

HF59B Hochfrequenz-Analyser

Basisgerät 27 MHz bis 2,5 GHz mit Antenne
800 MHz -2,5GHz (bis 3,3GHz mit erhöhter Toleranz)



Bedienungsanleitung

Revision 4.0

Diese Anleitung wird kontinuierlich aktualisiert, verbessert und erweitert. Unter www.gigahertz-solutions.de finden Sie immer die aktuellste Fassung zum download.

Bitte lesen Sie diese Bedienungsanleitung unbedingt vor der ersten Inbetriebnahme aufmerksam durch.

Sie gibt wichtige Hinweise für den Gebrauch, die Sicherheit und die Wartung des Gerätes.

Außerdem enthält sie wichtige **Hintergrundinformationen**, die Ihnen eine aussagefähige Messung ermöglichen.

Professionelle Technik

Die Feldstärkemessgeräte von GIGAHERTZ SOLUTIONS® setzen **neue Maßstäbe** in der Messtechnik für hochfrequente Wechselfelder: Messtechnik professionellen Standards wurde mit einem weltweit einmaligen Preis-Leistungs-Verhältnis realisiert. Möglich wurde dies durch den konsequenten Einsatz innovativer und teilweise zum Patent angemeldeter Schaltungselemente sowie durch modernste Fertigungsverfahren.

Dieses Gerät ermöglicht eine qualifizierte Messung hochfrequenter Strahlung von 800MHz bis 2,5GHz (3,3GHz) (durch optionale Antennen bis 27 MHz erweiterbar). Dieser Bereich wird aufgrund der großen Verbreitung digitaler, meist gepulster Funkdienste wie des Mobilfunks, schnurloser Telefone, von Mikrowellenherden und den Zukunftstechnologien UMTS und Bluetooth als biologisch besonders relevant angesehen.

Wir danken Ihnen für das Vertrauen, das Sie uns mit dem Kauf des HF59B bewiesen haben und sind überzeugt, dass Ihnen dieses Gerät nützliche Erkenntnisse bringen wird.

Über diese Anleitung hinaus bieten wir zusammen mit unseren Partnerunternehmen **Anwenderseminare** zur optimalen Nutzung unserer Messtechnik sowie zu wirksamen Schutzlösungen an.

Bei Problemen bitten wir Sie, uns zu kontaktieren! Wir helfen Ihnen schnell, kompetent und unkompliziert.

© beim Herausgeber: GIGAHERTZ SOLUTIONS GmbH, Mühlsteig 16, D-90579 Langenzenn. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Broschüre darf in irgendeiner Weise ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder verbreitet werden.

Inhaltsverzeichnis

Funktions- und Bedienelemente	2
Vorbereitung des Messgerätes	3
Eigenschaften hochfrequenter Strahlung ...	4
...und Konsequenzen für die - Durchführung der Messung	4
Schritt-für-Schritt-Anleitung zu den Geräteeinstellungen und zur Durchführung der Messung	6
Grenz-, Richt- und Vorsorgewerte	12
Frequenzanalyse	13
Benutzung der Signalausgänge	14
Weiterführende Analysen	14
Akkumanagement	15
Abschirmung	16
Garantie	17
Serviceadresse	17
Messbereiche / Umrechnungstabellen	18

Sicherheitshinweise:

Bitte lesen Sie diese Bedienungsanleitung unbedingt vor der ersten Inbetriebnahme aufmerksam durch. Sie gibt wichtige Hinweise für die Sicherheit, den Gebrauch und die Wartung des Gerätes.

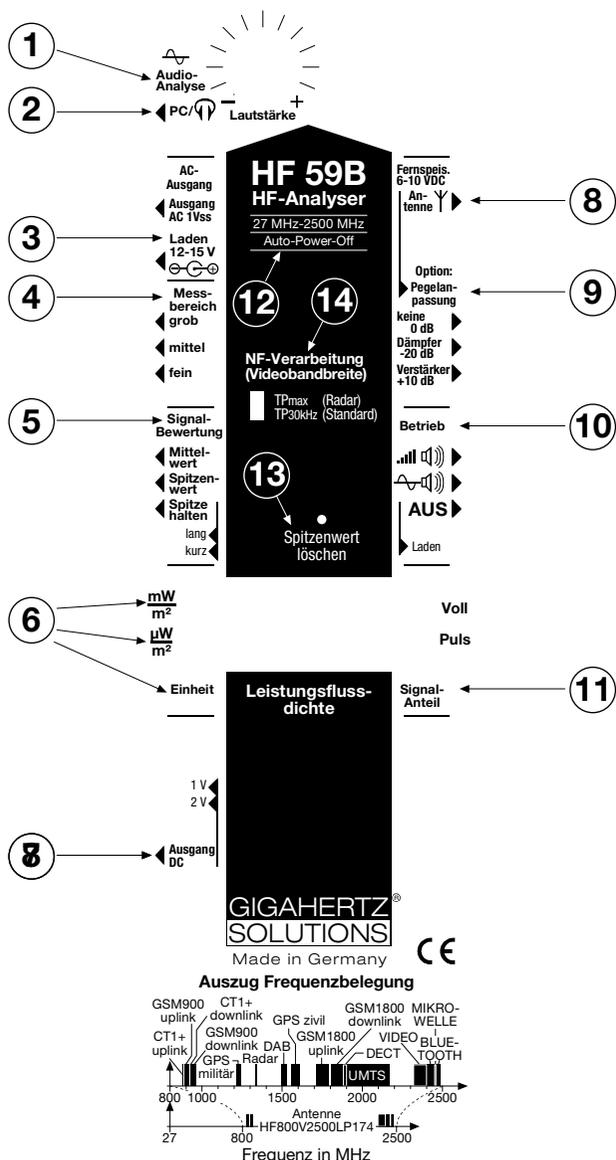
Das Messgerät nicht in Berührung mit Wasser bringen oder bei Regen benutzen. Reinigung nur von außen mit einem schwach angefeuchteten Tuch. Keine Reinigungsmittel oder Sprays verwenden.

Vor der Reinigung oder dem Öffnen des Gehäuses das Gerät ausschalten und alle mit dem Gerät verbundenen Kabel entfernen. Es befinden sich keine durch den Laien wartbaren Teile im Inneren des Gehäuses.

Aufgrund der hohen Auflösung des Messgerätes ist die Elektronik hitze-, stoß- und berührungsempfindlich. Deshalb nicht in der prallen Sonne oder auf der Heizung o.ä. liegen lassen, nicht fallen lassen oder im geöffnetem Zustand an den Bauelementen manipulieren.

Dieses Gerät nur für die vorgesehenen Zwecke verwenden. Nur mitgelieferte oder empfohlene Zusatzteile verwenden.

Funktions- und Bedienelemente



Der HF-Teil des Gerätes ist durch ein internes Blechgehäuse am Antenneneingang gegen Störeinstrahlung geschirmt (Schirmungsmaß ca. 35 - 40 dB)

- 1) Lautstärkeregler für den Lautsprecher zur Audioanalyse. Während das feldstärkeproportionale Tonsignal genutzt wird, sollte der Lautstärkeregler ganz nach links gedreht werden.
- 2) 3,5mm Klinkenbuchse: AC-Ausgang des modulierten Signals zur Audioanalyse (PC-Audiokarte oder Kopfhörer (mono)).
- 3) Ladebuchse 12-15 Volt DC zur Verwendung mit dem mitgelieferten Netzteil. Nur bei Akkubetrieb verwenden!
- 4) Wahlschalter für den Messbereich:
grob = 19,99 mW/m² (=19.990µW/m²)
mittel = 199,9 µW/m²
fein = 19,99 µW/m²
- 5) Wahlschalter für die **Signal-Bewertung**. **Standardeinstellung = „Spitzenwert“**. Wenn „Spitze halten“ („peak hold“) eingestellt ist, so kann mit dem kleinen Serviceschalter schräg rechts darunter noch zusätzlich die Zeitkonstante eingestellt werden, d.h. ob der Spitzenwert langsamer oder schneller „zurückläuft“. **Standardeinstellung = „lang“**. Mit dem Taster 13 kann der Spitzenwert manuell zurückgesetzt werden, wenn kleinere Messwerte zu erwarten sind.
- 6) Die Einheit der angezeigten Zahlenwerte wird durch kleine Balken links im Display angezeigt:
Balken oben = mW/m² (Milliwatt/m²)
Balken unten = µW/m² (Mikrowatt/m²)
- 7) Gleichspannungsausgang z.B. für Langzeitaufzeichnungen.
1 Volt DC bei Vollausschlag. Skalierbar auf 2 Volt DC bei Vollausschlag

- 8) Anschlussbuchse für das Antennenkabel. Die Antenne wird in den Kreuzschlitz auf der Gerätestirnseite gesteckt.
- 9) **Pegelanpassungsschalter** nur bei Verwendung der optional erhältlichen Zwischenstecker zur Verstärkung, Dämpfung und Frequenzfilterung (nicht im Standardlieferungsumfang). Bei direktem Anschluss des Antennenkabels ist die **Standardeinstellung „0 dB“** richtig. Ohne die entsprechenden Zwischenstecker führt jede andere Einstellung nur zu einem Kommafehler, nicht etwa einer realen Pegelanpassung.
- 10) **Ein-/Ausschalter**. In der obersten Schalterstellung ist ein feldstärkeproportionales Tonsignal zugeschaltet. In der mittleren Schalterstellung ist die Audioanalyse aktiviert (Standard).
- 11) Signalanteil: In der Schalterstellung „Voll“ wird die gesamte Leistungsflussdichte aller Signale im betrachteten Frequenzbereich dargestellt, in der Schalterstellung „Puls“ nur der amplitudenmodulierte (gepulste) Anteil.
- 12) Das Gerät ist mit einer Auto-Power-Off-Funktion ausgestattet. Nach ca. 30 Min. schaltet es sich automatisch ab, um ungewolltes Entladen zu vermeiden.
- 13) Taster zur Rücksetzung d. Spitzenwertes. (so lange drücken, bis der Wert nicht weiter zurückgeht!)
- 14) Schiebeschalter zur Wahl der **Videobandbreite** für die NF-Signalverarbeitung. **Standardeinstellung = „TP30MHz“**.

