

Nur so kann man systematisch eine (RX/TX) **KW-Amateurfunkanlage** erfolgreich **EMI entstören!**

--Etwas **EMI/EMV-Theorie** und optimierte **Umsetzung an Beispielen**--

Andy (Diethard) Hansen, HB9CVQ, DK2VQ, AK4IG Tel: +41 566 33 73 81

<https://www.qrz.com/db/hb9cvq> <https://www.euro-emc-service.com>

KW= Kurzwelle

Ist ein Stör-Hintergrund von fast **S9 ->160m** / **S8->80m** / **S7->40m** in SSB oder sogar mehr heute normal ?

RX S9= $50\mu\text{V}/50\Omega$ =**-73dBm**=50pW

TX=10W=+40dBm, 100W= +50dBm, 1kW=+60dBm

Begriffs-Definitionen:

- + **EMV**: Elektromagnetische Verträglichkeit in der Elektronik **[DE]** Geräte und Anlagen
EMV: Electromagnetic *Vulnerability* **[EN]** Susceptibility in Electronics, Boxes and Systems
- + **EMC**: Electromagnetic Compatibility in Electronics Equipment and Systems **[EN]**
- + **EMI**: Electromagnetic Interference in Electronics **[EN]**

HAM-RADIO, 27-Juni-2026, FN

Short Bio:

Diethard E. A. Hansen (Ph.D.) MS/BS EE

All degrees from Germany: **Dr.-Ing.**, Dipl.-Ing. TU + FH

IEEE **Life Member** (USA), IEEE EMC-Society **Senior Member**,

Senior iNarte EMC Eng., **Radio Licenses** FCC: **AK4IG** 2011, CEPT: **DK2VQ 1968, HB9CVQ 1984**



- Since **1983** **professional** experience (**private Consultant**/registered EU-Auditor/iNARTE 34Y) in **Electromagnetic (EM) Disturbance and Interference Control in Electronics**, incl. **commercial/ government/ military** installations/equipment
- 160+ international technical **papers**/ 50+ **patents** are assigned to him.
- **Assessments/Audits**: 400+ Test-Labs (worldwide), incl. EU-D EMC, RTTE/RED and Automotive EMC
- Since over 30 years active in international **EM standards/regulations**. **IEEE Senior EMC Life Member** since 2020
- **1983 till 1991** **EMC Lab-Manager** in **R&D** for major, international electro tech. **Industry Company**
- 1991 to 2000 **private** Test-Lab/Certification Body **Owner**
Berlin Teltow was an accredited EMC Lab/competent Body EMC
Today this would be a Notified Body under EU-CE.

Webinar 05/2024 Video: <https://www.euro-emc-service.com/en/EMC-Radio-interference.htm> [EN]

40+Years in EMC and related Areas- Lessons Learned! -

HAM-Radio Meeting Munich, March 2023: https://www.youtube.com/embed/2J_wSaWFUNA [DE]

7+ Years (part time) HF-mobile Antenna R&D

Topics:

1. Warum wird **EMV** (Elektromagnetische Verträglichkeit) **immer wichtiger?**
2. **Ausschliesslich** anzuwendende Systematik: **Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept**
3. Bei KW **zuerst** immer **leitungsgebunden**, dann **feldgebunden** **entstören!**
4. **EMV-Planung**/Retrofit, richtiges **EMV-Design** einer KW (RX/TX) **AFU-Anlage**
5. **EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses** -No Problem!
 - + Messungen: **Emission** (RX-Stör-Hintergrund)-**Station ausgeschaltet**- im Funkraum und im Haus
 - + Messungen: **Emission** (RX-Stör-Umgebung)-**Station eingeschaltet** -> auf Dummy Load - im Shack (Haus =>Null CVQ-EMI)
 - + Messungen: **Emission** (TX-Stör- Einkopplung **über Dummy Load**)-im Funkraum-Stationstisch (Haus =>fast Null CVQ-EMI)
 - + Messungen: **Emission** (TX-Stör- Einkopplung **über Doubletten Dipole** (160-10m) Antenne-Station/230V AC-Hausverkabelung
 - + Erfahrungen **Emission** (RX-Stör-Umgebung)- **Lokaler QRM-Eliminator** –DXE NCC-1- (Haupt/Hilfs-Ant. Arsenal/ RX-Schutz)
6. **EMV-Praxisbeispiel Multi-OP Contest-Station DD1A, Singen**
7. **EMV-Praxisbeispiel KW-Mobil, Audi A6, DK2VQ/m** Betriebs-Erfahrung
8. **Zusammenfassung** und optimierte **Praxis Empfehlungen**

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (1)

- QTH EM-Noise-Umgebung-Stör-Hintergrund, Communications **S/N Ratio**
- CE/China, Elektronische Geräte Technik, Normen
- Begriffs-Definitionen: EMV, EMC, **EMI (Electromagnetic Interference)** , RFI, EM-Noise (ITU)
- **Emission** (allg.=Disturbance, im TeleCom. Kanal=Interference), **Immunity**
- Time/Frequency-Domain
- **conducted vs. radiated** EM-Phenomena
- Leitung/Strahlungseffizienz, Nah-/Fern-Feld

The King of 160m
K1ZM/VY2ZM



1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (2)

- Schlecht oder, illegalerweise gar **nicht EMV-entstörte Elektronik**-Geräte/Anlagen sind heute fast überall **ein Problem**.
- Sie wirken als «unlizenzierte» **Störsender** für den Funkamateurl, speziell im Kurzwellen-Bereich.
- Dadurch wird meist **im Nahfeld** am Empfangsort das Stör/Signal-Verhältnis reduziert.
- Oft erscheint dieses **lokale QRM als breitbandiger Rausch-Teppich** oder als schmalbandige, periodische Fremdstörung (z.B. VDSL 4.3kHz) . PLC sollte für KW-HAM-Bänder 30dB Notch haben.
- Das Bild **VY2ZM** (Kanada) zeigt eine **ideale Funk-Lage am Salzwasser** und praktisch **unbebaut**.

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (3)

- Nicht jeder hat eine **W3LPL** Super Contest KW-Station 😊 LOL



As of summer 2020, **VY2ZM** operates using the following complement of antennas:

160 - 4el full-sized phased BS/EF Dream Array designed by Peter Hutter and Rob Flory

- Single 160M Vertical (Omni Pattern)

80 - 4 square vertical array producing 5.68 db gain in 4 patterns

- 2el Vertical Array NE/SW

40 - 2el/2el 40m Yagi at 160/80 feet

- 2el 40M Yagi at 130 feet

- 3el 40M Yagi at 85 feet +++ wow 20/15/10m

Various Beverages at 880 and 1080 feet
Rx Sixpack of 6 short verticals for 160M NE/SW

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (4)

- Bei W3LPL, USA, MD herrscht sehr geringe Bebauung und es gibt einen unglaublichen, umfangreichen, **klug angelegten Antennen-Farm-Park** (Bild).
- Im Vergleich ist die enorme «Antennen Farm» von VY2ZW (Kanada) aufgelistet.

1. Why EMC ? Physics and important EMC Background Info (5)

Equations



James Clerk Maxwell (1831–1879)

$rot(\vec{E}) = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$	Faraday's induction law
$rot(\vec{H}) = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{j}$	Ampere-Maxwell law
$\varepsilon \cdot div(\vec{E}) = \rho$	Electrostatic law
$div(\vec{H}) = 0$	Equation of magnetism

Induktions-Gesetz

Durchflutungs-Gesetz

Gaussches-Gesetz

Gaussches-Gesetz des Magnetismus

Time dependence

Dimensions of a conductor vs. Wavelength determines basically it's Antenna Radiation Efficiency

Solution

Retarded magnetic vector potential

currents

distances

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \iiint \frac{\vec{j}(\vec{r}')}{|\vec{r}' - \vec{r}|} d\tau$$

Currents ↔ EM-Fields

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{H} = \frac{rot(\vec{A})}{\mu} \\ \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon} \int_t (rot(\vec{H}) - \vec{j}) dt \end{array} \right.$$

uncontrolled EM Coupling/Radiation !?

Original Source: Frederic Pythoud_METAS_EMV_19.01.2017, SwissT.meeting , Fachtagung EMV Zürich Switzerland

© (Andy HB9CVQ) Dr.-Ing. Diethard E.A. Hansen, all rights reserved, EMI/EMC/EMV Talk HAM-Radio 2026

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (6)

Die Maxwell-Gleichungen sagen für den KW-Amateur sehr vereinfacht:

Wechsel-Ströme erzeugen **Wechsel-Felder**.

Solche **Felder induzieren Ströme** in z.B. metallischen Leitern.

Unkontrolliertes (Ein/Aus)-Koppeln versuchen wir in AFU-Funkanlagen durch geeignete Entstör-Massnahmen/Layout **zu verhindern**.

Weiterhin treten bei Elektromagnetische Wechselfelder, im Gegensatz z.B. zur Elektrostatik, immer das **E** (elektrisch) und **H** (magnetisch) **Feld untrennbar** miteinander verbunden auf.

Im **Nahfeld** (z.B. Mag. Loop oder Dipol/Vertikal) bestimmt die Strahler-Art das E/H-Verhältnis.

