

# DL2DAP\_HF-Messpraxis und Messgeräte für Funkamateure 2021

Informationen zusammengestellt von Heinz Plate, DL2DAP (DARC-OV G73) eMail: dl2dap@darf.de

**Die technischen Anforderungen der AFuV an die Amateurfunkstelle (§ 16 (4,6), § 17, § 20 (3), Anlage 1 zu § 1 (6) ) setzen das Vorhandensein erforderlicher Messgeräte und das Fachwissen für Funkamateure sowie die Bedienung und ihre Anwendung voraus.**

*In manchen, aber nicht allen Fällen können diese auch in die Sende- oder Empfangsgeräte eingebaut sein.*

*Jeder Funkamateur sollte wenigstens einige wichtige Messgeräte wie z. B. ein Wattmeter, SWR-Meter und Abschlusswiderstand (künstliche Antenne) an der Station bereithalten.*

## Inhaltsverzeichnis:

1. Allgemeines
2. Was ist Messen
  - 2.1 Wie wird gemessen?
  - 2.2 Auswahl der Messtechnik
  - 2.3 Welchen Anforderungen müssen Messgeräte genügen
  - 2.4 Wie wurde das Messergebnis erreicht?
3. Messung von HF-Signalen
4. Messtechnik-Teil: Messgeräte

### 1. Allgemeines

Die niederfrequente elektronische Messtechnik stützt sich in der Regel auf die Messung von Spannungen und Strömen ab. Die dafür einfachsten Messgeräte sind das Volt- und Amperemeter. Mit ihnen können die für diesen Bereich wichtigsten Parameter bestimmt werden. **“Im Hochfrequenzbereich versagen diese Methoden fast ganz“.**

Daher mussten für die Hochfrequenzmesstechnik andere Messmethoden entwickelt werden. In der Hochfrequenztechnik hat die Bestimmung der Wirkleistung eine große Bedeutung. Die Kenntnis der Wirkleistung hat großen Einfluss auf die Frequenznutzung, die Aufrechterhaltung der Funkverträglichkeit sowie die Einhaltung der gesetzlich vorgegebenen Schutzanforderungen. Dafür sollte jedoch die Wirkleistung gemessen werden. Insofern ist die Einhaltung der zugeteilten Leistungsparameter einer Funkanlage die beste Lösung für den Funkamateur.

### 2. Was ist Messen?

Messen ist das Vergleichen einer Größe mit einer anderen gleicher Art (Messwerte). Man versteht darunter das experimentelle Bestimmen des Messwertes einer physikalischen Größe (Länge, Temperatur o.ä.) im Verlauf eines Messvorganges durch quantitativen Vergleich einer Messgröße mit einer Einheit (Meter, Kelvin) als Bezugsgröße.

#### 2.1 Wie wird gemessen?

Prinzipiell kann die zu bestimmende Größe **direkt**, oder falls das nicht möglich ist, über das Messen einer anderen Größe, die mit der zu messenden Größe in einer bekannten Beziehung steht, **indirekt** gemessen werden.

**Einfach ausgedrückt heißt das:** Kann die Größe nicht direkt gemessen werden, wird eine Ersatzgröße gemessen und anschließend muss umgerechnet werden.

Das Messen der jeweiligen Größe muss mit einem zur Messung dieser Größe **geeignetem** Messgerät erfolgen.

Damit die Wiederholbarkeit der Messung gewährleistet ist, sollte jede Messgröße mit Gleichartigen Messgeräten nach einer einheitlichen Messanleitung (Messvorschrift) ermittelt werden. Trotz dieser Gleichartigkeit der Herangehensweise enthält jede einzelne Messung eine eigene Messunsicherheit.

## 2.2 Auswahl der Messtechnik

Die gesetzlichen Regelungen, die das **Handeln der Behörde, hier das Ausführen von Messungen**, fordern, finden sich im TKG und im EMVG.

*Im Gegensatz zu den **ungültigen FAG und dem HFG** schränken diese beiden Gesetze den nutzbaren Frequenzbereich nicht mehr ein.*

Das heißt, die **Frequenzbereichsnutzung** wird entsprechend der technischen Möglichkeiten laufend zu den höheren Frequenzen verschoben. **Entsprechend dieser Anforderungen müssen geeignete Messgeräte vorgehalten und zum Einsatz gebracht werden.**

Prinzipiell ist nun zu unterscheiden, ob innerhalb dieses doch sehr großen Frequenzbereiches ein breites Frequenzband (**breitbandig**), oder nur ein ganz schmaler Bereich des Frequenzbandes (**schmalbandig**) gemessen werden soll.