Standardeinstellung wichtiger Funktionen ist **gelb** markiert.

Längere und kürzere Schalterknöpfe

Längere Schalterknöpfe: Standardfunktionen.

Kürzere Schalterknöpfe: Um ein versehentliches Umschalten zu vermeiden, sind Schalter, die seltener oder nur mit optionalem Zubehör benötigt werden, kürzer ausgeführt.

Inhalt der Verpackung

Messgerät

Aufsteckbare Antenne mit Antennenkabel

NiMH-Akkublock (im Gerät)

Netzgerät

Adapter 2,5 mm Klinkenstecker auf 3,5 mm Klinkenbuchse

Adapter 3,5 mm Klinkenstecker auf BNC

2,5 mm Klinkenstecker für eigene Kabelkonfektionierungen

Ausführliche Bedienungsanleitung (deutsch)

Hintergrundinformationen zum Thema „Elektrosmog“

Vorbereitung des Messgeräts

Anschluss der Antenne

Der Winkelstecker der Antennenzuleitung wird an der Buchse rechts oben am Basisgerät angeschraubt. Festziehen mit den Fingern genügt - ein Gabelschlüssel sollte nicht verwendet werden, weil damit das Gewinde überdreht werden kann.

Diese SMA-Verbindung mit vergoldeten Kontakten ist die hochwertigste industrielle HF-Verbindung in dieser Größe.

Vorsichtig den festen Sitz der Steckverbindung an der Antennenspitze überprüfen. Die Steckverbindung an der Antennenspitze sollte nicht geöffnet werden.

An der Antennenspitze befinden sich zwei Leuchtdioden zur Funktionsdiagnose bei eingeschaltetem Messgerät. Die rote LED leuchtet, wenn die Antenne richtig angeschlossen ist und die Stecker und die Antennenleitung in Ordnung sind. Die grüne LED überprüft die Leitungen und Lötstellen auf der Antenne selbst und leuchtet, wenn hier alle Kontakte ordnungsgemäß sind.

Antenne in den senkrechten bzw. kreuzförmigen Schlitz in der abgerundeten Geräte- stirnseite stecken.

Wichtig: Antennenkabel nicht knicken!

Die Antenne kann sowohl an der Stirnseite des Messgerätes „eingesteckt“, als auch freihändig verwendet werden. Bei der freihändigen Verwendung ist darauf zu achten, dass die Finger nicht den ersten Resonator oder Leiterbahnen auf der Antenne berühren. Es empfiehlt sich also, möglichst weit hinten anzufassen. Für Präzisionsmessungen sollte die Antenne nicht mit den Fingern gehalten werden, sondern in der Halterung an der Stirnseite des Messgerätes verwendet werden. Eine (sehr massive) Klemmzange zur Stativmontage ist beispielsweise direkt beim Hersteller unter www.berlebach.de erhältlich.

Je nach Antennentyp können kleinere Stücke einer Kupferfolie auf die eigentliche Antenne aufgeklebt sein. Diese dienen dem Feinab-

gleich und sollten deshalb nicht entfernt oder beschädigt werden.

Weiterhin können - je nach Antennentyp - auf den Schaft der beiden Stecker des Antennenkabels Ferritröhrchen aufgesteckt sein. Auch diese dienen zur Verbesserung der Antenneneigenschaften.

Überprüfung der Akkuspannung

Wenn die „Low Batt.“-Anzeige senkrecht in der Mitte des Displays angezeigt wird, so ist keine zuverlässige Messung mehr gewährleistet. In diesem Falle Akku laden.

Falls gar keine Anzeige auf dem Display erscheint, Kontaktierung des Akkus prüfen bzw. versuchsweise eine 9 Volt E-Block-Batterie (Alkalimangan) einsetzen. (Siehe Kapitel „Akkuwechsel“)

Vorsicht: Bei temporärem Batteriebetrieb darf keinesfalls das Netzteil angeschlossen werden!

Hinweis

Jeder Schaltvorgang (z.B. Messbereichswechsel) führt systemimmanent zu einer kurzen Übersteuerung, die auf dem Display dargestellt wird.

Das Messgerät ist nun einsatzbereit.

Im nächsten Kapitel sind einige essentielle Grundlagen für eine belastbare HF-Messung kurz zusammengefasst. Wenn Ihnen diese nicht geläufig sind, so sollten Sie dieses Kapitel keinesfalls überspringen, da sonst leicht gravierende Fehler in der Messung unterlaufen können

Eigenschaften hochfrequenter Strahlung...

Vorab: Für Hintergrundinformationen zum Thema „Elektrosmog durch hochfrequente Strahlung“ verweisen wir auf die umfangreiche Fachliteratur zu diesem Thema. In dieser Anleitung konzentrieren wir uns auf diejenigen Eigenschaften, die für die Messung im Haushalt von besonderer Bedeutung sind.

Wenn hochfrequente Strahlung des betrachteten Frequenzbereichs auf irgendein Material auftrifft, so

1. durchdringt sie es teilweise
2. wird sie teilweise reflektiert
3. wird sie teilweise absorbiert.

Die Anteile hängen dabei insbesondere vom Material, dessen Stärke und der Frequenz der HF-Strahlung ab. So sind z.B. Holz, Gipskarton, Dächer und Fenster oft sehr durchlässige Stellen in einem Haus.

Eine sehr gut recherchierte und visualisierte Übersicht über die Dämpfungswirkung verschiedener Baustoffe sowie umfangreichen Tipps zur Reduktion der Belastung findet sich in dem Internetportal www.ohne-elektrosmog-wohnen.de.

Die umfangreichste Sammlung von genauen Daten zur Abschirmwirkung verschiedener Baustoffe liefert die ständig aktualisierte Studie „Reduzierung hochfrequenter Strahlung - Baustoffe und Abschirmmaterialien“ von Dr. Moldan / Prof. Pauli (www.drmoldan.de)

Mindestabstand

Erst in einem bestimmten Abstand von der Strahlungsquelle kann Hochfrequenz in der gebräuchlichen Einheit „Leistungsflussdichte“ (W/m^2) quantitativ zuverlässig gemessen werden. Dieser Abstand hängt maßgeblich

von der Frequenz und der Länge der Antenne ab und beträgt für Mobilfunk-Basisstationen rund 10 bis 20 Meter, für einzelne Handy's oder DECT-Stationen kann es schon in der Größenordnung eines Meters beginnen.

Polarisation

Wenn hochfrequente Strahlung gesendet wird, so bekommt sie eine „Polarisation“ mit auf den Weg, d.h. die Wellen verlaufen entweder in der horizontalen oder der vertikalen Ebene. Im besonders interessanten Mobilfunkbereich verlaufen sie zumeist vertikal oder unter 45 Grad. Durch Reflexion und dadurch, dass die Handys selbst irgendwie liegen können oder gehalten werden, sind auch andere Polarisierungsebenen möglich. Es sollte deshalb immer zumindest die vertikale und die 45° Ebene gemessen werden. Die aufgesteckte Antenne misst die vertikal polarisierte Ebene, wenn die Oberseite (Display) des Messgerätes waagrecht positioniert ist.

Örtliche und zeitliche Schwankungen

Durch - teilweise frequenzselektive - Reflexionen kann es besonders innerhalb von Gebäuden zu punktuellen Verstärkungen oder Auslöschungen der hochfrequenten Welle kommen. Außerdem strahlen die meisten Sender und Handys je nach Empfangssituation und Netzbelegung über den Tag bzw. über längere Zeiträume mit unterschiedlichen Sendeleistungen.

Alle vorgenannten Punkte haben Einfluss auf die Messtechnik und in besonderem Maße auf das Vorgehen beim Messen und die Notwendigkeit mehrfacher Messungen.

... und Konsequenzen für die Durchführung der Messung

Wenn Sie ein Gebäude, eine Wohnung oder ein Grundstück HF-technisch „vermessen“ möchten, so empfiehlt es sich immer, die Einzelergebnisse zu **protokollieren**, damit Sie sich im nachhinein ein Bild der Gesamtsituation machen zu können.

Ebenso wichtig ist es, die **Messungen mehrere Male zu wiederholen**: Erstens zu unterschiedlichen Tageszeiten und Wochentagen, um die teilweise erheblichen Schwankungen nicht zu übersehen. Zweitens aber sollten die Messungen auch über längere Zeiträume hinweg gelegentlich wiederholt werden, da sich die Situation oft quasi „über Nacht“ verändern kann. So kann schon die versehentliche Absenkung der Sendeantenne um wenige Grad, z.B. bei Montagearbeiten am Mobilfunkmast, gravierenden Einfluss haben. Insbesondere aber wirkt sich selbstverständlich die enorme Geschwindigkeit aus, mit der die Mobilfunknetze heute ausgebaut werden. Dazu kommt noch der geplante Ausbau der UMTS-Netze, der eine starke Zunahme der Belastung erwarten lässt, da systembedingt das Netz an UMTS-Basisstationen deutlich dichter gewebt sein muss als bei den heutigen GSM-Netzen.

Auch wenn Sie eigentlich die Innenräume vermessen möchten, so empfiehlt es sich, zunächst auch außerhalb des Gebäudes eine Messung in **alle Richtungen** durchzuführen. Ggf. aus dem geöffneten Fenster messen. Dies erlaubt erste Hinweise auf die „HF-Dichtigkeit“ des Gebäudes einerseits und auf mögliche gebäudeinterne Quellen anderer-

seits (z.B. DECT-Telefone, auch von Nachbarn).