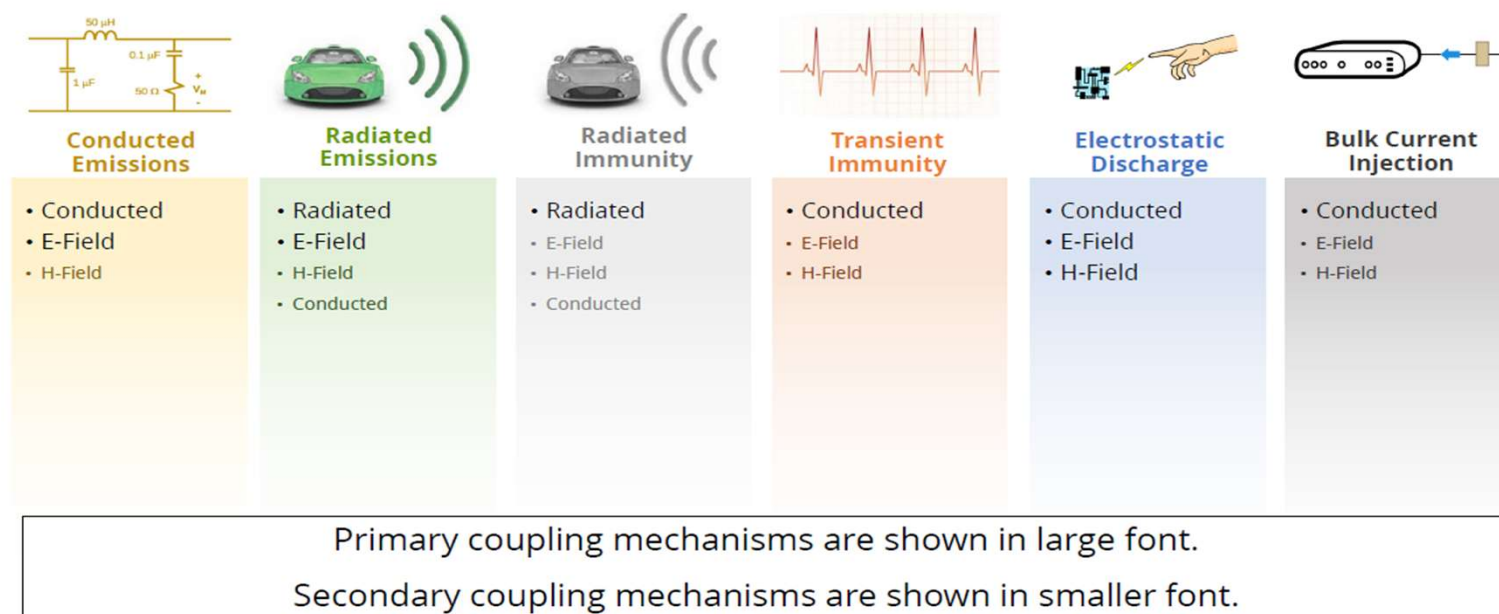
Beim **Mag. Loop** ist es **niederohmig** bzw. induktiv.

Beim **Dipol** ist es **hochohmig** bzw. kapazitiv.

Im **Fern-Feld** ist dieser Quotient E/H entfernungsunabhängig **377 Ohm** und es gibt keine Phasenverschiebung (nur Wirkleistung) zwischen E und H wie im Nahfeld .

1. Why EMC ? Physics and important EMC Background Info (7)

EMC Measurements and Key Coupling Mechanisms



Source: Prof. Dr. Todd Hubing, LEARN EMC, IEEE EMC Symposium RENO, NV/US, 2020

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (8)

Hier wird die EMV in **leitungsgebundene**/verschleppte und **feldgebundene** Koppeleffekte unterteilt.

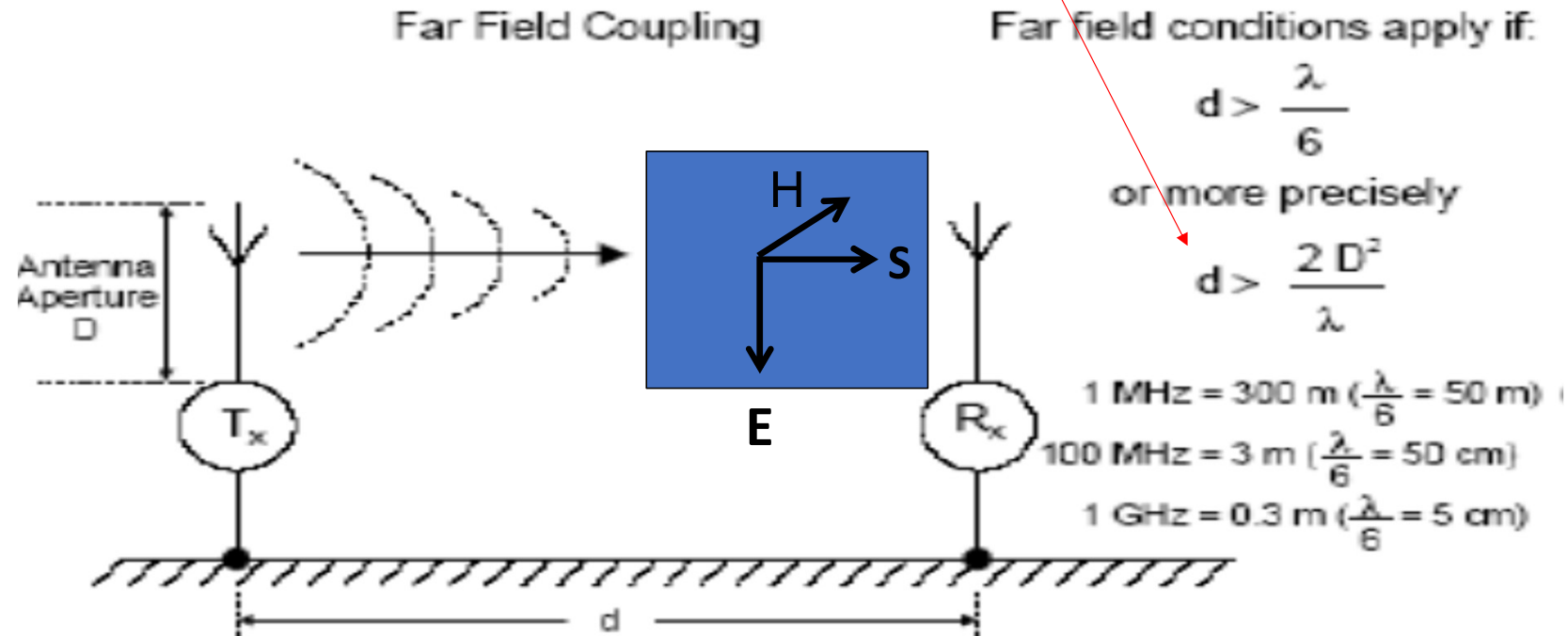
Diese können **Emissionen** oder **Immunität** (Stör-Empfindlichkeit) sein.

Hierbei unterscheidet man zusätzlich eine Beschreibung im **Frequenz**- bzw. im **Zeitbereich**.

1. Why EMC EM-Field Basics (9)

Near Field / Far Field (FF)

Verbesserter, präziserer FF-Abstand



1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (10)

Hier werden in Abhängigkeit der Sender/Empfänger Distanz, Frequenz (f [Hz]=Lichtgeschwindigkeit [m/s], Wellenlänge [m]) und der Antennengrösse D [m] die Bedingungen für den Übergang Nah- zu Fern-Feld aufgezeigt.

Es gilt: $E/H = 377\Omega$, Vektoren stehen senkrecht zu Wellen-Ausbreitungs-Richtung.

S ist der Poynting-Vektor ($S=E \times H$, math. Vektor-Produkt) und gibt die Strahlungs-Leistungs-Dichte an.

Beispiele für **Wellenlängen** sind: **1MHz/300m** = Mittelwelle, **100 MHz/3m** = klassisches FM-Radio, **1 GHz/0.3m** = Mikrowelle (2.4GHz z.B. Mikrowellenherd, Bluetooth, WLAN) .

1. Why EMC Basics (11)

Near Field / Far Field

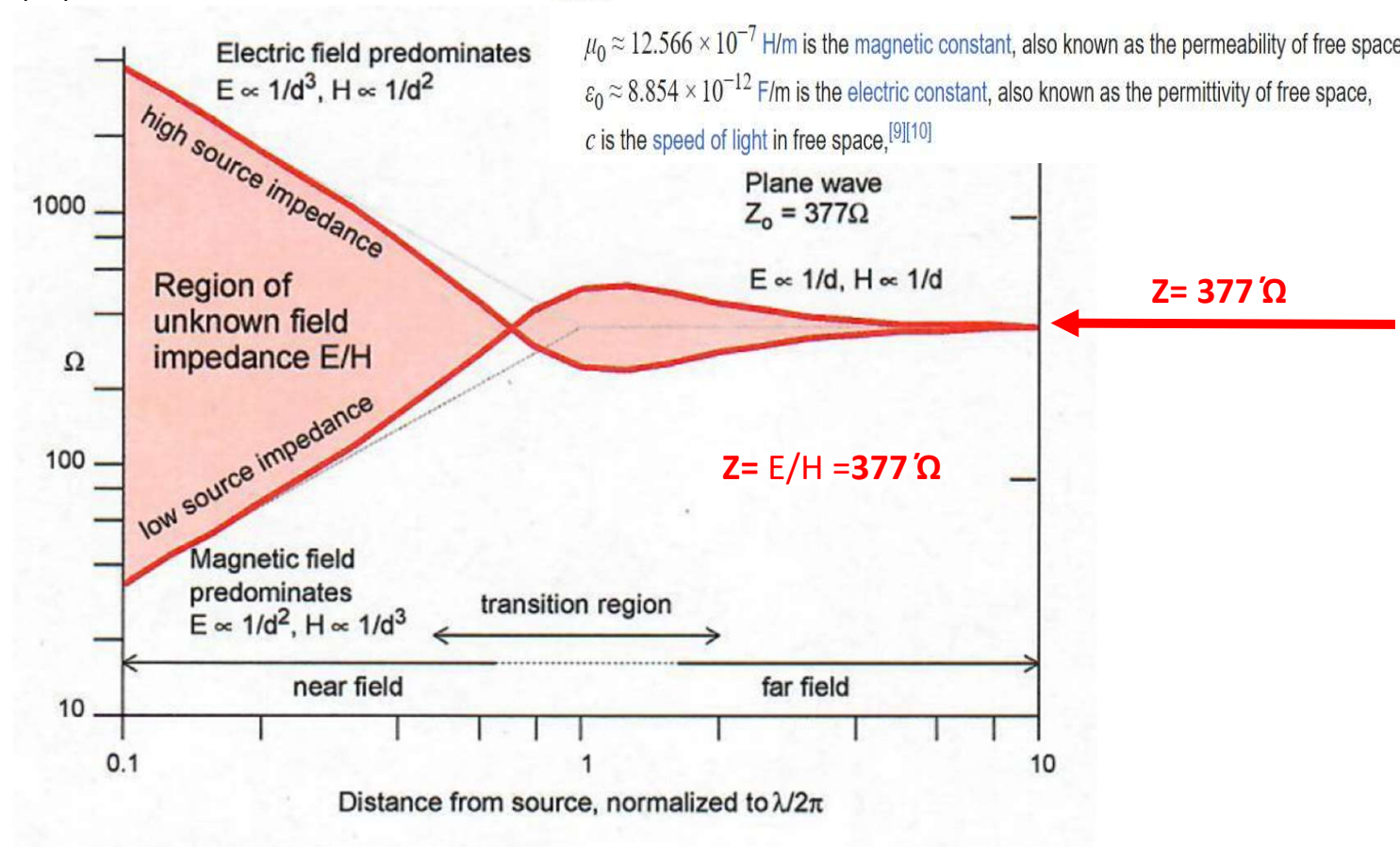
Dipole/Monopole
Antenna

Magnetic Loop
Antenna

$$Z_0 = \frac{|E|}{|H|} = \mu_0 c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \frac{1}{\epsilon_0 c},$$

where

$\mu_0 \approx 12.566 \times 10^{-7} \text{ H/m}$ is the **magnetic constant**, also known as the permeability of free space,
 $\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ is the **electric constant**, also known as the permittivity of free space,
 c is the **speed of light** in free space,^{[9][10]}



Source: Schaffner Guide 2001

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (12)

Diese Grafik zeigt die Berechnung der Freifeld-Wellen-Impedanz ($Z=E/H$) aus rein physikalischen (magnetischen/elektrischen) Vakuum-Natur-Konstanten.

