

## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage

In dieser technischen Dokumentation geht es um den Aufbau und die Verkabelung von Antennen und den dazugehörigen Messungen.

Bevor man eine neue Antenne montiert empfehle ich schon vor der Installation die im Folgenden beschriebenen drei Messungen durchzuführen! Es ist sehr ärgerlich wenn nach erfolgter Komplettmontage der Antenne mit der Kabelverlegung, an irgendeinem Mast freistehend oder über einem Hausdach mit allen dafür erforderlichen Arbeiten zur Antennenmontage diese nicht zufriedenstellend funktioniert!

Die Gründe sind vielfältig, entweder das SWR ist schlecht „*oder zu gut*“, durch zu hohe Kabeldämpfungen. Auch durch defektes ungeeignetes Antennenkabel, das tritt alterungsbedingt besonders bei hohen Frequenzen auf. Koaxialkabel dessen Dämpfung groß ist, zeigt augenscheinlich ein gutes SWR an, entspricht aber nicht der Realität des realen SWR. Übrigens die Bezeichnung SWR ist hier nicht ganz richtig, da wir mit einem (VN)-Analyser die **Welligkeit** (*Rückflussdämpfungsverlauf S11*) und die **Dämpfung** (*COAX LOSS*) (S21) bei einer gegebenen Frequenz XYZ von dem Kabel messen wollen. Oft sind leider auch ungeeignete, fehlerhafte montierte Stecker für hohe Dämpfungen die Ursache! Es ist egal ob wir älteres oder neues Antennenkabel verwenden werden. Meistens handelt es sich um 50Ω Koaxialkabel die wir verwenden. Solche Kabel sollten wir mit geeigneten Messgeräten vorher auf **Eignung** prüfen! Drei Messungen, die ich auf der Seite 8 und 9 beschrieben habe, kann ich nur jedem empfehle, um nach Fertigstellung und Endmontage der Antenne keine bösen Überraschungen nach der Montage zu erleben. Mit geeigneten Messgeräten kann man den Antennenaufbau messtechnisch überprüfen. **SWR Messgeräte** sind für solche Messungen vollkommen ungeeignet, diese kommen zum Schluss auf den Stationstisch zwecks operativer Überwachung. Als Messgeräte zum Antennenaufbau kommen solche von MFJ, Rig Expert, Nano-VNA oder hochwertige **Vektor Netzwerk Analysatoren** zum Einsatz.

Zuerst wird die Dämpfung des Kabels für die entsprechende höchste Frequenz die ihr vorgesehen habt gemessen, z.B. 30, 145, 450 oder >1240MHz usw. Diese Messung erfolgt über die Funktion COAX LOSS bei den meisten Analysatoren besteht diese Möglichkeit z.B. MFJ, Rig Expert u.v.a. Dieser Dämpfungswert muss dann mit den Herstellerangaben des entsprechenden HF-Kabels verglichen werden, die Hersteller geben die Dämpfungsangaben in dB bezogen auf hundert Meter an.

Diese Angaben in dB@100Meter entsprechend der Frequenz müsst ihr rechnerisch vergleichen mit der eurer tatsächlichen verwendeten Kabellänge! Sollte die Dämpfung des Kabels höher ausfallen, dann braucht man mit diesem HF-Kabel nicht mehr weiter hantieren, es ist reif für die Metalltonne! Solche Kabel gaukeln dann ein gutes SWR vor, obwohl es fehlerhaft ist. Bei größeren Kabellängen funktionieren diese dann noch wie ein „*Dämpfungsglied*“. In solchen Fällen kommt natürlich nicht mehr viel von der Senderenergie aus dem Transceiver an der Antenne an, dazu gehört auch die reduzierte Empfangsspannung die sich natürlich bei Frequenzen > 30MHz schon bemerkbar machen.