Außerdem sollte man bei einer Innenraummessung immer beachten, dass diese über die spezifizierete Genauigkeit der verwendeten Messtechnik hinaus eine zusätzliche Messunsicherheit durch die aus den beengten Verhältnissen resultierenden „stehenden Wellen“, Reflexionen und Auslöschungen mit sich bringt. Nach der „reinen Lehre“ ist eine quantitativ genaue HF-Messung prinzipiell nur unter so genannten „Freifeldbedingungen“ reproduzierbar möglich. Dennoch wird in der Realität selbstverständlich auch in Innenräumen Hochfrequenz gemessen, da dies die Orte sind, von denen die Messwerte benötigt werden. Um diese systemimmanente Messunsicherheit möglichst gering zu halten, sollte man aber genau die Hinweise zur Durchführung der Messung beachten.

Wie bereits in den Vorbemerkungen erwähnt, können die Messwerte schon durch geringe Veränderung der Messposition relativ stark schwanken (meist deutlich stärker als im Bereich der Niederfrequenz). **Es ist sinnvoll, das lokale Maximum im betreffenden Raum für die Beurteilung der Belastung heranzuziehen**, auch wenn dieser Ort nicht exakt mit dem zu untersuchenden Punkt, z.B. dem Kopfende des Bettes übereinstimmt.

Der Grund liegt in der Tatsache begründet, dass oft schon kleinste Veränderungen der Umgebung zu recht großen Veränderungen der lokalen Leistungsflussdichte führen können. So beeinflusst bereits die messende Person den genauen Ort des Maximums. Insofern kann also ein zufällig geringer Messwert am relevanten Platz am nächsten Tag schon wieder viel höher sein. Das Maxi-

mum im Raum aber verändert sich meist nur, wenn sich an den Strahlungsquellen etwas ändert, ist also repräsentativer für die Beurteilung der Belastung.

Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf die **Immissionsmessung**, d.h. auf die Ermittlung der für den Grenzwertvergleich relevanten, summarischen Leistungsflussdichte. Eine zweite messtechnische Anwendung des vorliegenden Gerätes ist diejenige, die Verursacher dieser Belastung zu identifizieren bzw. – noch wichtiger - geeignete Abhilfe- bzw. Abschirmungsmaßnahmen festzulegen, also letztlich eine **Emissionsmessung**. Das Vorgehen zur Festlegung geeigneter Abschirmmaßnahmen wird am Ende dieses Kapitels in einem speziellen Abschnitt beschrieben.

Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Durchführung der Messung

Vorbemerkung zur Antenne

Grundsätzlich gibt es logarithmisch-periodische Antennen in zwei Ausführungen:

- Optimiert als Peilantenne (schmaler Öffnungswinkel – optimale Peilcharakteristik / schlechtere Messeigenschaften) oder
- optimiert als Messantenne (breiter Öffnungswinkel – optimale Messcharakteristik / mäßige Peileigenschaften).

Die mitgelieferte Antenne stellt einen ausgewogenen Kompromiss aus einer hervorragenden Messcharakteristik und gleichzeitig noch sehr guten Peileigenschaften dar. Somit kann die Richtung des Strahlungseinfalls zuverlässig ermittelt werden - eine Grundvoraussetzung für eine zielgerichtete Sanierung.

Wichtig: Da die Antenne zur Reduktion des Erdinflusses nach unten abgeschirmt ist, sollte man mit der Antennen"spitze" etwa 10° unter das eigentliche Messobjekt zielen, um Verfälschungen im Grenzübergang zu vermeiden (bei leicht erhöhten Zielen, z.B. Mobilfunkmast, ggf. einfach horizontal peilen. Siehe Zeichnung).



Wenn man als „Zielhilfe“ von der oberen Vorderkante des Messgerätes über die Spitze des kleinsten Resonators peilt hat man diese 10° recht gut erreicht. Plus/Minus ein paar Grad machen dabei keinen wesentlichen Unterschied. Die „Ziellinie“ ist auf der Antenne markiert.

Das konkrete Vorgehen für eine aussagefähige Messung wird weiter hinten noch detailliert beschrieben.

Die ungewöhnliche Ausprägung der Ihnen hier vorliegenden logarithmisch-periodischen Antenne ist Gegenstand einer unserer Patentanmeldungen. Sie erlaubt eine sehr gute Trennung der horizontalen und vertikalen Polarisationssebene und hat einen deutlich günstigeren Frequenzverlauf (geringere „Welligkeit“) als herkömmliche logarithmisch-periodische Antennen. (Für Profis: Bei der technisch schwierigeren Messung der vertikalen Polarisationssebene ist sie zudem deutlich besser gegen den Erdinfluss abgeschirmt.)

Auf dem Display wird immer die Leistungsflussdichte am Messort angezeigt, in die Richtung, auf welche die Antenne zeigt (genauer: Bezogen auf das Raumintegral der „Antennenkeule“).

Die mitgelieferte logarithmisch-periodische Antenne ist auf den Frequenzbereich von ca. 800 MHz bis 2500 MHz (=2,5 GHz) optimiert, mit einer etwas erhöhten Minustoleranz reicht er sogar bis über 3,3 GHz. Er umfasst die Mobilfunkfrequenzen GSM900 und GSM1800 (in Deutschland: D1, D2, E-plus, O2), schnurlose Telefone nach dem DECT-Standard, Mobilfunkfrequenzen nach dem UMTS-Standard, WLAN und Bluetooth, einige Radarfrequenzen sowie weitere kommerziell genutzte Frequenzbänder (natürlich können auch Mikrowellenherde damit auf Dichtigkeit überprüft werden). Bis auf letztere Verursacher sind alle genannten Strahlungsquellen digital gepulst und werden von kritischen Medizinern als biologisch besonders relevant betrachtet.

Damit diese kritischen Strahlungsverursacher optimal gemessen werden können, ist der Frequenzbereich der Antenne bewusst nach unten streng begrenzt (bei ca. 800 MHz), d.h. niedrigere Frequenzen werden stark unterdrückt. Auf diese Weise werden Verfälschungen der Messergebnisse durch darunter liegende Strahlungsquellen wie Rundfunk, Fernsehen oder Amateurfunk vermieden.

Einzelne sehr starke Sender in den unteren Frequenzbändern können aber durchaus noch „durchschlagen“ - unbeabsichtigt jedoch durch das Antennenprinzip notwendigerweise bedingt, z.B. der UKW-Rundfunk – Mit dem HF59B können Sie einen starken UKW-Sender also wie mit einem Radio hören.

Ungepulste Sender (die meist um Bereich unter 800 MHz angesiedelt sind) werden durch das Messgerät mit einem gleichmäßigen **Knatterton** „markiert“, welcher in der Lautstärke der Audioanalyse proportional zum Anteil am Gesamtsignal ist. Die „Markierung“ hat eine Frequenz von 16 Hz (also sehr tief) und ist als MP3-File auf unserer homepage downloadbar. In der Schalterstellung „puls“ rechts neben dem Display werden diese Sender und somit auch das „Knattern“ ausgeblendet.

Die wünschenswerte, aber durch die Antenne *allein* nicht perfekte Unterdrückung niedrigerer Frequenzen lässt sich mit dem als Zubehör erhältlichen 800 MHz-**Hochpassfilter** nochmals drastisch verbessern.

Dieses kleine Filter wird als Durchgangsstecker zwischen Antenneneingang und das Antennenkabel geschraubt. Zusammen mit der antenneneigenen Unterdrückung niedrigerer Frequenzen wird so die maximal mögliche

che Schirmdämpfung von über 40 dB¹ (entsprechend einem Faktor 10.000) für Frequenzen unter ca. 600 MHz erreicht. Zwischen 800 MHz und 600 MHz fällt die Filterkurve steil ab.

Um auch Frequenzen unter 800 MHz quantitativ zu messen, ist aus dem Hause Gigahertz Solutions eine aktive, zweidimensional isotrope Ultrabreitbandantenne ab 27 MHz aufwärts erhältlich, welche am HF59B einfach direkt an den Antenneneingang geschraubt wird. Sie wird weit in den GHz-Bereich hineinragen und ist somit prädestiniert für Langzeitaufzeichnungen. Auch eine log.-per.-Antenne ab ca. 380 MHz aufwärts ist für dieses Gerät in Vorbereitung. (Nähere Informationen: Siehe Kontakt- und Serviceadresse)

Orientierende Messung

Bei der orientierenden Messung geht es darum, einen groben Überblick über die Situation zu gewinnen. Die echten Zahlenwerte sind dabei von untergeordnetem Interesse, so dass es in der Regel am einfachsten ist, nur anhand des feldstärkeproportionalen Tonsignals vorzugehen („Betrieb“-Schalter auf Stellung: ), Lautstärkeregel ganz nach links gedreht)

Vorgehen zur orientierenden Messung:

Messgerät und Antenne gemäß dem Kapitel: „Vorbereitung des Messgerätes“ überprüfen.

¹ Begrenzt durch die maximale Schirmdämpfung des Metallgehäuses zur Abschirmung des HF-Teils im Inneren des Messgeräts

Dann den Messbereich (Schalter „Messbereich“) auf „grob“ einstellen. Für die orientierende Messung sind kleinere Übersteuerungen im groben Bereich unerheblich, da das Tonsignal noch bis über 6000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ feldstärkeproportional verläuft. Nur wenn ständig sehr kleine Werte angezeigt werden, in den Messbereich „mittel“ oder ggf. sogar in den Messbereich „fein“ umschalten.