Mit zunehmendem Abstand von der «strahlenden» Feldquelle (Dipol/mag. Loop) bewegt sich das E/H Verhältnis schliesslich auf 377 Ohm Freiraum-Wellen-Widerstand zu.

Hierbei wurde der **Abstand zur Quelle** auf die einfachste Nah/Fern-Feld Abschätzung (Wellenlänge / 2π) **normiert**.

1. Why EMC Basics (13)

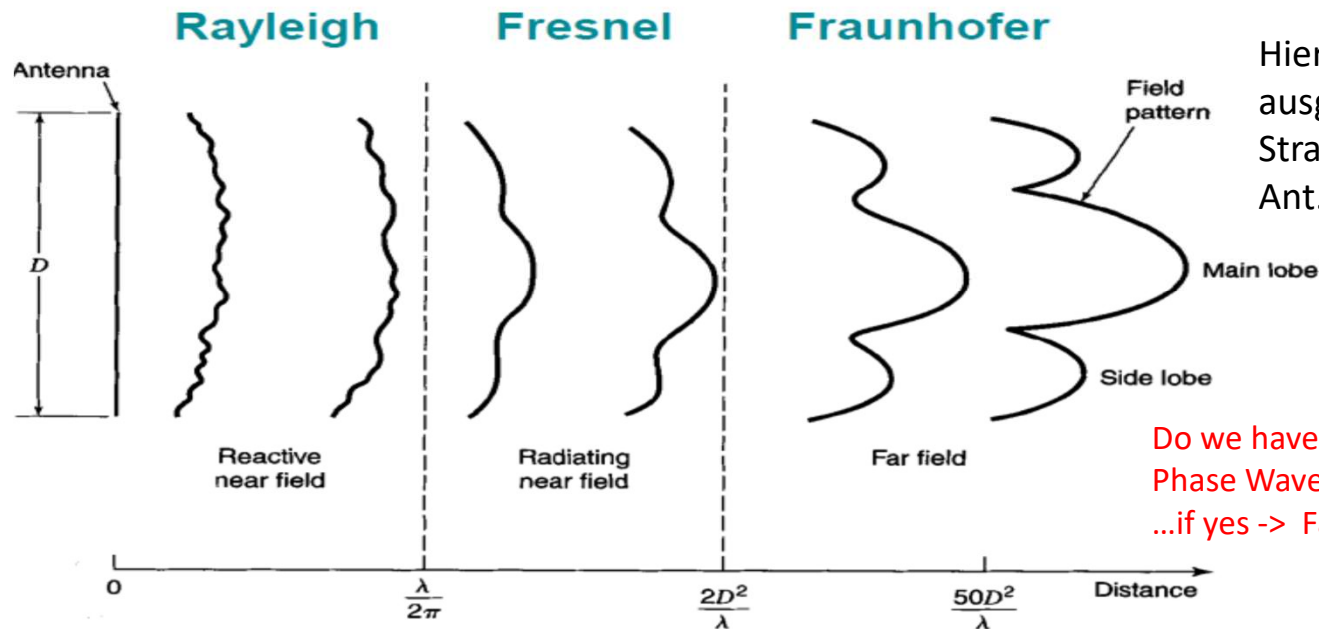
Near Field / Far Field

Bei $\lambda/2$ Dipole (a Low-Gain Ant., not a High-Gain Parabolic-Dish Ant.) in ca. 2 bis 4 λ ist Fern Feld

d.h. z.B. auf 80m -> 160m benötigter FF-Abstand !

Near Field (NF)

Far Field (FF)



Do we have a (nearly) Planar Phase Wave-Front->TEM Wave ?
...if yes -> Far Field

$$Z = E/H = 377 \Omega$$

https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/media/it_hmt/vorlesungen/antennen/antennen.pdf Antennen, Prof. Dr. M. Hein, Summer Lecture 2016

1. Warum wird EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) immer wichtiger? (14)

Geht man über verschiedene Distanzen/Entfernungen von dem Stahler/Antenne weg, so durchläuft man verschiedene Zonen **bis man ins wahre Fern-Feld kommt.**

Dies ist beim einfachen (Low Ant. Gain) **Halbwellen Dipol**, streng genommen nur in Freiraum, in ca. 2 bis 4 Wellenlängen der Fall.

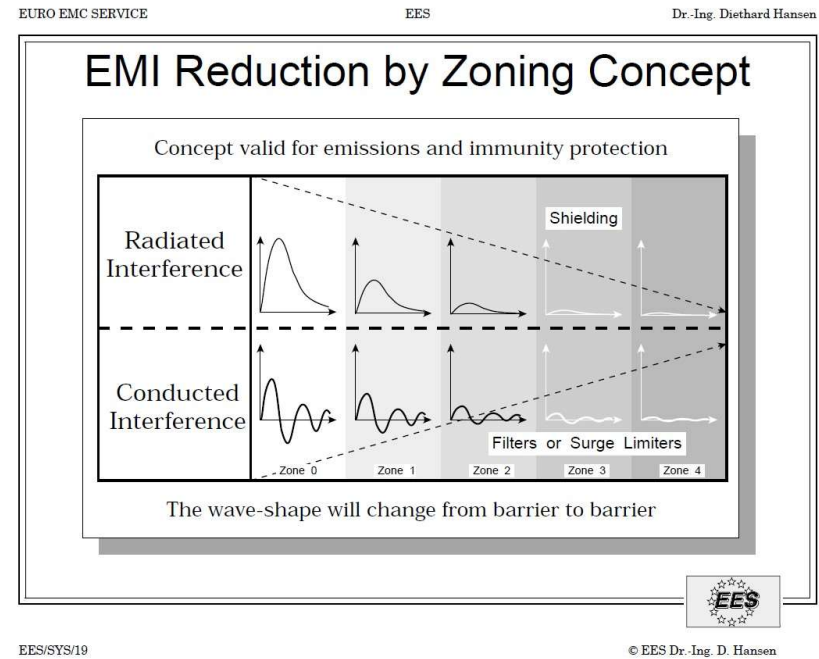
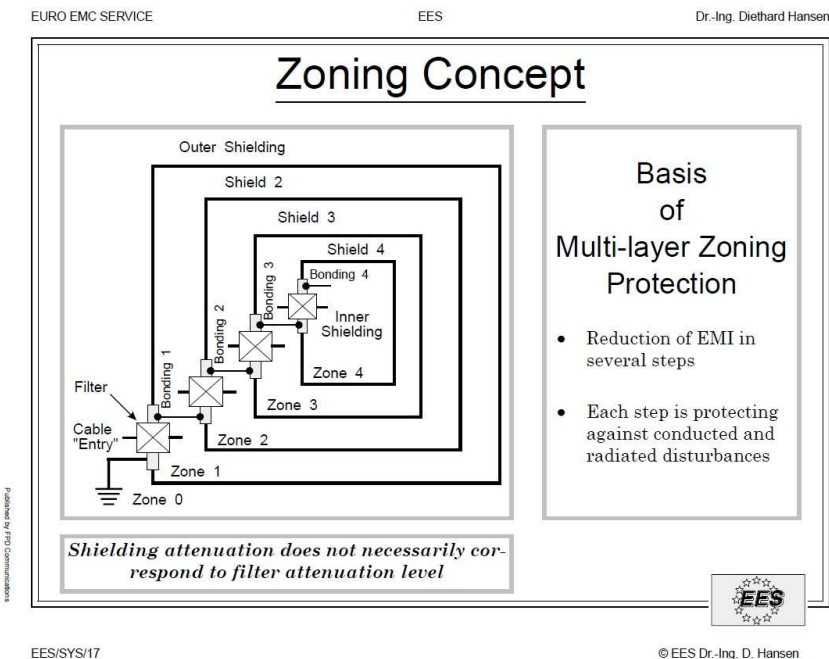
Bei hoch-bündelnden (High Ant. Gain) **Mikrowellen-Parabolspiegeln** kann der notwendige Abstand aber durchaus sehr gross werden. Dann ist erst hier das Strahlungsdiagramm vollständig ausgebildet.

Das Erreichen des wahren Fern-Feldes hängt von der **selbst** zugelassenen/**gewählten Abweichung** (1 dB ca. 11%) vom Idealzustand ab. Hier stehen die Vektoren (E, H, S) in der Winkelbeziehung alle perfekt senkrecht zueinander.

Im wahren Fern-Feld haben wir es mit einer perfekten, **ebenen** TEM-Welle zu tun. Zuerst an der Quelle tritt **kugelförmige** Wellenausbreitung auf. Diese geht dann in grosser Entfernung in eine praktisch **ebene Wellenfront** über.

2. Ausschliesslich anzuwendende Systematik: Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept (1)

Zonenkonzept/Topologie-Konzept/Zwiebelschalen-Prinzip/ ggf. auch (halb)offenes Zonenkonzept -> Masse-Bezugsplatte



Zonenübergang, Schutz-Implementierung

Leitung: per Filter/Limiter bzw. Schirm: per "Abschirmung"

Schutz hier bei EM-Störung von aussen

stufenweiser Störungsabbau

2. Ausschliesslich anzuwendende Systematik: Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept (2)

Zonenkonzept/Topologie-Konzept/Zwiebelschalen-Prinzip/ ggf. auch (halb)offenes Zonenkonzept

Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept ist eine räumliche, topologische Aufteilung eines empfindlichen Elektronik-Systems in Bereiche mit unterschiedlichen Schutzanforderungen, z.B. **20 dB (1:10)**, 40dB (1:100), **60dB (1:1000)**, 80dB (1:10 000) und grösser, je nach Anforderung (hier **Strom/Spannung/Felder**) .