Wenn die unerwünschten **Kabeldämpfungen** entsprechend der Frequenz sehr hoch sind, dann hat man meistens auch ein angeblich gutes SWR. Ein Anwendungsfall: Man nehme RG 58C/U für 435MHz mit 25Meter Kabellänge, dann hätte man eine Dämpfung von 10,1dB und das SWR Meter würde grundsätzlich gute Werte anzeigen, obwohl das nur der Fall ist weil die Kabeldämpfung sehr hoch ist. Das Antennen SWR also die eigentliche Antennenpassung wird dadurch vollkommen verfälscht angezeigt, nämlich zu gut!

## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage

Die gängigsten im AFU betriebenen HF-Kabel habe ich zur Übersicht einmal zusammengestellt und in durchaus übliche Kabellängen von rund 25 Metern umgerechnet um die zu erwartenden Dämpfungen verständlich darzustellen. *Diese Kabeldämpfungen sind nach meinen Erfahrungen oftmals geringer!*

In meinem Vortrag HF Koaxialkabel: <https://www.darc.de/der-club/distrikte/h/ortsverbaende/33/technik/#c237677> könnt Ihr noch mehr Einzelheiten über HF-Kabel erfahren!

**Die Kabeldämpfungen müssen so gering als möglich gehalten werden.** Es ist unökonomisch z.B. 3dB Verluste zu haben, das ist die Hälfte der Senderleistung – also 100Watt Senderleistung die Hälfte wären 50Watt die dann noch an der Antenne ankommen würden!

Kabel Typ	Frequenz	Dämpfung@100m	<u>Dämpfung@25m</u>	Kabel Typ	Frequenz	Dämpfung@100m	<u>Dämpfung@25m</u>
RG 58C/U	28MHz	8,5dB	2,13dB	RG 213	28MHz	3dB	0,75dB
RG 58C/U	144MHz	20,8dB	5,2dB	RG 213	144MHz	7,2dB	1,8dB
RG 58C/U	435MHz	40,4dB	10,1dB	RG 213	435MHz	13,6dB	3,4dB
RG 58C/U	1350MHz	61,2dB	15,3dB	RG 213	1296MHz	30dB	7,5dB
Kabel Typ Ultra Flex 10	Frequenz	Dämpfung@100m	<u>Dämpfung@25m</u>	Kabel Typ Hyperflex 13	Frequenz	Dämpfung@100m	<u>Dämpfung@25m</u>
H2010	28MHz	2dB	0,5dB	Hyperflex 13	28MHz	1,5dB	0,37dB
H2010	144MHz	4,7dB	1,2dB	Hyperflex 13	144MHz	3,6dB	0,9dB
H2010	435MHz	8,6dB	2,15dB	Hyperflex 13	435MHz	6,4dB	1,6dB
H2010	1350MHz	16,4dB	4,1dB	Hyperflex 13	1296MHz	11,7dB	2,9dB

## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage

Einige Beispiele: 10dB Kabeldämpfung RG58C/U@435MHz alles bezieht sich auf 25Meter Kabellänge, dann wären bei 100Watt Senderausgangsleistung nur noch 10Watt an der Antenne! Demgegenüber stände z.B. das Ultra Flex 10 (Ecoflex 10 *TM*) ebenfalls mit 25m Kabellänge bei 2,15dB@435MHz dann kommen noch 48Watt an der Antenne an. Also wer dort ernsthaften Betrieb machen möchte, sollte dann auf das Hyperflex 13 umsteigen, das hat eine Dämpfung von 1,6dB@435MHz Senderleistung wieder 100Watt dann steht am Antennenanschluss noch 66Watt zur Verfügung. *Dazu addiert sich dann wieder der Antennengewinn – Beispiel 66Watt plus 12dB Antennengewinn einer Yagi ergibt eine Strahlungsleistung von ca. 400Watt.*

Und genau darum geht in dieser Dokumentation, vorher das sogenannte **COAX LOSS** also die Kabeldämpfung vor Installation messen. Die Messung ist nach dem Aufbau (Seite 4) durchzuführen! Die genauen Daten über die Kabeldämpfungen sind in den entsprechenden Datenblätter, Frequenzbezogen, von den Herstellern der Kabel zu entnehmen. Es gibt zwei einfache Möglichkeiten einmal die Messung über die Kabel Loss Funktion mit Rig Expert, MFJ Analyzer also offenes Ende oder die S21 Messung mit einem VNA für die erforderliche Kabellänge.