## 2.3 Welchen Anforderungen müssen Messgeräte genügen?

Die Messgeräte müssen zur Messung der zu messenden Größe geeignet und kalibriert sein.

**Die Eignung wird durch folgende Eigenschaften des Messgerätes charakterisiert:**

- Messbereich
- Empfindlichkeit
- Genauigkeit
- Anstiegszeit
- Frequenzdynamik

Der **Messbereich** ist der Bereich zwischen dem kleinstmöglichen und größtmöglichen zu messenden Wert. (Messbereichsendwert minus Messbereichanfangswert)

**Empfindlichkeit** ist die kleinste Änderung der Messgröße, die zu einer Änderung der Anzeige führt.

Die **Genauigkeit** ist die Angabe des zufälligen Messfehlers des Messgerätes, der bei einer Mehrfachmessung einer konstanten Größe entsteht.

Die **Anstiegszeit** ist die Angabe, wie rasch die Geräteanzeige einer sprunghaften Änderung der Messgröße folgt.

Bei modernen Geräten wird die Anstiegszeit durch die „Messzeit“ beschrieben.

Die **Frequenzdynamik** eines Messgerätes gibt an, zwischen welcher unteren und oberen Frequenz die Frequenz der Messgröße liegen darf.

## 2.4 Wie wurde das Messergebnis erreicht?

Entsprechend der Aufgabenstellung ist das anzuwendende Messverfahren und die erforderliche Messtechnik festgelegt.

Handelt es sich bei der Aufgabenerledigung um eine Messtätigkeit, für die entsprechende **Messanweisungen** vorliegen, so ist der Arbeitsablauf der praktischen Messung einschließlich der **erforderlichen Dokumentation** an Hand des jeweiligen Mess- oder Prüf -Protokolls vorgegeben.

**Die messtechnische Erfahrung** zeigt, dass ohne eine exakte Protokollierung aller Daten sehr schnell wichtige Angaben aus Gründen der „Selbstverständlichkeit“ vergessen werden und die Aufgabenerledigung den Qualitätsansprüchen nicht gerecht wird.

Natürlich ist es ebenso erforderlich, **Randbedingungen** oder nicht alltägliche Besonderheiten die bei einer Messung auftreten oder ggf. zu deren Nichtausführung führen, möglichst detailliert zu notieren.

Werden Messungen ausgeführt, die **Normgrenzwertbetrachtungen** beinhalten, muss das betreffende Gerät nach seiner Funktion in die Norm eingeordnet werden.

Anhand dieser Norm ist zu prüfen, ob Aussagen bezüglich eines Grenzwertes getroffen werden.

**Der Grenzwert** stellt am Betriebsort die Grundlage dar, das betreffende Gerät zu beurteilen.

Ist in der Norm ein Grenzwert geregelt, bedeutet dies, das Störphänomen ist benannt.

Die Messung ist entsprechend der Normvorgaben durchzuführen.

Ist der Grenzwert festgelegt, wird dazu eine exakte Aussage getroffen. Ist der Grenzwert weder geregelt noch benannt, so ist zur weiteren Beurteilung die zutreffende Fachgrundnorm heranzuziehen.

**Wird in der Norm** ein Grenzwert für die Feldstärke und die zugehörige Normentfernung angegeben, so besitzt die Messung in Normentfernung höchste Priorität.

Mittlere Priorität hat eine Messung an mehreren Punkten, wenn die Normentfernung eingeschlossen wird. Die ungünstigste Variante ist die Messung in sinnvoller Entfernung und anschließende Umrechnung in die Normentfernung.

Nach der Ermittlung des Messwertes in einer Entfernung wird durch Gegenüberstellung Mess- zu Grenzwert geprüft, ob evtl. noch ein anderes Messverfahren zur Anwendung gebracht werden muss (Substitution).

Auswertungskriterien sind in den Messvorschriften der Behörde vorgegeben.