Es gilt für Störungen die **von aussen (Immunität)** wie auch **von innen (Emission)** herrühren.

Dabei wird **in** definiert **kontrollierten Schritten** die leitungsgeführte Störung (Filter, Überspannungsschutz) und feldgebundenen Störungen (Schirmung) **reduziert**.

Die **Koppelmechanismen für Leitung und Feld sind physikalisch verschieden**.

Lange Leitungen haben tiefe Resonanzen. Kleinere Raum-Schirme höhere. Die z.B. von Aussen einfallende Welle erfährt, je nach Material und Leitfähigkeit Reflexion, etwas Absorption und Transmission.

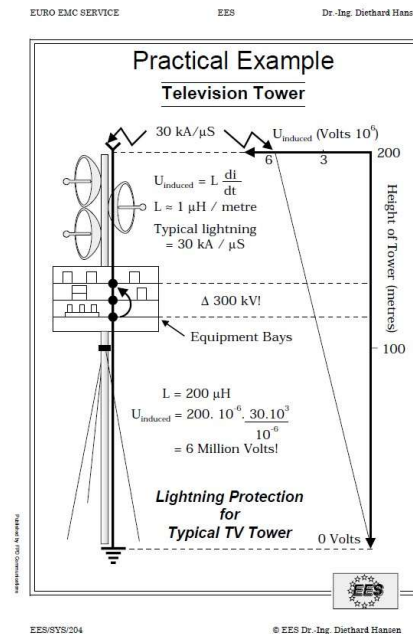
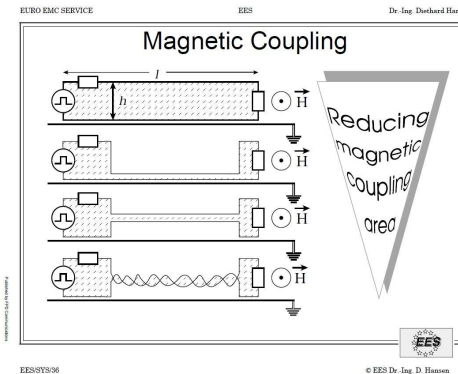
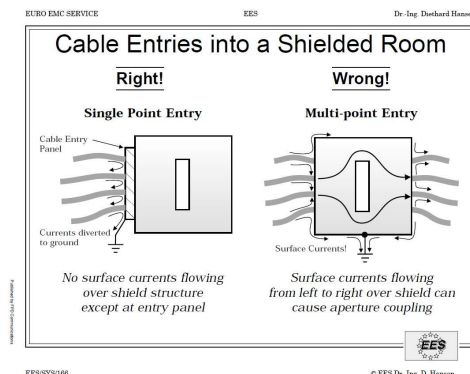
Gesetz den Fall, jede Schutzzone hat nur einen örtlichen Zu-bzw. Ausgang (**Single Point Entry**).

Sonst fliessen über den **Schirm keine** unkontrollierbare, **vagabundierende HF-Stör-Ausgleichströme**.

Dadurch kann es sonst dann, über manchmal unvermeidbare Schirmöffnungen (z.B. Lüftung), zu Feld-Ein- bzw. Auskopplungen nach Innere bzw. Aussen kommen.

2. Ausschliesslich anzuwendende Systematik: Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept (3)

- **Single Point Entry** (Stör-Stromfluss gezielt, konstruktiv, kontrollieren)
- mit naher HF-**Bezugs-Flächen-Masse**, EMV-Anlagen Z-Isolation, **HF-Insel-Konzept**
- Filter/ Schirm (Prinzip des Einfüge-Verlustes – mit/ohne Wirkung)
- Vermeidung/Minimieren von kritischen (RX/TX) **Koppelschleifen**
- Zusammenspiel mit **Blitzschutz (TV-Tower)**



2. Ausschliesslich anzuwendende Systematik: Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept (4)

Durch **Single Point Entry** werden die Störstrom-Einflüsse kanalisiert.

Durch Einführung von **HF-Masse Bezugsflächen** werden **aufgespannte Koppelflächen minimiert** und ungewollt entstehende HF-Antennen-Strukturen verhindert/minimiert.

Dies gilt besonders bei empfindlicher Signal-Übertragung.

Filter werden über ihre **Einfüge-Dämpfung** definiert.

So z.B. Schutzwirkung gegen Störstrom = ohne Filter/mit Filter, bemessen als lineares Zahlenverhältnis oder in log. Einheiten [dB].

Lange Masse/Erd-Leitungen (hohe **Leitungsinduktivität**, induktiver Wechselstrom Widerstand, **1m = ca. 1uH**) sind schon schnell schon in selbst auf den tieferen Kurzwellen-Bändern (40m) **fast wirkungslos**. Man will ja aber für 160m bis 10m den **Funkraum** praktisch von der Aussenwelt als **HF-Insel** isolieren.

2. Ausschliesslich anzuwendende Systematik: Das EMV-Schutz-Zonen-Konzept (5)

Bei **Blitzschutz** eines z.B. **200m hohen Fernsehturmes** mit Restaurant muss man zwischen Blitzschutz (Personen/Brand/Sachschäden) und **EMV-Schutz** (Elektronik Störung/Zerstörung) unterscheiden. Hier sei der 200m lange, querschnittsstarke Blitzableiter mit xx kA-Blitz-Strömen/ **Energie/Ladung** dafür da, dass er diese sicher zum Erdboden ableiten muss.

Da der **Blitz** aber **hauptsächlich Frequenz-Spektral-Komponenten unterhalb 1 MHz** hat, ist der induktive Wechselstrom-Widerstand zwar auch hier unvermeidbar vorhanden und sorgt für riesige kV-Spannungsabfälle (Spitze/Boden). Die **gefährlichen Spannungen** werden aber jetzt durch das Blitzschutzkonzept (Transienten-Schutz, **Potenzialausgleich**) so kontrolliert, dass z.B. keine Überschläge/ Durchschläge in den Restaurant-Etagen (vertikal Deck-Deck-horizontal Boden- Boden) passieren.

Es geht bei **Blitz** zwar auch um einen **Potentialausgleich**, jedoch mit viel geringeren HF-Anforderungen als bei **EMV** an flächenhaftes Erd-Netz mit kleiner Maschenweite zur **Induktivitäts- Minimierung**. Beide Schutzkonzepte müssen jedoch in der Praxis gut koordiniert werden und sollten sich ergänzen. So sind immer hier **Koppel-Schleifen** zu minimieren.

3. Bei KW zuerst immer leitungsgebunden, dann feldgebunden entstören! (1)

- Leitungs- bzw. Antennen -Theorie mit Mythos/Wahrheit über effizientes Grounding/Bonding ($U_{ind}=L*di/dt$) → unerwünschte HF-Spannungsunterschiede zwischen Anlagenteilen/Geräten
- Real World Wirkung von Filter/Schirmung im System (Filter-Prüf-Impedanz vs. realem Ltg. Installations-Z)
- Richtige Klapp/Ring-Kern Ferrite Auswahl/frequenzabhängige Einfüge-Impedanz (Verblockung) / Stromsättigungs-Effekt)

Elektische Sicherheits-Erde (PE) oder Blitzschutz sind **völlig ungeeignet für HF!** ($U_{ind}=L*di/dt$ Induktions-Gesetz)

Weil: **1m Leitung bzw. Kabel = ca. 1 Mikro Henry Induktivität** ($X_L = 2\pi*f*L$), => **1m bei 7 MHz (440hm) !!**, X_L bei 14MHz= 880hm...

Leiter als Transmission-Line (Telegraphen-Gleichung, Theorie)

Modell: Line characteristic (Z) impedance over ground

- Hier **versagt** Theorie schon für **Leitungshöhe $h > 0.1$ Wellenlänge**

Leiter als Antenne mit relevanter Strahlung:

- Schon ab Leiter/Wellen-Länge 1/10 bzw. sogar 1/100,
- Resonanz Dipol $\frac{1}{2}$ / Resonanz GP $\frac{1}{4}$ + vielfache Dimension ...
 - + Leiter als Stabantenne
 - + Leiter als Schleife

EE HV Student-Experiment: HV-Labor mit grosser **Cu-Bodenbelag-Auskleidung** und direkt aufgelöteter **Luft-Funkenstrecke** (Spitze-Spitze), durchflutet mit Impulsen (8/20µs), **Stossstrom** => **triggert Luft-Durchschlag** (kV) ($U_{ind}=L*di/dt$)

3. Bei KW **zuerst** immer **leitungsgebunden**, dann **feldgebunden** entstören (2)

Blitzschutz ist in der Zielsetzung von **EMV/EMI-Schutz** verschieden. Physikalisch muss man hier zuerst zwischen **Leitungs-** und **Feld (Antennen)-Theorie** unterscheiden. Leiter als Antenne mit relevanter **Strahlungseffizienz** : Entsteht schon ab Leiter/Wellen-Länge 1/10 bzw. manchmal sogar 1/100.

Es gilt grundsätzlich für den induzierten Spannungsabfall $U_{ind} = L \times di/dt$ (Induktivität mal Stromänderung in der Zeit).

Entscheidend ist somit die **Induktivität der Masse/Erdleitung**. Weil: 1m Leitung bzw. Kabel = ca. 1 Mikro-Henry Induktivität ($XL = 2\pi \cdot f \cdot L$) , => **1m bei 7 MHz (44Ohm) !!** , XL bei 14MHz= 88Ohm...

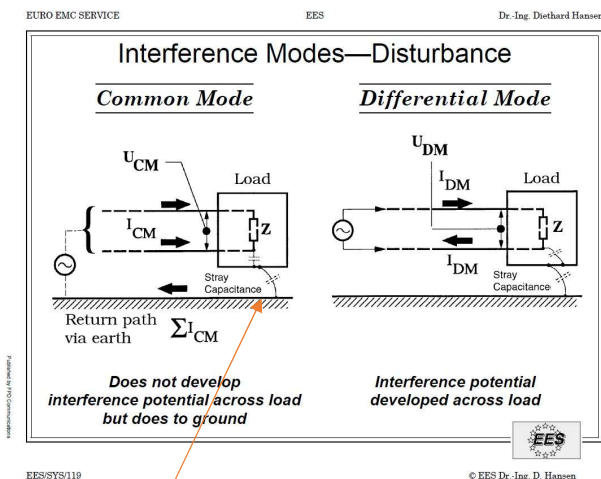
Somit kann man hier nur durch **Flächen-Vermaschung des Systems** die Induktivität und damit den Spannungsabfall senken.