Zu beachten: Beim Umschalten von „grob“ auf „mittel“ wird das Tonsignal deutlich lauter; Zwischen „mittel“ und „fein“ ist kein Unterschied in der Lautstärke.

Den Schalter „Signal-Bewertung“ auf „Spitzenwert“ einstellen.

An jedem Punkt und aus allen Richtungen kann die Strahlungseinwirkung unterschiedlich sein. Wenngleich sich die Feldstärke bei der Hochfrequenz im Raum sehr viel schneller ändert als bei der Niederfrequenz, ist es kaum möglich und auch nicht notwendig, in jedem Punkt in alle Richtungen zu messen.

Da es nicht um eine quantitative, sondern um eine orientierende, qualitative Einschätzung der Situation geht, kann man die Antenne aus der Aufnahme auf der Stirnseite des Messgerätes entnehmen (ganz hinten anfassen) und so aus dem Handgelenk die Polarisationssebene der Antenne (vertikal oder 45° polarisiert) verändern. Man kann aber genauso gut das ganze Messgerät mit montierter Antenne drehen.

Da man für die orientierende Messung nicht auf das Display sehen, sondern nur auf das **Tonsignal** hören muss, kann man problemlos langsamen Schrittes und unter ständigem Schwenken der Antenne bzw. des Messgerätes mit aufgesteckter Antenne in alle Him-

melsrichtungen die zu untersuchenden Räume bzw. den Außenbereich abschreiten, um einen schnellen Überblick zu bekommen. Gerade in Innenräumen kann auch ein Schwenken nach oben oder unten erstaunliche Resultate zeigen.

Wie weiter oben bereits erwähnt: Es geht bei der orientierenden Messung nicht um eine exakte Aussage, sondern lediglich darum, diejenigen Zonen zu identifizieren, in denen es örtliche Spitzenwerte gibt.

Quantitative (zahlenmäßige) Messung

Wenn mit Hilfe des im vorigen Abschnittes beschriebenen Vorgehens die eigentlichen Messstellen identifiziert sind, kann die quantitativ präzise Messung beginnen.

Geräteeinstellung: „**Messbereich**“

Schaltereinstellung wie im Kapitel „Orientierende Messung“ beschrieben: Zunächst den Messbereich (Schalter „Messbereich“) auf „grob“ einstellen. Nur wenn ständig sehr kleine Werte angezeigt werden, in den Messbereich „mittel“ oder ggf. sogar in den Messbereich „fein“ umschalten. Grundsatz für die Wahl des Messbereichs: So grob wie nötig, so fein wie möglich.

Zu beachten:

Der „Sprung“ von „mittel“ nach „grob“ entspricht einem Faktor 100, d.h. beispielsweise ein Messwert im Bereich „mittel“ von 150,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ entspricht theoretisch 0,15 mW/m^2 im „groben“ Bereich. Aus technischen Gründen

muss im Grenzbereich aber mit relativ großen Toleranzen gerechnet werden. Verlässlicher ist die Anzeige im „mittleren“ Bereich, soweit der Messwert noch in diesem Bereich liegt.²

Wenn das Messgerät auch im Messbereich „grob“ übersteuert (Anzeige „1“ links im Display), können Sie das Messgerät um den Faktor 100 unempfindlicher machen, indem Sie das als Zubehör erhältliche **Dämpfungs-glied** DG20 einsetzen. Die Pegelanpassung der Displayanzeige (d.h. Indikation der Einheit und Anzeige der richtigen Kommastelle) erfolgt dabei über den serienmäßig im HF59B vorhandenen Schalter „Pegelanpassung“ („-20 dB“).

Erhältlich ist auch ein **Vorverstärker** um den Faktor 1.000 als Zwischenstecker für den Antenneneingang³. Damit erreicht das HF59B

2 Der Bereich von wenigen hundert $\mu\text{W}/\text{m}^2$, angezeigt als 0,01 bis ca. 0,30 mW/m^2 im „groben“ Messbereich, ist der Bereich der größten Toleranzen dieses Messbereichs. Andererseits wird in der Schalterstellung „mittel“ (und „fein“) eine zusätzliche Verstärkerstufe zugeschaltet. Im Vergleich zur Schalterstellung „grob“ bringt diese eine zusätzliche „Welligkeit“ über die Frequenz in Höhe von ca. +/- 1 dB mit sich.

Beide Faktoren zusammen können beim Umschalten zwischen „grob“ und „mittel“ annähernd die maximale Gerätetoleranz von +/- 3 dB ausschöpfen, d.h. es kann maximal ein Faktor 3 zwischen der Anzeige im „grob“ und im „mittleren“ Messbereich liegen.

Beispiel: Anzeige im Bereich „mittel“ $150,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Im „groben“ Bereich könnte die Anzeige im Extremfall zwischen 0,45 und $0,05 \text{ mW}/\text{m}^2$ liegen (der exakte Sollwert wäre $0,15 \text{ mW}/\text{m}^2$). In der Praxis ist die Toleranz allerdings für die meisten Frequenzen deutlich kleiner.

3 Hierfür ist keine Pegelanpassung am Messgerät vorgesehen, weil Sie einfach die normalen Anzeigen verwenden können, nur dass jeweils anstatt $\mu\text{W}/\text{m}^2$ die Einheit nW/m^2

eine (theoretische) minimale Auflösung von $0,00001 \mu\text{W}/\text{m}^2$, angezeigt als 0,01 Nanowatt/ m^2 . Die *real* minimale Auflösung hängt von der eingestellten Videobandbreite zur NF-Verarbeitung ab und beträgt in der

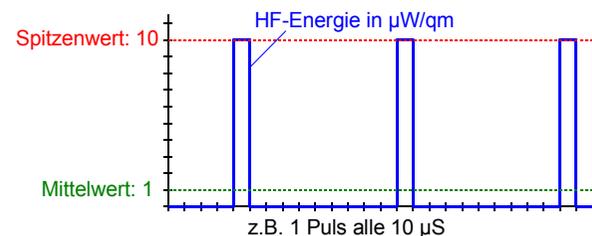
- Schalterstellung TPmax: ca. $1 \text{ nW}/\text{m}^2$
- Schalterstellung TP30kHz: ca. $0,1 \text{ nW}/\text{m}^2$

Eine **Übersichtstabelle über alle Anzeigemöglichkeiten** finden Sie auf der letzten Seite dieser Anleitung.

Geräteeinstellung:
„Signal-Bewertung“

Spitzenwert / Mittelwert

Folgendes symbolisches Beispiel zeigt anschaulich die unterschiedliche Bewertung desselben Signals in der Mittel- und Spitzenwertanzeige:



In der Schalterstellung „**Spitzenwert**“ zeigt das Gerät die volle **Leistungsflussdichte** des Pulses an (im Beispiel also $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$). In der Schalterstellung „**Mittelwert**“ wird die Leistungsflussdichte des Pulses über die gesamte Zeit gemittelt. Angezeigt wird also $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ($= ((1 \times 10) + (9 \times 0)) / 10$).

Für den biologischen Effekt interessiert weniger die HF-Welle selbst, als die ihr innewoh-

nende HF-Energie (angezeigt als $\mu\text{W}/\text{m}^2$). Die HF-Analyser von Gigahertz Solutions zeigen in der Schalterstellung „Spitzenwert“ denjenigen Wert auf dem Display an, welcher sich aus dem mit der „normal sample“-Funktion eines Spektrumanalysers als äquivalenter Wert in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ergibt. Die Schalterstellung „Mittelwert“ entspricht der „positiv peak“-Einstellung des Spektrumanalysers. Der in der Schalterstellung „Spitzenwert“ ermittelte Messwert der HF-Analyser von Gigahertz Solutions wird in der Baubiologie oft plastisch als „Mittelwert des Spitzenwertes“ umschrieben.

Trotzdem ist auch die Kenntnis des „echten“ Mittelwertes eine nützliche Information:

- Für die „offiziellen“ Grenzwerte basieren auf einer Mittelwertbetrachtung. Zur Einschätzung „offizieller“ Messergebnisse, z.B. auch durch Mobilfunkbetreiber, ist also eine Vergleichsmöglichkeit nützlich.
- Verschiedene Funkdienste zeigen unterschiedliche Verhältnisse von Mittel- zu Spitzenwerten. Dieses Verhältnis kann bei einer DECT-Basisstation 1 : 100 erreichen. Beim GSM-Mobilfunk sind Verhältnisse zwischen 1 : 1 und 1 : 8 theoretisch denkbar (in der Praxis ist die Bandbreite der Möglichkeiten im Falle von GSM kleiner).
- Auch Rückschlüsse auf die Auslastung von Mobilfunk-Basisstationen sind prinzipiell denkbar, jedoch sind hierzu noch weitere Analysen und Überlegungen nötig. Diese werden wir, sobald sie vorliegen, in spätere Revisionen dieser Anleitung einarbeiten (siehe www.gigahertz-solutions.de).

Wichtiger Hinweis für die Benutzer von Messgeräten anderer Hersteller: Die o.g. Rückschlüsse sind nur möglich bei einer echten Mittelwertfassung. Sie sind

nicht gültig, wenn anstelle des Mittelwertes nur der Momentanwert des modulierten HF-Signals angezeigt wird, was bei den meisten Geräten auf dem Markt der Fall ist, auch wenn lt. Spezifikation der Mittelwert angezeigt wird.

Spitze halten

In der Praxis wird sehr häufig mit dieser Funktion gearbeitet. Dazu den Schalter „Signal-Bewertung“ auf „Spitze halten“ einstellen. Dann mit dem Taster „Spitzenwert löschen“ eventuelle „Pseudospitzen“ durch den Umschaltimpuls löschen. Bei gedrücktem Schalter „Spitzenwert löschen“ geht die Messung in eine reine Spitzenwertmessung über. Mit dem Loslassen des Tasters der Beginn des Zeitraumes festlegen, in welchem der höchste Messwert ermittelt werden soll. Durch erneutes Drücken des Tasters „Spitzenwert löschen“ (ein bis zwei Sekunden gedrückt halten) beginnt der Zeitraum für die Spitzenwertermittlung von Neuem (im Moment des Loslassens.)