### **Es sind nur folgende Beurteilungskriterien möglich:**

1. Gerät hält den Grenzwert sicher ein

2. Gerät hält den Grenzwert nicht ein

3. Weiterbearbeitung als Kollisionsfall

Wenn keine der Normen eine Aussage zur vorliegenden Störsituation macht, sind die Schutzziele (des EMVG) zur Anwendung zu bringen. Hierbei muss sorgfältig erlassen werden, mit welchem späteren Aufwand an Quelle und/oder Senke geeignete Abhilfemaßnahmen durchzuführen sind.

### **3. Messung von HF-Signalen**

Die Anwendung und Nutzung der Hochfrequenz hat sich in unserer modernen Industriegesellschaft zu einem bedeutenden Wirtschaftszweig entwickelt, der nahezu alle Bereiche des öffentlichen und privaten Lebens erfasst.

Mit Hilfe dieser Technik ist es nicht nur möglich, Nachrichten über eine größere Entfernung zu übermitteln, sondern auch andere Effekte durch Hochfrequenz, wie die elektrische Erwärmung in der Medizin (Kurzwellentherapie) und Industrie (Folienschweißgeräte), in der wissenschaftlichen Forschung, in der Raumfahrt, in der Steuerungstechnik und in vielen anderen Anwendungsbereichen zu nutzen.

Auf Grund dieser vielgestaltigen HF-Erzeugung und durch den Betrieb elektrischer Geräten und Einrichtungen entsteht ein sehr großes Spektrum hochfrequenter Energie, die sich aus der **absichtlich** und der **unabsichtlich** erzeugten HF zusammensetzt.

Es ist leicht erkennbar, dass solch ein Gemisch von Signalen auch zu gegenseitigen Beeinträchtigungen in den einzelnen Anwendungen führen können.

Es ist daher erforderlich, dieses Gemisch in Nutzsignale und Störsignale zu unterscheiden.

**Nutzsignale sind beabsichtigte** Aussendungen hochfrequenter Signale an einen allgemeinen Empfängerkreis (Rundfunk, CB-Funk) oder an einen bestimmten Empfänger (Betriebsfunk, Mobilfunk).

**Störsignale** sind HF-Energien, die bewirken, dass andere Anwendungen in ihrem **bestimmungsgemäßigem Betrieb** beeinträchtigt werden.

*In der Historie bezog sich der Begriff „Störung“ in der Regel auf die Störung einer Funkanwendung, die mit einem subjektiven „Störeindruck“ hinterlegt war.*

Aus dem Bereich der Tonrundfunkstörung, d.h. die Intensität des Störgeräusches bestimmt den subjektiv wahrnehmbaren Störeindruck eines Zuhörers, stammt die Einführung des Effektivwert-Geräuschwertes nach CISPR.

**In Abänderung der technischen Anforderlichkeit verwendet die heutige Messtechnik den bewerteten Spitzenwertdetektor Quasi-Peak.**

Es versteht sich von selbst, dass Nutzsignale eine bestimmte Signalstärke (Energiegehalt / Feldstärke) benötigen, um den Nachrichteninhalt möglichst verlustlos über eine bestimmte Entfernung zum Empfänger zu übertragen.

In der drahtlosen Nachrichtentechnik wird als Trägermedium eine elektromagnetische Schwingung, die von einer Antenne abgegeben wird, und als Ausbreitungsmedium der Freiraum genutzt.

Die Trägerschwingung (Trägerfrequenz) wird von einem Generator (Sender) erzeugt, mit der Nachricht gemischt (moduliert) und über entsprechende Kabel der Sendeantenne zugeführt.

**Folgende Messpunkte** zur Leistungsmessung stehen bei diesem Signalweg zur Verfügung:

**Am Senderausgang:** Messung der Senderausgangsleistung, **am Fußpunkt der Antenne:** Messung der der Antenne zugeführten Leistung, aus dieser und den technischen Daten der Antenne kann die Strahlungsleistung bestimmt werden.

Hat die Schwingung die Antenne verlassen, unterliegt sie nach der Theorie der Wellenausbreitung von Maxwell und Hertz speziellen Ausbreitungsbedingungen.

Es bildet sich ein elektromagnetisches Strahlungsfeld, welches nach dem sog. Nahfeld und dem Fernfeld unterschieden wird.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Messungen der Nutz- und Störfeldstärken.