Das ist physikalisch aber auch **begrenzt**, wenn die **Fläche z.B. 1/10** einer **Antennendimensionen** annimmt. Jetzt funktioniert der Equi-Potenzial-Ausgleich nicht mehr zuverlässig. Es bilden sich **Stehwellen** (Strom/Spannung) auf der Bezugsmassenfläche und das Schutzkonzept zerfällt. **Rettung wäre kleinere Masse-Inseln** zu schaffen und schlau zu integrieren.

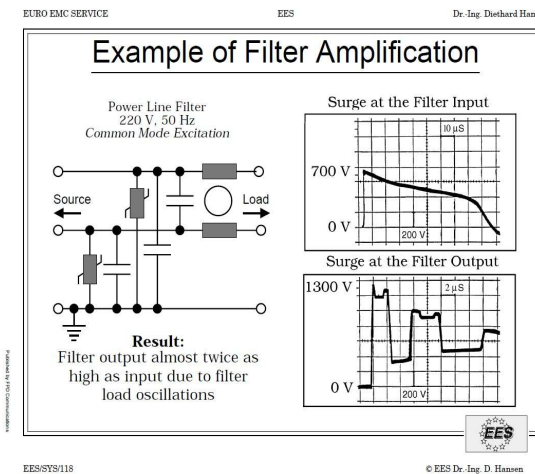
Weiter sollte man **nicht blindlings Filter- und Schirm-Dämpfungsangaben der Hersteller aus dem Datenblatt vertrauen**. Diese sind zwar nach Normen im Labor gemessen und sind somit untereinander, bei gleicher **Norm**, vergleichbar. Das ist jedoch nur bedingt im System relevant., da z.B. beim **Netz-Filtern** andere Impedanzen/Verkabelung vorliegt. Bei **Schirmung** muss man **Nah/Fern-Feld Tests** nach Norm und per Anwendung unterscheiden.

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (1)

- **HF-Equi-Potential** Ausgleich in der Station, TRX, PA, (dünne ALU-Masse-Platte unter Funk-Tisch, PE/SL HF-Entkoppelt!)
- Common Mode (CM)-(Gleichtakt), Differential Mode (DM)-(Gegentakt) Störströme
- Netz-Filter, Computer-USB Ferrite (Schirm-L/R-> Impedanz (Z)-Erhöhung), Rotorsteuerung, CoaxKabel

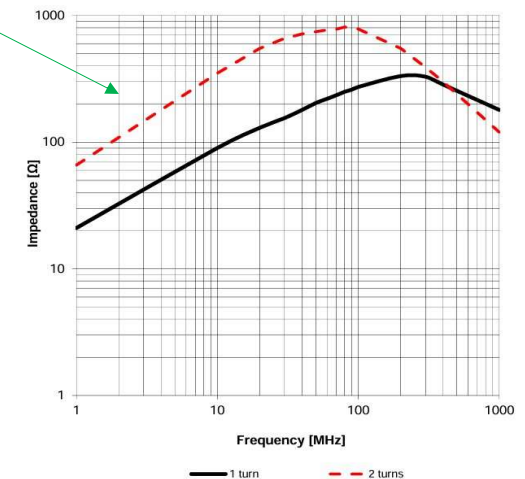


Bei KW ist meist CM dominant



Filter in Installationen können auch EMV-Probleme verursachen

Typical Impedance Characteristics:



Würth 74271722S (Kern) ist noch auf 1.8MHz ok
Snap Ferrite (Klapp-Kern), 620 μr DKabel max. 12.5mm

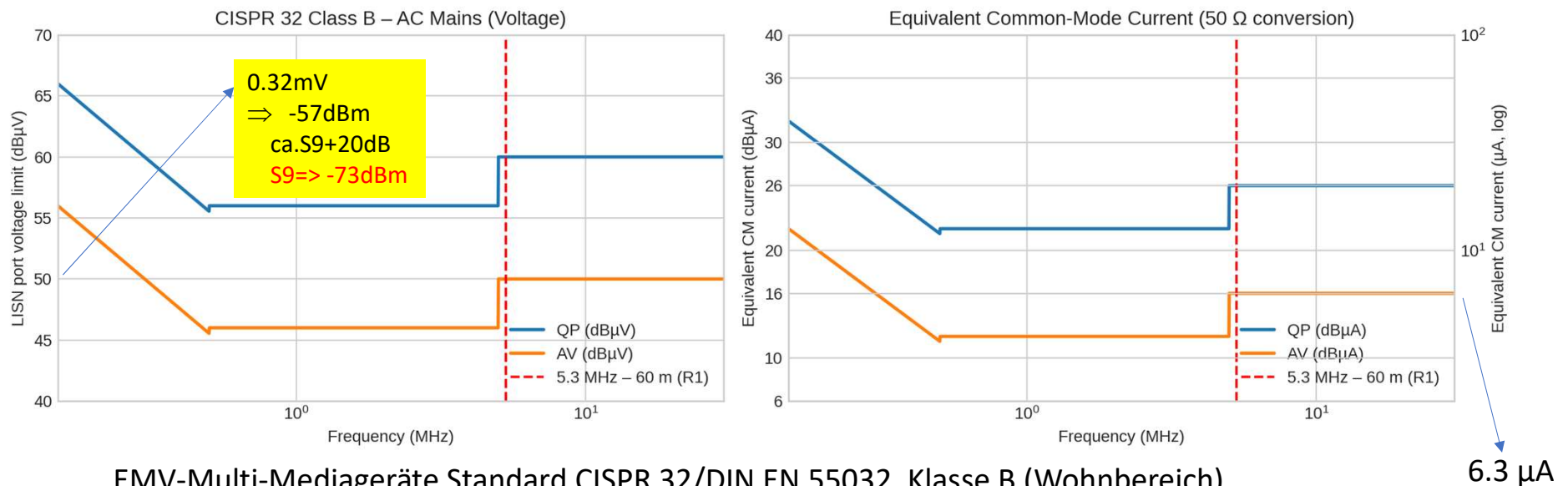
4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (2)

Netzfilter schützen vor Gleichtakt(Common Mode, CM) und Gegentakt (Differential Mode, DM) Störungen. Bei den Netzfiltern ist besonders **auf Filterung des Schutzleiters (PE) zu achten**. Sonst bilden sich über die Schirme (Masseplatte/Single Point Entry) der Koax-Kabel zu den Antennen grosse **Koppelschleifen** aus. Das ist schlecht für TX und RX. Bei den Netzfiltern kann es in der Anlage im **Frequenzbereich** u.U. zu **längen/lastabhängigen Resonanzen** (Q-Faktor typ. z.B. 3 bis 5) kommen. Im **Zeitbereich** kann nur max. der Faktor 2 (z.B. **Totalreflexion Spannung, Leerlauf**) auftreten.

Bei Verwendung von geeigneten **Klapp-Ferriten** sollte man **den Luftspalt mit Kabelbinder zusammenpressen**, um die Wirkung lange zu sichern. Bei hoher Permeabilität sollten **nicht mehr als 3 bis 4 Windungen** (Streukapazität) aufgebracht werden. Das erhöht die Impedanz schon in den **Kilo-Ohm** Bereich bei der Verblockung/Mantelstrom-Dämpfung. **Ferrite wirken** aber nur im Kabel-Bereich mit **Stromknoten** (niederohmig, ggf. mit Stromzange, H-Feld Sensor messen) und nicht im Spannungsbauch entlang einer Leitung.

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (3)

AC Mains Conducted Emission Limits – CISPR 32 Class B
Continuous Curves with 5.3 MHz (60 m, Region 1)



EMV-Multi-Mediageräte Standard CISPR 32/DIN EN 55032, Klasse B (Wohnbereich) ,
Anforderung an Störausendung (leitungsgebunden 150 kHz -30MHz)

The current conversion uses the standard **50 Ω LISN** relationship $\text{dB}\mu\text{A} = \text{dB}\mu\text{V} - 34\text{dB}\Omega$ [34 = $\log(50 \Omega)$]
LISN = “**Netznachbildung**” (ca. im CM-Impedanz 50Ω ca. ab 1 MHz -30MHz)

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (4)

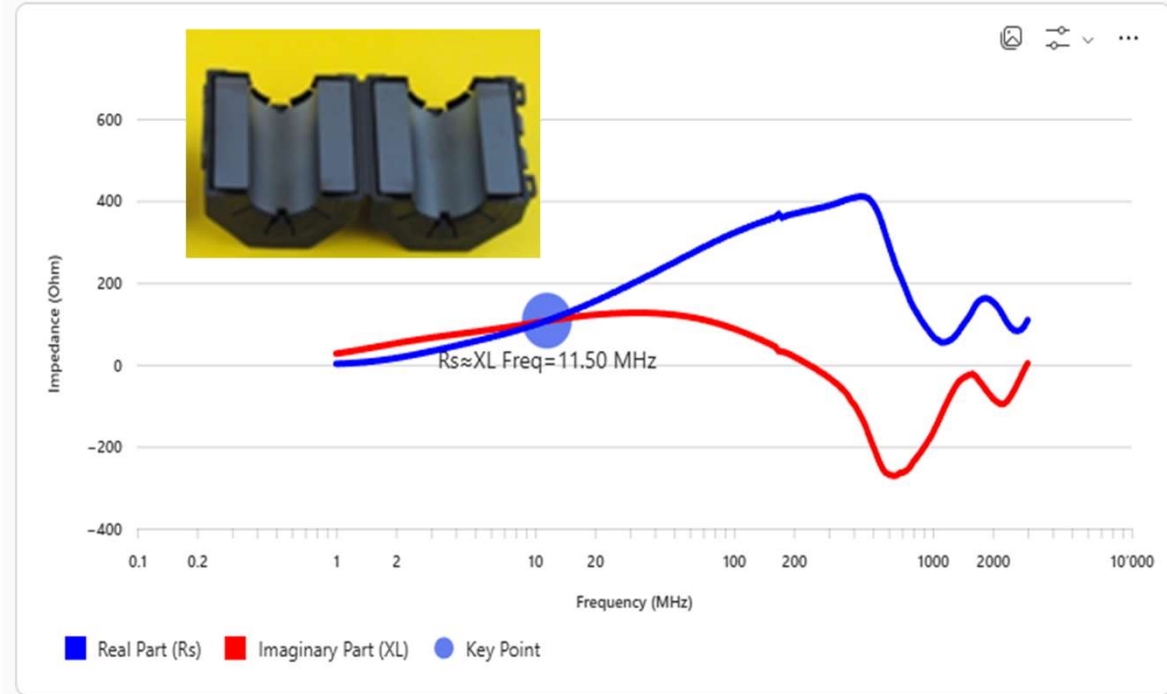
Bei KW ist fast immer **CM** dominant. HF-CM-Strom fließt auf dem Aussenmantel z.B. bei **Koax**-Kabel. **Ferrit aussen ändert nichts an Signal-Übertragung innen**. **Zusätzliche Impedanz draussen mindert** aber unkontrollierte **Koppel-Schleifen-Ströme**.

