] Grether, Thomas: Alle 5 Sekunden vom Radarstrahl getroffen; in: Puls-Tipp 2/2004 vom 18. Februar 2004; S. 6-7; [www.pulstipp.ch](http://www.pulstipp.ch) und [www.konsuminfo.ch/getarticles.asp?article\\_id=12462&ref=4](http://www.konsuminfo.ch/getarticles.asp?article_id=12462&ref=4)
- [10] Maes, Wolfgang: Stress durch Strom und Strahlung; Verlag Institut für Baubiologie und Oekologie Neubeuern IBN, 5. Auflage 2004, ISBN-Nr. 3-923531-22-2
- [11] Szmigielski, Stanislaw: RF/MW-exposed soldiers have more leukemia and lymphoma; in: Microwave News, 15/1995 (3); S.1-14; zitiert aus: Erhöhte Leukämierate bei HF-exponierten Soldaten; in: ElektromogReport 1/1995 (5), nova-Institut Hürth; S. 7-8

- [12] Grayson, J. K.: Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: A nested case-control study; *Am. J. Epidemiol.* 143 (1996); S. 480-486
- [13] Erhöhtes Hirntumor-Risiko durch Radarstrahlung; in: *EMF-Monitor* 3 (3) 1997; S. 1-2
- [14] Poppei, M., Sass, D., Goldstein, N.: Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich 0 - 2 GHz auf den Menschen (UdSSR / GUS, Zeitraum 1960-1992); Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Post und Telekommunikation, ohne Jahresangabe
- [15] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL und Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung METAS (Hrsg.): *Nichtionisierende Strahlung / Mobilfunk-Basisstationen (GSM) / Messempfehlung*, Bern 2002; [www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk](http://www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk)
- [16] Münzenberg, Uwe; Haumann, Thomas (Hrsg.: VDB e.V.): Die aktuelle „Hochfrequenzlandschaft“ im Zeitalter des Mobilfunks – Dokumentation der Belastung der Anwohner durch exemplarische Mobilfunkmessungen in Gemeinden; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 1. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen – VDB e.V., 19.-20. April 2002 im Öko-Zentrum NRW, Hamm; Im Verlag der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Springe-Eldagsen 2002, ISBN 3-930576-04-3; S. 57-68

© Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V. und Wolfgang Kessel 2004

Sandberg 7

21266 Jesteburg

[info@baubiologie.net](mailto:info@baubiologie.net)

[www.baubiologie.net](http://www.baubiologie.net)

Im Verlag des AnBUS e.V., Fürth

ISBN 3-9808428-4-3

Bestellung von Tagungsbänden:

[www.baubiologie.net/literatur-und-presse/tagungsbaende-emv-tagungen-des-vdb/](http://www.baubiologie.net/literatur-und-presse/tagungsbaende-emv-tagungen-des-vdb/)