**Die Messung der Nutzfeldstärken erfolgt unter praktischen Betriebsbedingungen im Fernfeld der Strahlungsquelle.**

Im Gegensatz dazu finden **Messungen der Störfeldstärken im Nah oder Fernfeld** der Strahlungsquelle statt. Hintergrund dessen sind die oftmals sehr großen Pegelunterschiede von Nutz- bzw. Störsignal.

**Die Messung der Feldstärke ist immer auf eine Messung der Spannung an einer in ihren elektrischen Eigenschaften bekannten Messantenne zurückzuführen.**

#### **4. Messtechnik-Teil: Messgeräte**

##### **Die Grundausstattung:**

Jeder Funkamateurliebt *mindestens* die folgenden Messgeräte zur Verfügung haben:

- Ein Frequenz-Messgerät mit einer Genauigkeit von 10 Hz liegt.
- Ein RF Power Meter für die Messung der HF- Leistung
- Stehwellenmessbrücke (SWR-Meter)
- Dummyload
- Eine genaue Digitalmultimeter (mit einem Hochspannungs-Sonde zur Messung von Spannungen sicher oberhalb 500V).
- Koaxial-Messkabel (PL-259, BNC, N, SMA in verschiedenen Kombinationen.)
- Eine gut regulierbares und stabilisiertes Netzteil (13.8V/25A Minimum).

##### **Für den fortgeschrittenen Om:**

Für anspruchsvollere Sendereinstellung (SSB Audio-, Modulations-Hüllkurve, Töne in digitale Betriebsarten etc.), sollten wir bereithalten:

- Ein Oszilloskop mit mindestens 3 dB-Bandbreite von 50 - 100 MHz.
- Ein Audiosignal-Generator (oder Ton-Generator-Software), der 50 Hz - 100 kHz.
- Ein Frequenzzähler mit einem Minimum Frequenzbereich von 450 MHz, besser bis 1 GHz.
- Ein Handheld-Antenne Analysator.
- Ein Grid-Dip-Meter (ein durchstimmbarer Oszillator mit Steckspulen).

## **Für schwierige Arbeiten :**

Für Funkamateure die ihre Geräte selbst abbleichen und reparieren wollen:

- Ein RF-Signalgenerator mit 400 kHz bis ca. 500 MHz, mit einem integrierten Dämpfungseinsteller.
- Ein Feldstärkemesser, mit einem Feldstärkemesser lässt sich die relative Feldstärke in Sendernähe bestimmen. Anwendung: Abgleich von Antennen und Feststellung von HF-Pegeln.
- Ein HF-Spektrumanalysator mit einer oberen Grenzfrequenz von mindestens 100 MHz (für HF) oder 1 GHz (für HF / VHF / UHF oder höher), mit einer minimalen Auflösung von 100 Hz Bandbreite.
- Ein Tracking-Generator zur Verwendung mit dem Spektrumanalysator oder alternativ einem Vektor-Netzwerkanalysator (VNA).
- Ein HF-Millivoltmeter oder Microwattmeter (100 kHz - 1 GHz, -50 bis +30 dBm).
- Eine Reihe von HF-festen Dämpfungsglieder.
- Eine HF-Eichleitung.
- Ein variables Netzteil (0 - 20V, 25A).
- Ein Vektor-Netzwerk-Analysator (freistehend oder PC-basiert).

**Hiermit haben wir bereits ein ziemlich gutes kleines HF-Labor angesammelt.**

**Für umfangreiche Geräte-Tests können wir hinzufügen:**

- Eine zweite hochwertige HF-Signalgenerator und einen Hybridkombinator, für 2-Signalempfänger Tests.
- Ein Audio-2-Klangerzeuger oder gleichwertige Ton-Generator-Software.
- Ein RF-Rauschen-Generator.
- Ein Präzisions-Frequenz 10 MHz Standard mit geringem Phasenrauschen, um clock andere Instrumente mit einem 10-MHz-Referenz (zB Zähler, Signal-Generatoren).
- Ein Impulsgenerator, für AGC und Lärm-Austaster Tests.
- Basisbandspektrum-Analyse-Software für Filter Antwort-Messungen, etc.
- Ein Audio-Verzerrung Analysator, Klirrfaktormesser oder SINAD Meter.