- **Ferrite** (Schirm-L/R-> Impedanz (Z)-Erhöhung), auf Rotorsteuerung-, Koax-Kabel, etc.

Für nur 1 Windung ($N=1$),
300g schwerer Klapp Ferrit-
Kern : **Fair-Rite Part #0444177081**
Dinnen ca. 25mm

Tipp: ca. 3 bis 4 Wdg. sind
meist gut genug für KW ,
um 1kOhm [20dB (1:10)]
CM-Stör-**Strom**-Reduktion zu
erhalten

1. Magnitude of Impedance $|Z|$ vs Frequency (MHz)



4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (4a)

Bei KW ist fast immer **CM** dominant. HF-CM-Strom fließt auf dem Aussenmantel z.B. bei **Koax**-Kabel. **Ferrit aussen ändert nichts an Signal-Übertragung innen**. **Zusätzliche Impedanz draussen mindert** aber unkontrollierte **Koppel-Schleifen-Ströme**.

- Wie viel Common Mode (CM) Unterdrückung (I_{mit}/I_{ohne} ; Choke R_c) braucht man an der Antenne (Z_a)?

Why the design target is “big Z choke” (2–5 kΩ resistive)

Treat the choke as a series element in the CM loop. If the antenna-side CM impedance is Z_a and the choke is mostly resistive R_c , the current ratio is roughly:

$$\left| \frac{I}{I_0} \right| \approx \frac{|Z_a|}{|R_c + Z_a|}$$

- With $R_c = 3 \text{ k}\Omega$, $Z_a = 50 \Omega \rightarrow -35 \text{ dB}$.
- With $R_c = 3 \text{ k}\Omega$, $Z_a = 200 \Omega \rightarrow -24 \text{ dB}$.
- With $R_c = 3 \text{ k}\Omega$, $Z_a = 1 \text{ k}\Omega \rightarrow -9.5 \text{ dB}$ additional beyond the first 20 dB (i.e., even better).

RA=200Ω
RC= 1000Ω
=> -16 dB

This math is why **K9YC** and **ARRL** guidance converges on **multi-kΩ, largely resistive** chokes for HF—it keeps CM current small even when the antenna-side CM load is inconveniently low or reactive. Measured Data For Ch... +1

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (5)

Aber !! Mal wirkt der Ferrit , mal weniger, mal gar nicht !? Warum ? **CM: Common Mode Strom** !!

- **Ferrit-Wirkung** in den Anlagen -Verkabelung ist **Frequenz-abhängig** und **Orts-abhängig**.
- Es breiten sich **Strom/Spannungs-Verteilung auf Leitungen** aus.
- Ferrit (vereinfachtes Ersatzschaltbild Serien von L+R. + ggf. Streu C) **wirkt gut im Strombauch** ($Z < \Rightarrow$ hoher Strom)
- Messungen mit 50Ohm VNA oder Impedanz-Meter sind zur Orientierung über Material- Eigenschaften brauchbar.
- **VNA-Probleme** bei sehr kleinen/großem Z (ggf. rechnerische De-Embedding Korrektur) und immer **Streu-C** gemäss Prüfaufbau (nacktes Bauteil vor Instrumenten-Gehäuse d.h. Bezugs-Masse/Wand oder U-Blech Transmission-Line Aufbau mit definierter System-Impedanz z.B. 150 Ohm) Man misst **Einfüge-Dämpfung** (ohne Ferrit $\Rightarrow$ 0dB , mit $\Rightarrow$ Bauteil-Dämpfung)
- **In Anlagen sollte man besser Störstrom) (CM) Einfüge-Dämpfung vor Ort mit HF-Stromzange messen.**
- Bei HF-Koax (Mantelwellen-Sperre z.B. 60cm lang)
- Diese Leitungsstück durch normales **Koax** ohne Sperre **zuerst ersetzen** $\Rightarrow$ 0dB, dann gleichlange **Mantelwellen-Sperre einfügen** Mantel-Störstrom **messen $\Rightarrow$ Einfüge-Dämpfung** (Insertion Loss) [dB]

Ferrit Einfüge-Dämpfung:

$$[\text{dB}] = 20 \times \log (I_{\text{CM ohne Ferrit}} : I_{\text{CM mit Ferrit}}) \quad \text{Verhältnis 1:10} \Rightarrow 20\text{dB}$$

Wo kommt nun die HF-Strom-Klapp-Zange her, **kaufen** (Profi: > 500 Euro?) oder einfacher **Selbstbau** (home made ca. < 50 Euro) ?

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (6)

Wo kommt nun die **HF-Strom-Klapp-Zange** her, **kaufen** (Profi: > 500 Euro?) oder einfacher **Selbstbau** (home made ca. < 50 Euro) ?
[Profi + HAM Tipps zum Eigenbau](#)

Trafo Prinzip => Primär (1 Wdg.) : N (meist 6 bis 8 Wdg. und parallel z.B. 50Ohm Last-R)

[Kommerzielle HF-Stromzange](#)

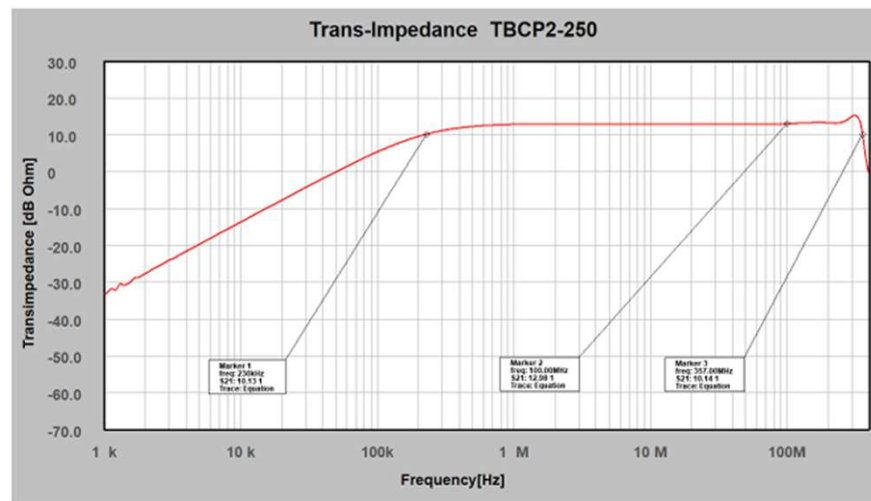


Figure1: typical transfer impedance: 1 kHz to 400 MHz



Ohm'sches Gesetz $I=U/R$ z.B. hier [μV , μA]

=> Im Logarithmus System:

$dB\mu A = dB\mu V - dB\Omega$

Ferrit Einfüge-Dämpfung [dB]: Störstrom-Verhältnis

$[dB] = 20 \times \log (I_{CM} \text{ ohne Ferrit} : I_{CM} \text{ mit Ferrit})$

Verhältnis 1:10=> 20dB

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (6a)

Wo kommt nun die **HF-Strom-Klapp-Zange** her, [kaufen](#) (Profi: > 500 Euro?) oder einfacher [Selbstbau](#) (home made ca. < 50 Euro) ?
[Profi + HAM Tipps zum Eigenbau](#)

Trafo Prinzip => Primär (1 Wdg.) : N (10Wdg. und parallel z.B. 50Ohm Last-R)

Quick reference: DIY probe math (N=10 turns, R_b=50 Ω)

- $I_{CM} = N \cdot V / R_b = 10 \cdot V / 50 = 0.2 \text{ A/V}$
- 1V → 200 mA
- 100 mV → 20 mA
- 50 mV → 10 mA
- 20 mV → 4 mA

Improvement (dB) = $20 \log_{10}(I_{\text{after}} / I_{\text{before}})$



Spectrum-Analyzer TinySA => +6dBm max. (50Ohm) = 113 dBμV = 0.45 mV => mehr dann kaputt => immer **Dämpfungsglied** verwenden

4. EMV-Planung/Retrofit, richtiges EMV-Design einer KW (RX/TX) AFU-Anlage (7)

Ein flächenhaftes **Bezugs-Masse Konzept** (**Koppelschleifen-Flächen Minimierung**) wird durch dünne Alu-Platte (<1mm, Skin Depth ALU 160m Band ca. 65um) unter den Stationstisch realisiert. Die kurzen Masseanschlüsse der Geräte sind somit kurz durch Stehbolzen-durch die Holztischplatte- zur Masseplatte unten realisiert.

Alle Leitungen von und zum Stationstisch sind mit Netzfiltern/Überspannungs-Ableitern und Mantelwellendrosseln/Ringkernen **HF-verblockt**.