Die Funktion „Spitze halten“ ist in der Praxis von großem Nutzen, da, wie weiter unten noch genauer ausgeführt werden wird, der Spitzenwert derjenige ist, der für die Beurteilung der Situation herangezogen wird. Da aber in der Praxis die Messwerte oft über die Zeit, die Einstrahlrichtung, die Polarisation und die konkrete Messstelle stark schwanken, kann man bei der reinen Spitzenwertbetrachtung, die an sich auch der relevanten Größe entspricht, leicht einzelne Spitzen übersehen. Mit der Funktion „Spitze halten“ kann man mit dem weiter unten unter der Überschrift „Eigentliche Messung“ beschriebenen Vorgehen einfach und schnell den echten Spitzenwert „einsammeln“.

Wenn man zugleich das feldstärkeproportionale Tonsignal  einstellt, kann man

akustisch die Stellen, Einstrahlrichtungen und Polarisations Ebenen registrieren, an denen Maxima erreicht werden.

Die Geschwindigkeit, mit der die „Spitze halten“-Funktion „zurückläuft“, kann mit dem Schalter „kurz“ und „lang“ eingestellt werden. Auch nach Minuten ist der Wert, trotz des langsamen „Rücklaufs“ noch innerhalb der spezifizierten Toleranz. Dennoch sollte man mit dem Ablesen nicht zu lange warten um einen möglichst genauen Wert zu erhalten. Bei sehr hohen Spitzen braucht die Haltekapazität der Funktion „Spitze halten“ einige Augenblicke (unter einer Sekunde) bis sie voll geladen ist – in der Schalterstellung „lang“ etwas länger als in der Schalterstellung „kurz“. Zum Umschalten ggf. einen Kugelschreiber o.ä. verwenden.

Mit dem optional erhältlichen Digitalmodul wird der volle Spitzenwert ohne jede Verzögerung sofort angezeigt und auf Wunsch beliebig lang beim vollen Pegel gehalten.

Geräteeinstellung: „NF-Verarbeitung / Videobandbreite“

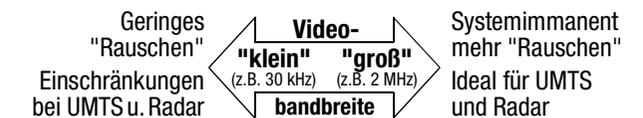
Begriffserklärung:
Die eigentliche Hochfrequenzverarbeitung macht nur einen kleinen Teil eines Hochfrequenzmessgerätes aus. Ausgangsprodukt dieses HF-Teils ist ein der Leistungsflussdichte proportionales Signal mit der Modulations- bzw. Pulsfrequenz des HF-Trägersignals, also im weitesten Sinne ein niederfrequentes Signal.

Die sogenannte „Videobandbreite“ beschreibt nun, innerhalb welcher Frequenzgrenzen dieses Signal liegen darf um noch verzerrungsfrei verstärkt zu werden. Zugleich

beschreibt deren obere Frequenzgrenze, wie rasch Signaländerungen im NF-Teil des Messgerätes noch verarbeitet werden können. Im Grunde gilt also: „je mehr desto besser“ („universeller“) ist das Messgerät einsetzbar. Die nicht nur in dieser Geräteklasse herausragende 2-MHz-Videobandbreite des HF59B und des HF58B-r übertrifft sogar viele moderne Spektrumanalysen. Sie ermöglicht die verzerrungsfreie Messung auch kürzester Radarpulse im betrachteten Frequenzbereich. Neben der Radarmessung ist die hohe Videobandbreite auch Grundvoraussetzung für die qualifizierte Messung von rauschähnlichen Signalen, wie z.B. UMTS.

Allerdings hat eine hohe Videobandbreite auch einen Haken: Physikalisch zwingend steigt das „Weiße Rauschen“ eines Messgerätes mit zunehmender Videobandbreite an.

Die Zusammenhänge sind in folgender Abbildung anschaulich illustriert:



Die Videobandbreite qualifiziert also entscheidend die Möglichkeiten und Grenzen eines Hochfrequenzmessgerätes.

Dieser HF-Analyser verfügt über zwei Einstellungsmöglichkeiten zur NF-Signalverarbeitung („Videobandbreite“):

- TPmax (Radar): In dieser Schalterstellung beträgt die Videobandbreite volle 2 MHz. Diese Schalterstellung ist zu wählen, wenn Sie über die akustische Analyse ein Radar oder ein UMTS-Signal identifiziert haben. Sie messen in dieser Schalterstellung nicht

ausschließlich Radar- und UMTS-Signale, sondern auch diese Signale neben allen anderen Verursachern im Frequenzbereich. **Das Rauschen kann in der Schalterstellung „TPmax“ und „Messbereich: fein“ 30 bis 120 Digits betragen!** Die Videobandbreite und das damit verbundene Rauschen in dieser Schalterstellung unterliegt einer großen Toleranz (beträgt aber mindestens 2 MHz). Ein besonders hohes Rauschen ist also ein Indiz für eine besonders hohe Videobandbreite beim jeweiligen Gerät⁴.

Zu beachten: Aufgrund des systemimmanent höheren Rauschens sollte man die Schalterstellung TPmax nicht als Standardeinstellung verwenden.

- **TP30kHz (Standard):** Wie der Name sagt: Eine optimale Standardeinstellung. Die Videobandbreite beträgt etwas über 30 kHz, somit werden die kürzesten kontinuierlich gepulsten Signale (DECT) noch verzerrungsfrei dargestellt. Zugleich ist das Rauschen im feinsten Messbereich signifikant geringer als in der anderen Schalterstellung.

Quantitative Messung:

Bestimmung der Gesamtbelastung

Wenn mit Hilfe des im Kapitel „Orientierende Messung“ beschriebenen Vorgehens die ei-

⁴ In der Schalterstellung „Spitzenwert halten - lang“ steigt der Anzeigewert zunächst einige Sekunden oder Minuten an, weil auch winzigen stochastische Spitzen registriert und dann auch gehalten werden, die in der „normalen“ Anzeige einfach „weggemittelt“ würden. Nach einer Weile stellt sich ein nur noch leicht schwankender, statistischer Gleichgewichtswert ein.

gentlichen Messstellen identifiziert sind, kann die quantitativ präzise Messung beginnen.

Die Antenne wird wieder auf das Messgerät aufgesteckt, da auch die Masseanordnung hinter dem Messgerät einen Einfluss auf das Messergebnis hat. Das Gerät sollte nun **am locker ausgestreckten Arm** gehalten werden, die Hand hinten am Gehäuse.

Nun wird im Bereich eines **lokalen Maximums** die Positionierung des Messgerätes verändert, um die effektive Leistungsflussdichte (also den zahlenmäßig interessanten Wert) zu ermitteln. Und zwar

- durch **Schwenken** „in alle Himmelsrichtungen“ zur Ermittlung der Haupt-Einstrahlrichtung (dabei darf man nach rechts und links aus dem Schultergelenk schwenken, für die Einstrahlung von hinten muss man sich selbst aber wieder hinter das Messgerät bringen)
- durch **Drehen** um bis zu 90° nach links oder rechts um die Messgerätelängsachse, um die Polarisationssebene der Strahlung zu berücksichtigen und
- durch Veränderung der **Messposition** (also des „Messpunktes“), um nicht zufällig genau an einem Punkt zu messen, an dem lokale Auslöschungen auftreten.

Einzelne Messgeräteanbieter verbreiten die Meinung, dass die effektive Leistungsflussdichte durch Messung in drei Achsen und Bildung der resultierenden gebildet werden sollten. Das ist bei Verwendung von logarithmisch-periodischen Antennen Unfug. Umso mehr übrigens auch bei Stab- oder Teleskopantennen.

Allgemein anerkannt ist die Auffassung, den höchsten Wert aus der Richtung des stärksten Feldeinfalls zum Grenzwertvergleich heranzuziehen.

Im Einzelfall, wenn z.B. von einer DECT-Telefonanlage im Haushalt eine ähnlich hohe Belastung ausgeht, wie von einem Mobilfunkmast außerhalb des Hauses, könnte es sinnvoll sein, zunächst den Wert „von außen“ bei ausgeschalteter DECT-Anlage zu ermitteln, dann denjenigen von der DECT-Anlage und für den Vergleich dann die Summe aus beiden Werten heranzuziehen. Ein offiziell definiertes Vorgehen gibt es derzeit nicht, da nach Auffassung der nationalen Normungsinstitutionen, wie bereits weiter oben ausgeführt, ohnehin eine quantitativ zuverlässige, gerichtete und reproduzierbare Messung nur unter „Freifeldbedingungen“ möglich ist.

Um beim Grenzwertvergleich ganz sicher zu gehen, können Sie den angezeigten Wert mit dem Faktor 3 multiplizieren und das Ergebnis als Basis für den Vergleich heranziehen⁵. Diese Maßnahme wird von vielen Baubiologen ergriffen, um auch in dem Fall, dass das Messgerät die spezifizizierte Toleranz nach unten vollständig ausnutzt, keinesfalls von einer niedrigeren Belastung ausgegangen wird, als real vorliegt. Man muss dabei allerdings wissen, dass bei einer eventuellen Ausnutzung der Toleranz nach oben ein deutlich zu hoher Wert errechnet wird.

⁵ Dieser Faktor für die Messunsicherheit erscheint auf den ersten Blick sehr hoch, relativiert sich jedoch vor dem Hintergrund, dass sogar bei professionellen Spektrumanalysen von einem Faktor 2 ausgegangen wird.