Diese Kabeldämpfungen verbessern noch das angezeigte SWR welches sich leider negativ auf die Gesamtmessung auswirkt, *ähnlich einem Dämpfungsglied*. Obwohl in Wirklichkeit das **gesamte SWR** an der Antenne durch das Dämpfungsverhalten des Kabels in Wirklichkeit schlechter ist - aber besser angezeigt wird. Bei ungeeigneten HF Kabel kommt noch dessen eigene Welligkeit hinzu die wiederum das Gesamtkonstrukt und die Messung negativ beeinträchtigen kann.

### Ein Spezifikationsbeispiel Ultra Flex 10 Kabel über dessen Eigenwelligkeit:

0,3 bis 600MHz >30dB Rückflusdämpfung das  $\triangleq$  einem SWR von 1.06  
600 bis 1200MHz >25dB Rückflusdämpfung das  $\triangleq$  einem SWR von 1,12  
1200 bis 2000MHz >20dB Rückflusdämpfung das  $\triangleq$  einem SWR von 1.22

Solche Angaben findet man leider nur in guten Spezifikationen der Kabelhersteller, diese geben Auskunft nicht nur über die Kabeldämpfung sondern auch über dessen Eigenrückflusdämpfung (Welligkeit), die durchaus für Spezialisten unter Euch interessant sind. Allerdings fehlen diese Werte häufig bei RG Typen bei hohen Frequenzen und fallen dann technisch negativ bei höheren Frequenzen ins Gewicht. Deshalb die Messung der Kabelwelligkeit auf der Seite 5 mit einem geeigneten Abschlusswiderstand  $>30\text{dB}$  am Ende des Koaxialkabels messen. Darüber hinaus gibt diese Messung Auskunft ob das Kabel nicht noch Eigenresonanzen aufzeigt (*u.a. durch mechanische Defekte die meistens nicht erkennbar sind*).

Zum Abschluss kommt noch eine der wichtigsten Messungen, funktioniert das gesamte System, also alle Steckverbindungen mit Kabel und angeschlossener Antenne? Diese Messung wird entsprechend dem Aufbau auf Seite 7 durchgeführt. Wenn die Antenne richtig funktioniert sollte diese entsprechend ihrer Spezifikation mit allen Anpassungswerten (SWR) einwandfrei funktionieren.

## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage

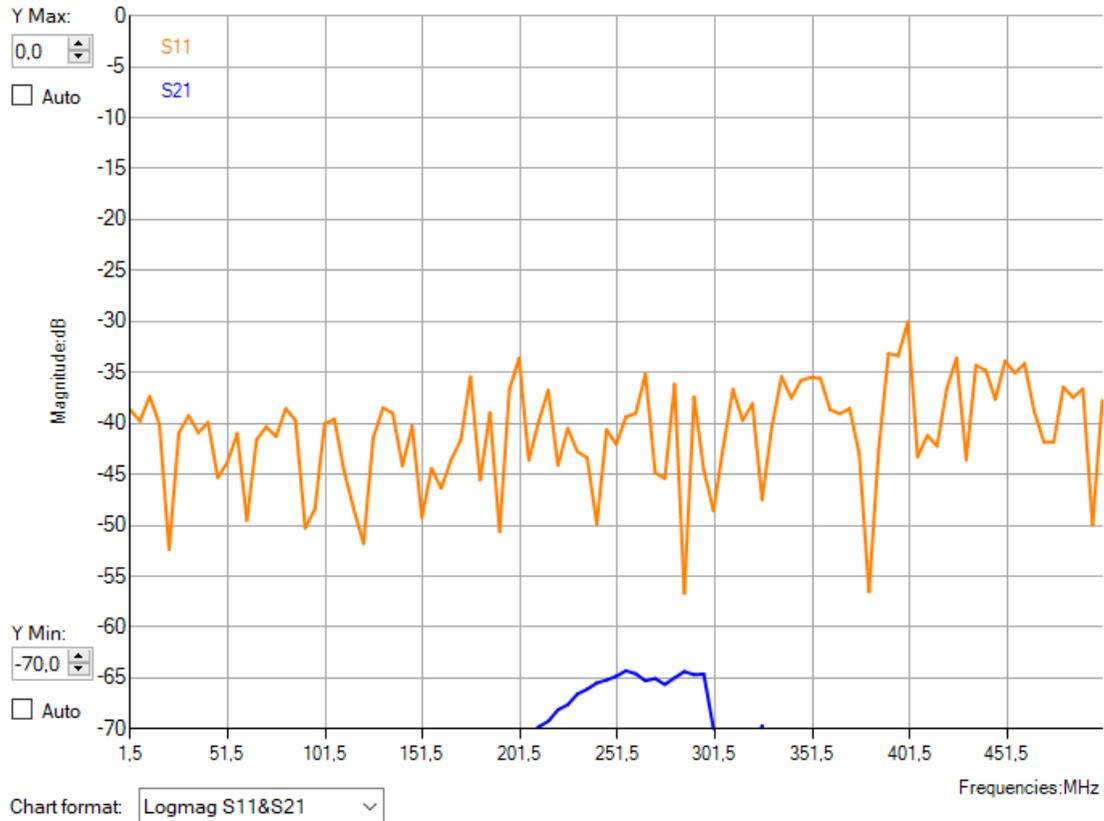
Somit seid ihr sicher, alles Notwendige für das komplette Übertragungssystem mit den entsprechenden Prüfungen für die einwandfreie Funktion getan zu haben. Dass die eingesetzten Messgeräte vorher mit ihren Kalibrierstandards mit der entsprechenden Prozedur kalibriert worden sind erklärt sich von selbst!!!

### Messung der Kabeldämpfung (Coax Loss) entsprechend der Frequenz



**Noch ein Beispiel:** Gegeben 3dB Kabeldämpfung und ein SWR von 2 ( $9,5 \text{ ar/dB}$ ) direkt an der Antenne, dann wird am Kabelende also am Anschluss des Transceiver eine SWR Anzeige 1,35 ( $16,5 \text{ ar/dB}$ ) angezeigt! Also deutlich besser als die tatsächliche Anpassung der eigentlichen Antenne. Resümee: Also je höher die unerwünschte Kabeldämpfung ist, umso besser die SWR Meter Anzeige als die der eigentlichen Antenne und das ist grundsätzlich nicht anzustreben! Je dämpfungsärmer das verwendete Kabel umso genauer lässt sich das gesamt System vermessen und entspricht den tatsächlichen Gegebenheiten. Das sollte unbedingt euer Ziel sein, um eine Antennenanlage mit dem höchst möglichen Wirkungsgrad zu betreiben. Noch etwas dazu: Fangt nicht an 1Meter oder X Meter dazwischenschalten um ein gutes SWR zu erreichen, das ist Unsinn! Bei einem intakten  $50\Omega$  System ist es egal an welcher Stelle ihr das SWR Meter anordnet! In der Nähe des Transceiver wird bedingt durch die Kabeldämpfung natürlich das beste SWR angezeigt und diese Messung dient letztlich als Indikator.