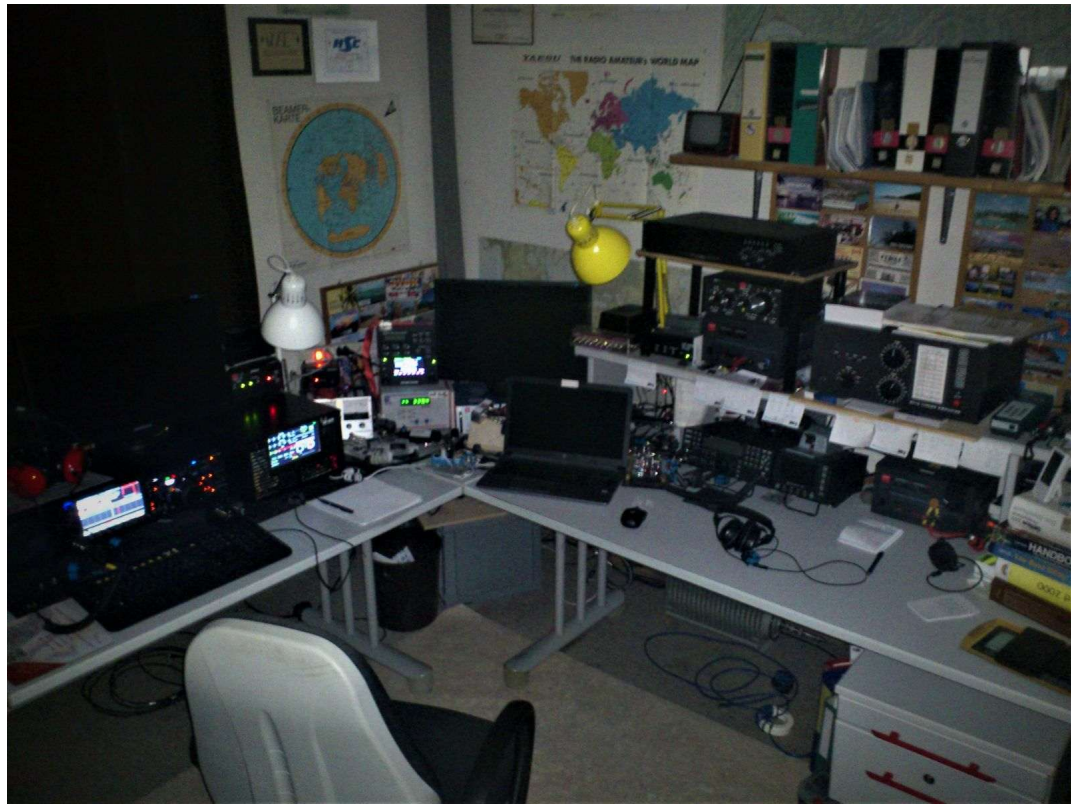
Das gilt auch für TRX USB, PTT, CAT, KH, Mike, Audio....externes **DC-PS**.

Hier ist oft der PE mit Minus im PS verbunden. Am TRX ist z.B. bei 13.8V, DC 20A Minus auf Chassis/PE. Damit fließt nicht der gleiche **Strom** in rot Plus wie in schwarz Minus zum TX. Ein Teil (30% ?) fließt über den PE-Pfad. Hier können **CM-Ringkerne** schnell **sättigen** und Wirkung verlieren. Bei im TRX integrierten 230V/50Hz Netzteilen ist das kein Problem; CM-Ring-Kern in 3-adrige Netzleitung installieren ist OK.

Aber Achtung: **Unbekannte Ringkerne vom Flohmarkt** sollte man immer erst mit z.B. VNA geeignet **vermessen**. Hier gibt es oft grosse Ergebnis-Unterschiede in der Impedanz auf Kurzwelle durch unkontrollierte Kopplung (Mess-Technik) über Kern Streu-Kapazität zur metallischen VNA –Frontplatte. Sauber definierte Test-Jig-Transmission-Line bauen und richtig kalibrieren.

5. EMV-Praxisbeispiel **HB9CVQ**, CH-Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses (1)

No EMC Problems on HF and 1 kW ! DB18E SteppIR (40 to 10m) @19m , 2x36 m tuned Doublet (160 to 10m) @24m
Single OP , FTDX101MP, RF2k-S or K3S, P3, KPA 500/ACOM 1k



5. EMV-Praxisbeispiel **HB9CVQ**, CH-Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-**Miethauses** (2)

No EMC Problems on HF and 1 kW ! DB18E SteppIR (40 to 10m) @19m , 2x36 m tuned doublet (160 to 10m) @24m

Home QTH HB9CVQ mit Antennen und Shack rechts oben .

+ Die Installation ist als **HF-isolierte Insel** ausgeführt und **gegen Blitz extern geschützt**.

Potenzialausgleich intern macht im Notfall zusätzlich eine Trennfunkerstrecke (100kA geprüft) zum separaten Erdsystem.

+ Extern sind es eine geeignete Mastableitung zu einem regelmässig vermessenem Tiefen-Erder.

Im Shack werden zwei Phasen (PA, TRX, 230V/50Hz) verwendet. Es wird der K3S nur als Reserve Station verwendet.

+ Es gibt z.Z. keinen SO2R Betrieb bei HB9CVQ.

5. EMV-Praxisbeispiel **HB9CVQ**, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (3)



Blickwinkel
oberhalb des
Beams in 24m Höhe
NW, S, O, SO

5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (4)

- **HF-tauglicher Potenzialausgleich** in der Station, TRX, PA, **Masseplatte unter Holz-Tisch**, kurze **Masse –Stehbolzen**, **Schutzleiter Drossel !)**
 - Netz-Filter, Computer-USB Ferrite, Rotorsteuerung, CoaxKabel
 - Common Mode-(Gleichtakt), Differential Mode-(Gegentakt) Störströme
-
1. Diskussion der unterschiedlichen Effekte bei **Emission/Immunität**
 2. Offenes Zonenkonzept auf Eck-Funktisch (OP1, OP2 Platz), hat für 6m schon kritische Resonanz
 3. Überall Common Mode **HF-Verblockungen** - Ferrite: Mike, KH, Key, PTT, Coax, Netz
 4. 2x 1Ph Netzeinspeisung (TRX,PA), Netzfilter-Masse-flach auf Masseplatte aufliegend ($L \ll$)
 5. Schmalere (**Schleife !**)Antennen/Steuerleitungs-Kanal zu Dachboden/Antennen (mit Trennfunk-Strecke für Blitzschutz, sonst EMI-Koppelschleife über Coax-Mantel->Erdung)

5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (5)

Das **Zonenkonzept** kann auch hier halboffen mit nur Bezugs-Masseplatte, ohne Faraday-Käfig, bei KW realisiert werden.

Bei Empfang (**Emission**) sitzen hier die Störquellen (Lokal QRM, Störhintergrund) typ. ausserhalb vom Funkraum/eigenen Wohnung. Es werden z.B. Mikro-Ampere Ströme induziert.

Beim Senden (**Immunität**) induziert das Antennen-Nahfeld Ströme in die Installation. Hier helfen die RX-EMV-Schutz Massnahmen ebenfalls im Prinzip. Die Ströme sind TX leistungsabhängig aber schnell mal x10 bis x100+mA

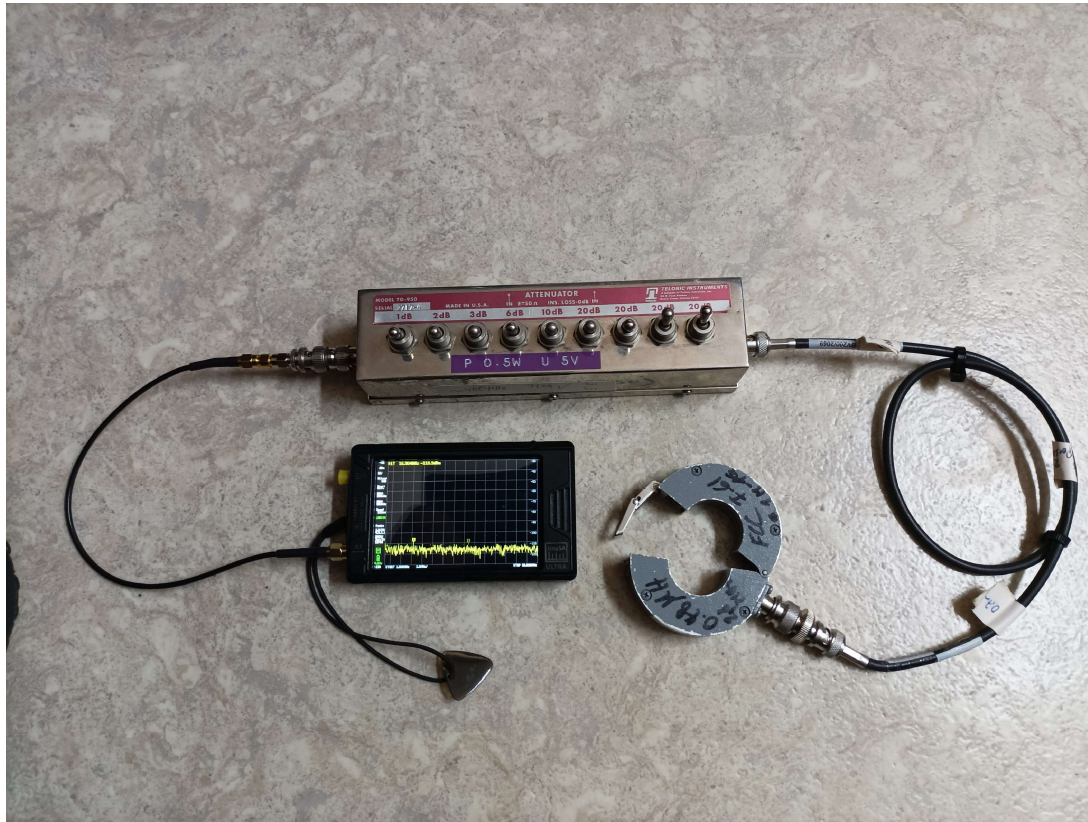
Zur RX-Störungs-Kompensation wird hier zusätzlich zur EMV ein NCC-1 DXE **2-Kanal Phasen-System** verwendet.

Damit lässt sich physikalisch eigentlich nur eine einzige Phasenlage/Stör-Quelle (-180 Grad) im Nahfeld eliminieren.

Die Praxis zeigt Kompromisse auf und Erfolge bis von ca. 3 (18dB) bis 4+ (24dB+) S-Stufen. Im Labor/Theorie ergeben sich weit über 40 dB.

5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (5a)

Equipment: Praktische Durchführung von leitungsgebundener Emission/Einkopplung-Messungen



5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (6)

Wie gut ist jetzt die beschriebene Entstörung mess-technisch?