Das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Auslastung einer Mobilfunk-Basisstation beträgt in der Regel 1 : 4. Da man nie genau weiß, wie stark eine Mobilfunk-Basisstation zum Zeitpunkt der Messung ausgelastet ist, kann man, um die Maximalauslastung abzuschätzen, zu einer sehr auslastungsarmen Zeit messen (sehr früh am Morgen, z.B. zwischen 3 und 5 Uhr, am Sonntagmorgen auch etwas später) und den Wert dann mit 4 multiplizieren. Wie im vorigen Absatz beschrieben, kann man auch für das „Auslastungsrisiko“ einen generellen Sicherheitszuschlag einkalkulieren, jedoch ebenfalls mit der Möglichkeit verbunden, insgesamt die Belastung unrealistisch zu hoch einzuschätzen.

Quantitative Messung:

Sonderfall UMTS

Das UMTS-Signal hat in vielerlei Hinsicht ähnliche Eigenschaften wie das „Weiße Rauschen“ und erfordert deshalb eine besondere Betrachtung. Sobald durch die akustische Analyse ein UMTS-Signal identifiziert wird, sollte der Schalter „NF-Verarbeitung“ auf TPmax (Radar) eingestellt werden. Der Schalter „Signal-Bewertung“ wird auf „Spitzenwert“ eingestellt. In dieser Schalterstellung wird die Haupteinstrahlrichtung identifiziert. Für die eigentliche Messung den Schalter „Signal-Bewertung auf „Spitze halten - lang“ einstellen und ohne weiteres Schwenken des Messgerätes den quantitativ richtigen Messwert ermitteln. Das Messgerät sollte ca. 1 bis 2 Minuten lang in derselben Position gehalten werden, da aufgrund der Signalcharakteristik des UMTS-Signals Schwankungen von +/- Faktor 6 (!) innerhalb kürzester Zeit auftreten

ten können, wobei mindestens eine Schwankungsbreite um den Faktor 3 regelmäßig auftritt.

Quantitative Messung:

Sonderfall Radar

Für die Flugzeug- und Schiffsnavigation wird von einer langsam rotierenden Sendeantenne ein eng gebündelter „Radarstrahl“ ausgesendet. Deshalb ist dieser - bei ausreichender Signalstärke - nur alle paar Sekunden für Bruchteile von Sekunden messbar, was zu einer besonderen Messsituation führt.

Um ganz sicher zu gehen, ist bei akustischer Identifikation eines Radarsignals (ein kurzes „piep“, das sich im Extremfall nur alle etwa 12 Sekunden wiederholt, durch Reflexionen evtl. häufiger) folgendes Vorgehen anzuraten:

Schalter „NF-Verarbeitung“ auf TPmax (Radar) einstellen. Schalter „Signal-Bewertung“ auf „Spitzenwert“ einstellen. In dieser Schalterstellung die Haupteinstrahlrichtung identifizieren. Der Radarpuls ist jeweils so kurz, dass nur sehr kurz ein eher stochastischer Messwert angezeigt wird.

Schalter „Signal-Bewertung“ auf „Spitze halten - lang“ einstellen und mehrere Durchläufe des Radarsignals bei geringfügig veränderte Messgeräteposition aufnehmen um den quantitativ richtigen Messwert aufzunehmen.

Bitte beachten Sie, dass es auch Radarsystem gibt, die mit noch höheren Frequenzen betrieben werden, als sie mit diesem Gerät gemessen werden können.

Quantitative Messung:

Identifikation der HF-Einfallstellen

Zunächst sind – naheliegend – Quellen im selben Raum zu eliminieren (DECT-Telefon, o.ä.). Die danach verbliebene HF-Strahlung muss also von außen kommen. Für die Festlegung von Abschirmmaßnahmen ist es wichtig, diejenigen Bereiche von Wänden (mit Türen, Fenstern, Fensterrahmen), Decke und Fußboden zu identifizieren, durch welche die HF-Strahlung eindringt. Hierzu sollte man nicht mitten im Raum stehend rundherum messen, sondern möglichst nah an der gesamten Wand- / Decken- / Bodenfläche nach außen gerichtet messen, um genau die durchlässigen Stellen einzugrenzen. Denn neben der bei hohen Frequenzen zunehmend eingeschränkten Peilcharakteristik von Log-Per-Antennen machen in Innenräumen kaum vorhersagbare Überhöhungen und Auslöschungen eine genaue Peilung von der Raummitte aus schwierig, wenn nicht gar unmöglich. Die Vorgehensrichtlinie illustriert die folgende Skizze.

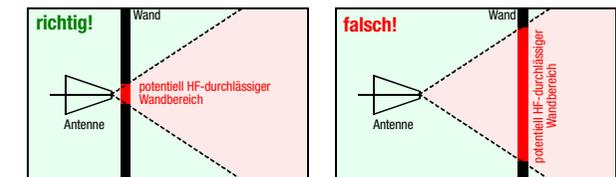


Abbildung: Illustrationsskizze zur Ortungsunsicherheit bei Messantennen

Die Abschirmungsmaßnahme selbst sollte durch eine Fachkraft definiert und begleitet werden und jedenfalls großflächig über die Bereiche hinaus erfolgen.

Grenz-, Richt- u. Vorsorgewerte

Vorsorgliche Empfehlungen

für Schlafplätze bei gepulster Strahlung:

Unter 0,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

(Standard der baubiologischen Messtechnik
SBM 2003: „Keine Anomalie“)

unter 1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ („für Innenräume“)

(Landessanitätsdirektion Salzburg)

Die „offiziellen“ Grenzwerte in Deutschland liegen sehr weit über den Empfehlungen von Umweltmedizinern, Baubiologen, vielen wissenschaftlich arbeitenden Institutionen und auch denen anderer Länder. Sie befinden sich deshalb zwar in heftiger Kritik, gelten aber als Grundlage für Genehmigungsverfahren etc. Der Grenzwert ist frequenzabhängig und beträgt im betrachteten Frequenzbereiche etwa 4 bis 10 Watt pro Quadratmeter ($1\text{W}/\text{m}^2 = 1.000.000\mu\text{W}/\text{m}^2$) und basiert auf einer –aus baubiologischer Sicht verharmlosenden – Mittelwertbetrachtung der Belastung. Das liegt weit über dem Messbereich dieses Gerätes, da es darauf hin optimiert ist, insbesondere die Messwerte im Bereich baubiologischer Empfehlungen möglichst genau darzustellen.

Der „Standard der baubiologischen Messtechnik“, kurz SBM 2003 unterscheidet die folgenden Stufen:

Baubiologische Richtwerte gem. SMB-2003

© Baubiologie Maes / IBN

Angaben in $\mu\text{W}/\text{m}^2$	keine Anomalie	schwache Anomalie	starke Anomalie	extreme Anomalie
gepulst	< 0,1	0,1 - 5	5 - 100	> 100
ungepulst	< 1	1 - 50	50 - 1000	> 1000

Im Februar 2002 wurde von der Landessanitätsdirektion Salzburg aufgrund von "empirischen Erkenntnissen der letzten Jahre" eine Senkung des geltenden „**Salzburger Vorsorgewertes**“ von $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ vorgeschlagen, nämlich für Innenräume ein Wert von $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ und im Freien ein Höchstwert von $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

Der "Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V." (**BUND**) schlägt einen Grenzwert von $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ im Außenbereich vor, woraus angesichts üblicher Abschirmwirkungen von Baustoffen (außer Trockenbaumaterialien) für den Innenbereich resultiert, dass hier deutlich geringere Werte angestrebt werden sollten.

Das **ECOLOG**-Institut in Hannover gibt nur eine Empfehlung für den Außenbereich ab, nämlich $10.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Dieser Wert liegt deutlich höher als die Empfehlungen der Baubiologie und stellt eine Kompromissformel des Instituts mit dem Ziel dar, auch in der Industrie Akzeptanz zu finden und eine Chance auf Niederschlag in der Festlegung öffentlicher Grenzwerte zu finden. Einschränkend wird von den Autoren festgestellt,

- dass dieser Wert für maximal mögliche Emissionen von verursachenden Sendeanlagen ausgeht. Reale Messwerte sollten also deutlich kritischer bewertet werden, da die reale Auslastung der Sendeanlagen in der Regel nicht bekannt ist,

- dass von einer einzelnen Sendeanlage nicht mehr als ein Drittel dieses Wertes ausgehen sollte,

- dass auch umfangreiche Erfahrungen und Erkenntnisse einzelner Umweltmediziner und Baubiologen über die negative Wirkung deutlich geringerer Belastungen nicht bei der Grenzwertfestlegung berücksichtigt werden konnten, weil keine hinreichende Dokumentation dieser Ergebnisse vorhanden ist. Die Autoren schließen: „Eine wissenschaftliche Überprüfung dieser Hinweise ist dringend erforderlich.“

- dass nicht alle in der Literaturoswertung aufgeführten Effekte [...] auf zellulärer Ebene berücksichtigt werden konnten, da deren Schadenspotenzial noch nicht sicher abgeschätzt werden kann.

In Summe also eine Bestätigung von deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten liegenden Vorsorgewerten.

Hinweis für Handybesitzer:

Ein problemloser Handy-Empfang ist auch noch bei deutlich geringeren Leistungsflussdichten als dem strengen Richtwert des SBM für gepulste Strahlung möglich, nämlich schon ab Werten um $0,01\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Audio-Frequenzanalyse

Innerhalb des betrachteten Frequenzbandes von 800 MHz bis 2,5 GHz werden vielerlei Frequenzen für unterschiedliche Dienste genutzt. Zur **Identifizierung der Verursacher** von HF-Strahlung dient die Audioanalyse des amplitudenmodulierten Signalanteils.