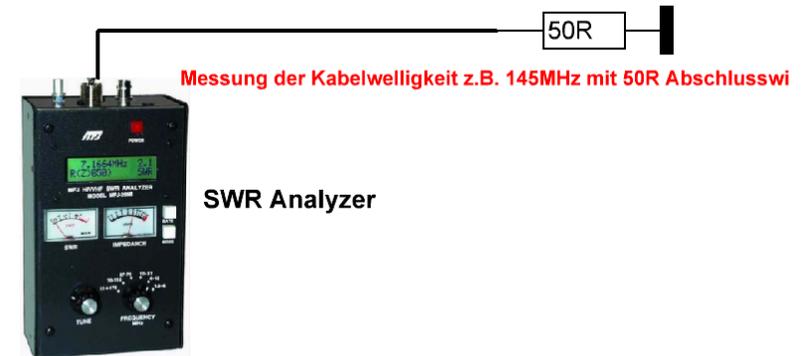
## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage



Die NanoVNA-H4 Messung zeigt die > 30dB Welligkeit des Kabels Ultra Flex 10, die Länge beträgt 20Meter, am Ende ist ein 50Ω Präzisionsabschlusswiderstand.

Die Welligkeit habe ich bis 500MHz gemessen mit einem NanoVNA-H4.

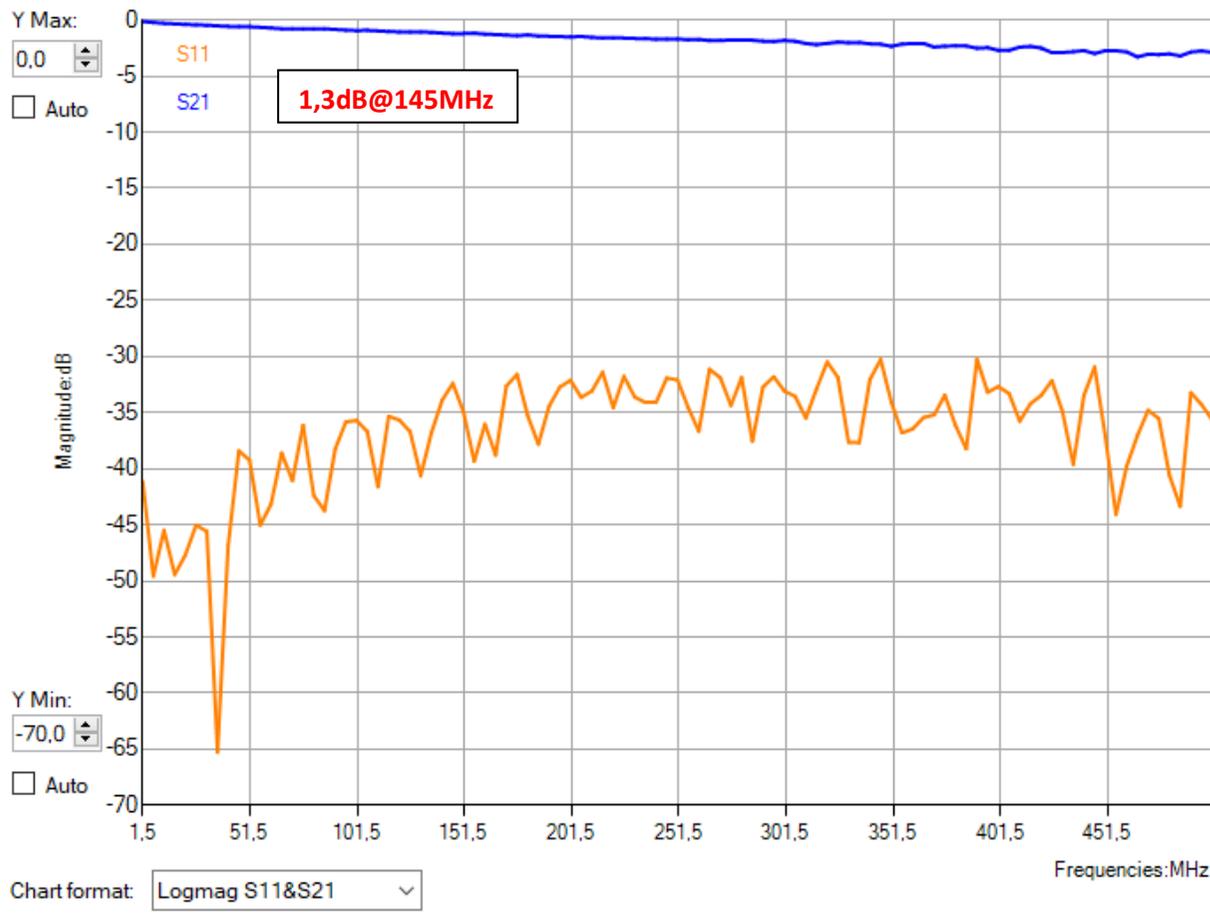
Eine Messung mit dem gezeigten MFJ Analyzer, dort kann lediglich die Welligkeit angezeigt werden jedoch ohne weitere kartesische Dokumentationsaussage, lediglich ob das Kabel beim durchstimmen mit dem Tune Steller immer 50Ω und ein **SWR deutlich < 1,2** auf den Anzeigeeinstrumenten anzeigt. Zur Erinnerung SWR 1,2  $\triangleq$  20,8dB Rückflusdämpfung.



Der blaue „Berg“ um 270MHz ist Richtkoppler bedingt durch eine unzureichende Isolation der Messbrücke und für diese Messung uninteressant!

Vergleicht die Herstellerangabe: 0,3 bis 600MHz >30dB Rückflusdämpfung das  $\triangleq$  einem SWR von 1.06

## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage



Messung der Kabeldämpfung (S21) und Rückflussdämpfung (S11) eines 20Meter Ringes HF Kabel Ultra Flex 10.

In dem Messbild links ist der S21 Verlauf zusehen; **blaue Linie** z.B. bei 145MHz dort sieht man, dass dieses Ergebnis mit dem auf Seite 4 gemessenen Wert bei 1,3dB@145MHz identisch ist. Die Messung links im Bild ist natürlich nur möglich solange der Kabelring vor einem liegt! Währenddessen die Messung auf Seite 4 gemessen werden kann, wenn das Kabel schon an der entsprechenden Antennenposition sich befindet und das Kabel noch offen und **nicht angeschlossen** ist. Solche Messungen können dann mit Rig Expert, MFJ und Co. Antennenanalyzer mit der COAX LOSS Funktion gemessen werden.

Wie oben schon beschrieben, sollten sich die Kabeldämpfungswerte von denen der Herstellerangaben gleichen. Sollten diese Dämpfungen höher ausfallen, sollte man das Kabel nicht mehr für diesen Anwendungsfall nutzen.

## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage

Zum Schluss muss der gesamte Antennenaufbau mit montierter Antenne an ihrer Aufbauposition, Kabelsteckverbindungen und Anzeigeinstrumenten geprüft werden, entsprechend dem gezeigten Messaufbau mit geeigneten Beispiel Geräten!