Wichtig: Für die Audioanalyse sollte der kleine Schalter rechts neben dem Display „Signalanteil“ auf „Puls“ geschaltet sein. Falls auch ungepulste Anteile im Signal sind, erschwert nämlich deren akustische „Markierung“ (16 Hz „Knattern“) die Audioanalyse. Näheres im nächsten Kapitel.

Vorgehen:

Zunächst die Lautstärke am Drehknopf für die Audioanalyse rechts oben auf der Geräteoberseite ganz nach links („-“) drehen, da es beim Umschalten während eines sehr hohen Feldstärkepegels plötzlich sehr laut werden kann. Der Drehknopf ist nicht festgeklebt um ein Überdrehen des Potis zu vermeiden. Sollten Sie versehentlich über den Anschlag hinausdrehen, so können Sie durch Drehen über den Anschlag in der anderen Richtung den Versatz wieder ausgleichen.

„Betrieb“-Schalter auf  stellen.

Geräusche sind schriftlich sehr schwer zu beschreiben. Am einfachsten ist es, sehr nahe an bekannte Quellen heranzugehen und sich das Geräusch anzuhören. Ohne detailliertere Kenntnisse kann man leicht das **charakteristische Tonsignal** der folgenden Verursacher ermitteln: DECT-Telefon (Basisstation und Mobilteil) und Mobiltelefon (Handy), jeweils unterschieden zwischen „während des Gesprächs“, im „Standby-Modus“ und, insbesondere beim Handy, dem „Ein-

loggen“. Auch die charakteristischen Audiosignale eines Mobilfunksenders lassen sich so ermitteln. Dabei sollte man zu Vergleichszwecken eine Messung während der Hauptbelastungszeit und irgendwann nachts machen, um die unterschiedlichen Geräusche kennen zu lernen.

Mit dem „Lautstärke“-Drehknopf kann während der Messung die Lautstärke so reguliert werden, dass das charakteristische Tonsignal gut zu identifizieren ist. Nach der Audioanalyse sollte die Lautstärke dann wieder ganz heruntergeregt werden, da dieser viel Strom verbraucht.

Die Audioanalyse lässt sich mit den variablen Frequenzfiltern VF2 oder VF4 aus unserem Hause nochmals deutlich vereinfachen und präzisieren, indem damit einzelne Frequenzen ausgeblendet werden können und so auch kleinere Signalanteile anderer Verursacher deutlich unterscheidbar werden.

Eine CD mit einer Vielzahl von Klangbeispielen unterschiedlicher modulierter Signale (u.a. die der neuen Technologien UMTS und WLAN/Bluetooth) ist von Herrn Dr. Ing. Martin H. Virnich, Baubiologe aus Mönchengladbach, in Arbeit und wird, sobald sie verfügbar ist, im Programm von Gigahertz Solutions erhältlich sein. Voraussichtlich Ende 2005.

Einen link zu einigen typischen Klangbeispielen finden Sie als MP3-Audiodateien auf unserer homepage (www.gigahertz-solutions.de).

Hinweise für Benutzer des E-Smog-Handy's, HF-Digitmeters, Lambda-Fox oder HF-Detektors zum Verständnis der unterschiedlichen Charakteristik der Audioanalyse im vorliegenden Gerät finden Sie im Internet unter www.gigahertz-solutions.de unter Aktuelles.

Analyse des modulierten / gepulsten Signalanteils („Voll“/„Puls“)

Der kleine Schalter rechts des Displays ermöglicht eine quantitative Unterscheidung zwischen dem Gesamtsignal und dem gepulsten bzw. modulierten Anteil. Diese quantitative Unterscheidung wurde im HF59B erstmalig überhaupt in einem Breitbandmessgerät dieser Preisklasse realisiert. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber teuren Spektrumanalysern, bei denen diese Unterscheidung vergleichsweise aufwändig ist.

In der Schalterstellung „Voll“ wird die gesamte Leistungsflussdichte aller Signale im betrachteten Frequenzbereich dargestellt, in der Schalterstellung „Puls“ nur der amplitudenmodulierte Anteil. Im Falle von GSM- (Mobilfunk-), DECT-, Radar- und WLAN / Bluetooth- und anderen digital gepulsten Signalen können die Werte in beiden Schalterstellungen „gleich“ sein (im Rahmen der Toleranzen), da es sich um ein rein amplituden- (speziell: puls-) modulierte Signale ohne Trägeranteil handelt. Durch Überlagerungen und Hintergrundstrahlung ergibt sich jedoch häufig zumindest ein kleiner Unterschied.

Aufgrund der um den Faktor 10 niedrigeren Grenzwerte für gepulste Strahlung (gemäß SBM 2003) kommt dieser Unterscheidung größte Bedeutung zu, da ohne sie nicht klar ist, auf welchen Anteil des Messwertes der höhere und auf welchen der niedrigere Grenzwert anzuwenden ist.

„Markierung“ von ungepulsten Signalen

Im betrachteten Frequenzbereich sind größere ungepulste Anteile zwar seltener, kommen aber doch vor. Da es für gepulste und ungepulste Signale um einen Faktor 10 unter-

schiedliche baubiologische Richtwerte gibt, macht es unbedingt Sinn, diese zu unterscheiden.

Etwaige ungepulste Signalanteile werden deshalb mit einem gleichmäßigen Knatterton „markiert“, welcher in der Lautstärke proportional zum Anteil am Gesamtsignal ist. Die „Markierung“ hat eine Grundfrequenz von 16 Hz und ist ebenfalls als MP3-File auf unserer homepage downloadbar.

Hinweis zur Schalterstellung „Puls“: Bei der Einstellung „Puls“ kann unter Laborbedingungen ein Signal erzeugt werden, welches eine zusätzliche Abweichung vom Istwert in Höhe von maximal -3 dB verursacht. In der Praxis jedoch treten z.B. bei DECT- und GSM-Signalen nur minimale zusätzliche Toleranzen auf.

Benutzung der Signalausgänge

Der AC-Ausgang „PC/Kopfhörer“ (3,5mm Klinkebuchse) dient zur weitergehenden Analyse des amplitudenmodulierten / gepulsten Signalanteils z.B. über Kopfhörer oder eine PC-Audiokarte mit entsprechender Software.

Der DC-Ausgang (2,5mm Klinkebuchse) dient zur (Langzeit-) Aufzeichnung der Displayanzeige oder zum Anschluss einer externen Displayeinheit (im Lieferprogramm; siehe Kontaktadresse am Ende dieser Anleitung).

Bei „Vollausschlag“ auf dem Display liegt hier (umschaltbar) ein oder zwei Volt DC an.

Die reguläre Funktion Auto-Power-Off wird mit dem Einstecken des Steckers automatisch deaktiviert. Die Funktion tritt – ebenso automatisch - nur dann wieder in Kraft, wenn durch weiteren Betrieb eine Tiefentladung droht.

Weiterführende Analysen

Zur Erweiterung der Messbereiche nach unten und oben sind für dieses Gerät entsprechende Vorsatzverstärker und -dämpfer erhältlich (siehe Kapitel „Quantitative Messung“)

Weiterhin gibt es ein externes variables Frequenzfilter („Bandsperrfilter“ oder „Trap“) zur quantitativen Unterscheidung der Strahlungsquellen. Lieferbar sind zwei Varianten: Das VF2 mit 20 dB Sperrtiefe und das VF4 mit 40 dB Sperrtiefe

In Vorbereitung sind für dieses Gerät:

1. Ein digitales, internes Erweiterungsmodul u.a. zur Anzeige in anderen Einheiten (z.B. V/m, zur Erweiterung des Messbereichs auf 4999 statt 1999.
2. Ein digitales, internes Erweiterungsmodul zur Aufzeichnung von einzelnen Messwerten oder zur Langzeitaufzeichnung von Messreihen („Datenlogger“). Inklusive Auswertungssoftware für den PC.
3. .

Antennen für niedrigere Frequenzen

Zur Messung von Frequenzen ab 27 MHz (u.a. CB-Funk, analoges und digitales Fernsehen und Radio, TETRA etc.) benötigt man andere Antennen. Hierfür sind zwei Antennentypen erhältlich:

- Eine quasi-isotrope, „Ultrabreitbandantenne“ kompakter Bauform für Frequenzen ab 27 MHz bis in den GHz-Bereich
- Eine logarithmisch-periodische Messantenne (mit zur Peilung geeignetem Richtdiagramm) ab ca. 380 MHz (Sommer 2005)

Durch das Schaltungskonzept des HF59B können diese speziell kompensierten Antennen ohne weitere Umrechnungen o.ä. direkt an den Antenneneingang angeschlossen werden.

Für die **Analyse noch höherer Frequenzen** (bis ca. 6,5 GHz, also WLAN, WIMAX sowie einige Richtfunk- und Flugradar-Frequenzen) ist ein neues Breitbandmessgerät in Vorbereitung (2005)

Auch im Bereich der **Niederfrequenz** (Bahn- und Netzstrom inkl. künstlichen Oberwellen) fertigen wir eine breite Palette preiswerter Messtechnik professionellen Standards. Bitte wenden Sie sich bei Interesse an uns. Kontaktinformationen finden Sie am Ende dieser Anleitung.

Akkumanagement

Das Gerät ist **ab Werk** mit einem hochwertigen **NiMH-Akkupack** ausgestattet. Dieses erreicht seine volle Kapazität erst nach einer „Konditionierung“.

Zur **Akkukonditionierung** gehen Sie bitte folgendermaßen vor:

1. Stecken Sie den mitgelieferten Klinkenstecker in den DC-Ausgang (dies deaktiviert die reguläre Auto-Power-Off-Funktion). Schalten Sie das Gerät ein und lassen Sie es an, bis es sich automatisch ausschaltet (dies erfolgt automatisch kurz bevor der Akku ungewollt tiefentladen wird).
2. Schalten Sie das Gerät aus und schließen Sie nun das Netzteil an (die grüne Leuchtdiode „Laden“ leuchtet. Nach einer Ladedauer von etwa 10 bis 13 Stunden wird die Ladung automatisch beendet (die grüne Leuchtdiode erlischt).
3. Wiederholen Sie diesen Zyklus noch ein- oder zweimal und dann idealerweise alle ein- bis zwei Monate nochmals.

Der Akku wird es Ihnen danken! Ohne diese Maßnahme erreicht der Akku bei weitem nicht die spezifizierte Kapazität und altert schneller. Kleiner Tipp am Rande: Das gilt übrigens für alle Akkus, auch diejenigen, die Sie sonst so im Einsatz haben (elektrische Zahnbürste etc.)

Das reguläre **Laden** erfolgt analog zu obigem Punkt 2.

Akkuwechsel

Das Akkufach befindet sich auf der Geräteunterseite. Zum Öffnen im Bereich des gerillten Pfeils fest eindrücken und den Deckel zur unteren Stirnseite des Geräts hin abziehen. Durch den eingelegten Schaumstoff drückt der Akku gegen den Deckel, damit er nicht klappert. Das Zurückschieben muss also gegen einen gewissen Widerstand erfolgen.

Auto-Power-Off

Diese Funktion dient zur Verlängerung der realen Nutzungsdauer.

1. Wird vergessen, das Messgerät auszuschalten oder wird es beim Transport versehentlich eingeschaltet, so schaltet es sich nach einer Betriebsdauer von durchgehend ca. 40 Minuten automatisch ab.
2. Erscheint in der Mitte des Displays ein senkrechtes „LOW BATT“ zwischen den Ziffern, so wird das Messgerät bereits nach etwa 3 Minuten abgeschaltet, um Messungen unter unzuverlässigen Bedingungen zu verhindern und daran zu erinnern, den Akku möglichst bald nach zu laden.
3. Die reguläre Funktion Auto-Power-Off wird mit dem Einstecken des Steckers automatisch deaktiviert. Die Funktion tritt – ebenso automatisch – nur dann wieder in Kraft, wenn durch weiteren Betrieb eine Tiefentladung droht.

Fachgerechte Abschirmung ist eine zuverlässige Abhilfemaßnahme

Physikalisch nachweisbar wirksam sind fachgerecht ausgeführte Abschirmungen. Dabei gibt es eine große Vielfalt von Möglichkeiten. Eine individuell angepasste Abschirmung ist in jedem Falle empfehlenswert.

Ein breites Sortiment an hochwertigen baubiologischen Abschirmmaterialien (Farben, Tapeten, Vliese, Gewebe, Gewirke, Folien etc.) führt die Firma Biologa, einer der Pioniere auf dem Gebiet der Abschirmung schon seit den Anfängen der Baubiologie. Hier bekommen Sie fachkundige Beratung und detaillierte Informationen.

Die Schirmdämpfung unterschiedlicher Abschirmmaterialien wird in der Regel in „-dB“ angegeben, z.B. „-20dB“.

„Übersetzung“ von Schirmdämpfungsangaben in die resultierende Reduktion der Leistungsflussdichte:

„-10dB“ entspricht „Messwert durch 10“
“-15dB“ entspricht „Messwert durch ~30“
“-20dB“ entspricht „Messwert durch 100“
“-25dB“ entspricht „Messwert durch ~300“
“-30dB“ entspricht „Messwert durch 1000“
usw.

Bitte beachten Sie die Herstellerhinweise zu real *in der Praxis* erreichbaren Dämpfungswerten, die bei Teilschirmungen meist deutlich unter den Werten liegen, die mit einer Vollschirmung zu erreichen sind. Teilschirmungen sollten insofern immer möglichst großflächig angelegt sein.

Zusammen mit der Firma Biologa, mit der wir in Sachen Abschirmung / Schutzlösungen kooperieren, bieten wir **Produktschulungen und Seminare** zum Thema „Hoch- & Niederfrequenz – Messtechnik & Schutzlösungen“.

Für Informationen zu Terminen und Veranstaltungsorten nutzen Sie bitte die Kontaktmöglichkeiten weiter am Ende der Anleitung.

Eine umfangreiche Studie über die Abschirmwirkung verschiedener Materialien können Sie über die website von Herrn Dr. Dietrich Moldan bestellen.

(www.drmoldan.de)

Eine sehr informative Seite zum Thema Elektromog der Hoch- und Niederfrequenz und dessen Vermeidung finden Sie unter www.ohne-elektromog-wohnen.de

Garantie

Auf das Messgerät, die Antenne und das Zubehör gewähren wir zwei Jahre Garantie auf Funktions- und Verarbeitungsmängel. Danach gilt eine großzügige Kulanzregelung.

Antenne

Auch wenn die Antenne filigran wirkt, so ist das verwendete FR4-Basismaterial dennoch hochstabil und übersteht problemlos einen Sturz von der Tischkante. Als zusätzliche Sicherheit dienen die Leuchtdioden an der Antennenspitze, welche im eingeschalteten Zustand die durchgängige Kontaktierung aller Antennenelemente signalisieren. Im Falle eines mechanischen Schadens verlöscht eine oder beide LEDs. Die Garantie umfasst auch solche Sturzschäden, sollte doch einmal einer auftreten.

Messgerät

Das Messgerät selbst ist ausdrücklich nicht sturzsicher: Aufgrund des schweren Akkupacks und der großen Zahl bedrahteter Bauteile können Schäden in diesem Falle nicht ausgeschlossen werden. Sturzschäden sind daher durch die Garantie nicht abgedeckt.

Messbereiche HF59B

Messbereich	Balken im Display	Auslieferungszustand, d.h. ohne Vorverstärker oder Dämpfungsglied		
		Anzeigewert u. -einheit		Ist-Einheit
grob		0.01 - 19.99	mW/m ²	mW/m ²
mittel		00.1 - 199.9	µW/m ²	µW/m ²
fein		0.01 - 19.99	µW/m ²	µW/m ²
<i>einfach ablesen - kein Korrekturfaktor</i>				

Messbereich	Balken im Display	Mit ext. Dämpfungsglied DG20 (Schalter "Pegelanpassung" auf "Dämpfer; -20dB")		
		Anzeigewert u. -einheit		Ist-Einheit
grob		1 - 1999	mW/m ²	mW/m ²
mittel		0.01 - 19.99	mW/m ²	mW/m ²
fein		.001 - 1.999	mW/m ²	mW/m ²
<i>einfach ablesen - kein Korrekturfaktor</i>				

Messbereich	Balken im Display	Mit externem Verstärker HV30 (Schalter "Pegelanpassung" auf "keine; 0 dB")		
		Anzeigewert u. -einheit		Ist-Einheit
grob		0.01 - 19.99	mW/m ²	µW/m ²
mittel		00.1 - 199.9	µW/m ²	nW/m ²
fein		0.01 - 19.99	µW/m ²	nW/m ²
<i>Kommastelle bleibt - "nächst kleinere Einheit"</i>				

Umrechnungstabelle W/m² und V/m

	V/m	0,0000614	0,0000194	0,000614	0,00194	0,00614	0,0194	0,0614	0,194	0,614	1,94	6,14	19,4	61,4
	mV/m	0,0614	0,194	0,614	1,94	6,14	19,4	61,4	194	614	1.940	6.140	19.400	61.400
	W/m ²	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,0000000001	0,01	0,1	1	10
	mW/m ²	0,000000001	0,000000001	0,000000001	0,000000001	0,000000001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000
	µW/m ²	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000	1000000	10000000
	nW/m ²	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000	1000000	10000000	100000000	1000000000	10000000000

mV/m und V/m - Angaben gerundet, siehe auch Tabelle in der nächsten Spalte

Umrechnungstabelle Conversion Table

µW/m ²	mV/m	µW/m ²	mV/m	µW/m ²	mV/m
0,01	1,94	1,0	19,4	100	194
-	-	1,2	21,3	120	213
-	-	1,4	23,0	140	230
-	-	1,6	24,6	160	246
-	-	1,8	26,0	180	261
0,02	2,75	2,0	27,5	200	275
-	-	2,5	30,7	250	307
0,03	3,36	3,0	33,6	300	336
-	-	3,5	36,3	350	363
0,04	3,88	4,0	38,8	400	388
0,05	4,34	5,0	43,4	500	434
0,06	4,76	6,0	47,6	600	476
0,07	5,14	7,0	51,4	700	514
0,08	5,49	8,0	54,9	800	549
0,09	5,82	9,0	58,2	900	583
0,10	6,14	10,0	61,4	1000	614
0,12	6,73	12,0	67,3	1200	673
0,14	7,36	14,0	72,6	1400	727
0,16	7,77	16,0	77,7	1600	777
0,18	8,24	18,0	82,4	1800	824
0,20	8,68	20,0	86,8	2000	868
0,25	9,71	25,0	97,1	2500	971
0,30	10,6	30,0	106	3000	1063
0,35	11,5	35,0	115	3500	1149
0,40	12,3	40,0	123	4000	1228
0,50	13,7	50,0	137	5000	1373
0,60	15,0	60,0	150	6000	1504
0,70	16,2	70,0	162	7000	1624
0,80	17,4	80,0	174	8000	1737
0,90	18,4	90,0	184	9000	1842

Warum keine Spalte: „dBm“?

Die von anderen Messgeräten angezeigte Hilfsgröße „dBm“ wird mit viel Aufwand in generischen Größen „W/m²“ oder „V/m“ umgerechnet; Das „Rückrechnen“ macht folglich keinen Sinn.