### Abschlussmessung der Gesamtantennenanlage



## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage

**Zusammenfassung der drei Messungen: Ich empfehle diese entsprechend der Seite 8 und 9 durchzuführen:**

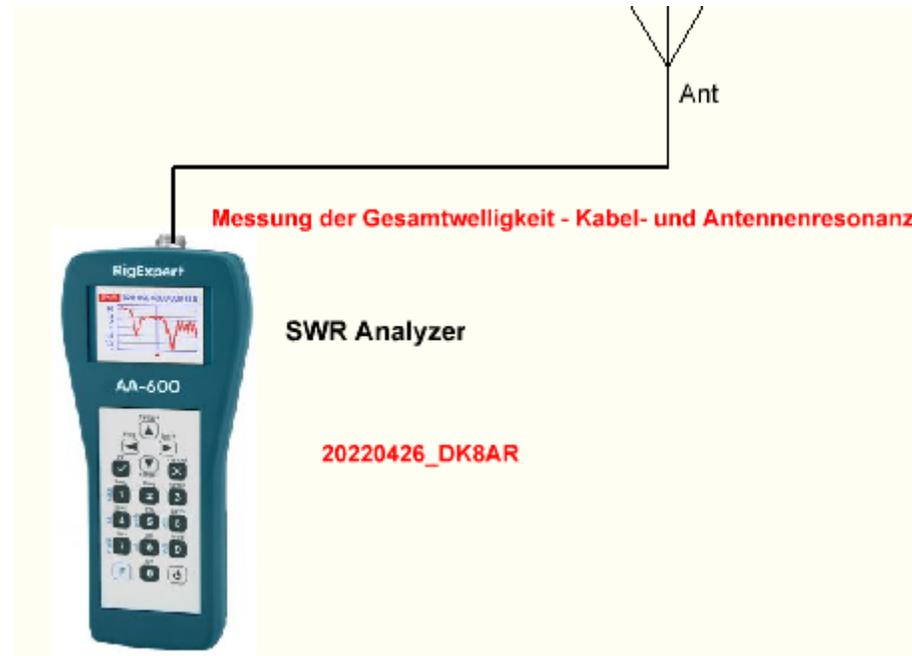
1. Messung der Kabeldämpfung COAX LOSS für deine höchst nutzbare erforderliche Frequenz, diese sollte so gering als möglich sein
2. Messung der Kabelwelligkeit (Kabelrückflusdämpfung) diese sollte deutlich  $> 20\text{dB}$  bzw.  $< 1,2$  SWR sein, je größer die Rückflusdämpfung umso besser der Zustand und die Qualität des Kabels. Messungen mit vektoriiellen Analyser sind vorzuziehen
3. Zum Schluss die gesamt Rückflusdämpfung (SWR) mit angeschlossener Antenne in ihrer Aufbau- und Fertiginstallationsmontage messen, also das Gesamtsystem. Der Aufbau bestehend aus HF-Steckverbindungen, SWR/Powermeter, Antennenzuleitungskabel und der am Ende befindlichen angeschlossenen Antenne an ihrer Anbauposition!

Es erklärt sich von selbst, derartige Messungen sollten bei einigermaßen Wetter und nicht bei Regen- oder Schneewetter durchgeführt und dokumentiert werden. Ich empfehle grundsätzlich eine Messdokumentation anzulegen um nach **mehreren Jahren** Veränderungen der Sende- und Empfangsantennenanlage zu erkennen.

Hier nochmal der Überblick der drei grundsätzlichen Messungen an der Antennenanlage



## Grundsätzliche Messungen vor und nach der Installation einer Antennenanlage



Wenn ihr diese drei Messungen vollzogen habt und die Antennen den richtigen endgültigen Standort haben, ohne Absorption durch andere ähnlich gestalteten Antennen und ohne reflektierende Gebäudeanteile in ihrer Nachbarschaft, dann sollte die Antennenanlage ausgezeichnet funktionieren.

Grundsätzlich empfehle ich diese drei Messungen mit einer Dokumentation durchzuführen, vor und nach der Antenneninstallation unabhängig vom Aufbauort. Somit kann man spätere Veränderungen der Anpassungsverhältnisse (SWR) sehr schnell überprüfen, bedingt durch weitere nachträglich installierte Antennen oder ob sich ein Defekt bemerkbar macht! Ich habe diese technische Vorlage so geschrieben, dass der/die Funkamateurlin diese Messungen an der Antennenanlage nebst Kabel selbst messen und prüfen kann.

Wie immer ist diese Dokumentation auf den entsprechenden Seiten zu finden...

Ich wünsche Euch viel Spaß beim Einmessen eurer Antennenanlagen...

DK8AR Henri