Stations-Tisch: 1xKabel-Bündel (Ant.) zum Dachboden, 1xPhase TRX, 1xPhase PA, 1xErdleitung mit Trennfunkentrecke

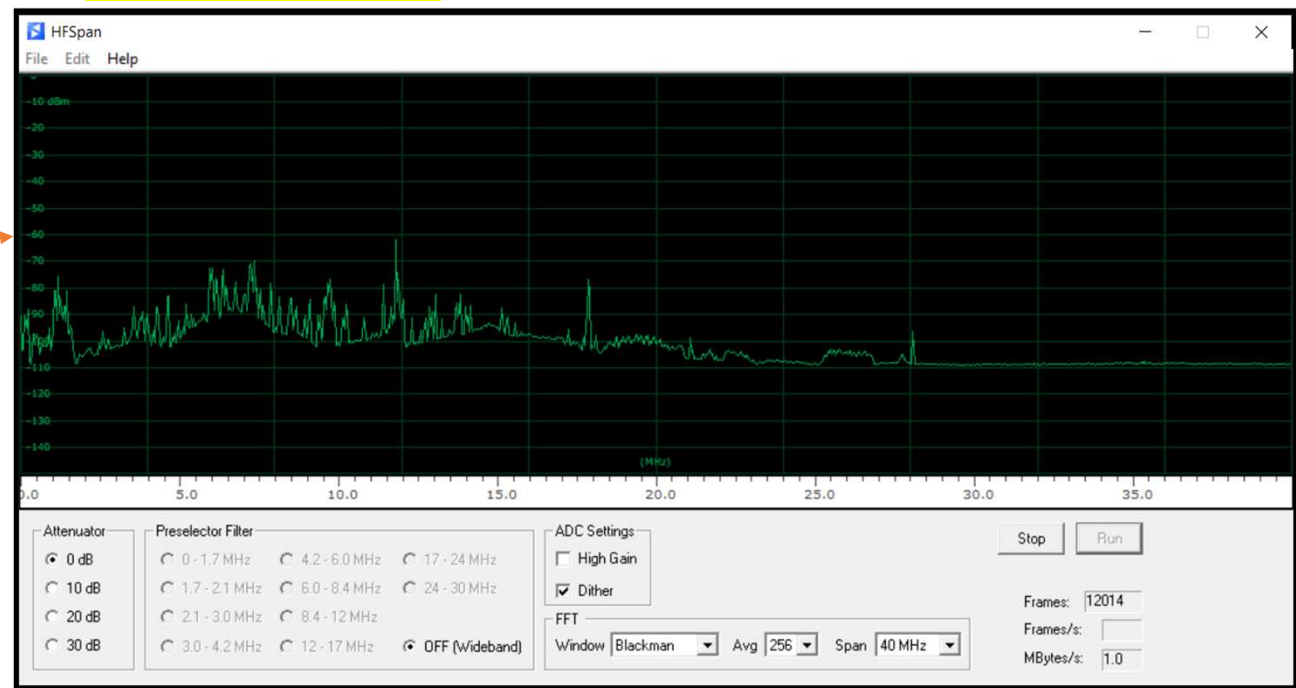
CM-Strom-Messungen: Emission (RX-Stör-Hintergrund)-Station ausgeschaltet- im Funkraum und im Haus

-60dBm/50Ω =>47dBμV
(12MHz, Zange 23dBΩ):
24dBμA=16μA (13nW)

11-Jan-2026, 17:52 MEZ
Per Strom-Zange

Perseus in BB-Mode, Laptop,
alles aus Batterie

Alle weiteren Ströme sind kleiner



5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (7)

Wie gut ist jetzt die beschriebene Entstörung mess-technisch?

Stations-Tisch: 1xKabel-Bündel (Ant.) zum Dachboden, 1xPhase TRX, 1xPhase PA, 1xErdleitung mit Trennfunkentrecke

CM-Strom-Messungen: Emission (RX-Stör-Umgebung)-Station jetzt eingeschaltet -> auf Dummy Load

CM-Strom-Messung: Emission (TX-10W CW jetzt angeschaltet -> Stör-Einkopplung bei TX auf Dummy Load)

Kein Unterschied zu vorher (Station war da nicht eingeschaltet)

Kein Unterschied zu vorher (Station ist nun mit 10W an Dummy Load

Schlussfolgerungen:

- Emission (EMI) wird von aussen vorgegeben
- Stations-Filterung/Schirmung ist ok.

CM-Strom-Messung: Emission (TX-10W CW jetzt angeschaltet -> Stör-Einkopplung bei TX auf Dipol Antenne)
Antenne bestrahlt gesamte LVD-Installation, zuerst den nahen Dachboden

Induzierte Kabel-Bündel CM-Power (dBm) zum Dachboden, bezogen auf TX 10W (+40dBm), hat ca. folgende Entkopplung [dB]:

160-80-60-40-30-20-17-15-12-10 [m] HAM-Band

62-60-60-50-52-45-50-43-60-50 [dB] Entkopplung

Die Kabel Bündel ist geometrisch ca. 30m lang => mögliche 2λ -Resonanz bei ca. 15m – Band (nur 43dB Entkopplung) ?+40dBm (10W) – 43dB (Entkopplung) => -3dBm (0.5mW/50Ω) induziert => ca. 3mA => hochgerechnet auf 100W => 9mA , auf 1kW => 30mA

5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (8)

Wie gut ist jetzt die beschriebene lokale Entstörung mess-technisch?

Erfahrung: **Lokaler RX-QRM-Eliminator DXE NCC-1** (Haupt Ant.+ Hilfs-Ant.-Arsenal + RX-Input Schutz)

Prinzip: Signal zu Noise Ratio (SNR) Verbesserung => geht aber nur richtig für **eine** Störquelle
In Labor bis zu knapp 45 dB => **real meist nur ca. 24dB (4 S-Stufen)**



Zuerst Störkanal Signal optimieren, -180 Grad invertieren, vektoriell addieren (Power-Combiner) => Station-RX

Hauptantennen Pegel und **Stör-Hilfsantennen** Pegel immer auf ca. 1 dB in Amplitude anzugleichen.

Hierbei ist das **RX S/N** zu berücksichtigen und ggf. **15dB** Vorverstärkung meist auf 20 bis 10m für das Hilfssignal nötig.

Es wurden unterschiedliche, kleine Hilfs-Antennen (**kurzer Dipol** bzw. **aktive mag. Loop** ALA 1530, **Mini-Whip**), auf dem Dachboden installiert. **Koax-Kabel mit verteilten Ferriten** entlang Kabel installieren!

Gelegentlich bei **sehr nahen (ca. 50m) Störquellen** auch eine **EMV-Netznachbildung** (50 Ohm, 50 μ H) am Lichtnetz (mit Überspannungsschutz) zum Einsatz. Dabei muss immer/meist verstärkt (z.B. 20dB) werden. **Achtung hier fließen hohe 50Hz Ableitströme in NNB/LISN** (z.B. 700mA, 230V/50Hz) => **Problem: FI-Schutz (30mA) löst aus.**

Hierbei werden durch das Netz, als **(schlechte) Empfangsantenne** (typ.-25 dBi), mehrere Störquellen überlagernd und phasenmässig integrierend, als Hilfsantenne benutzt.

Der Versuch damit auch **Fern-Feld OTH-Radar Störungen** auf 17m zu minimieren erbrachte ca. -20dB, aber ständiges Phasen-Nachregeln. Das ist der sich zufällig in der Ionosphäre einstellenden Ausbreitungs-/Phasenverschiebungen geschuldet. => **sollte besser automatisch erfolgen durch Software/ Diversity RX**

5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (9)

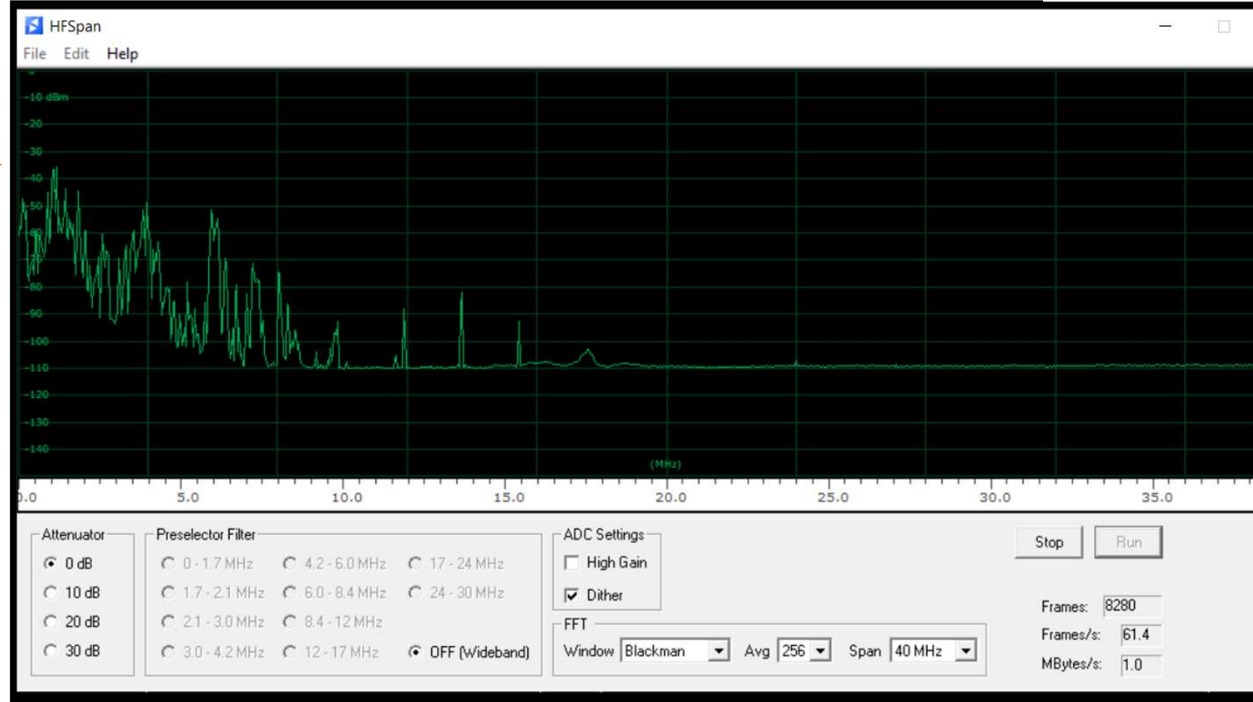
Wie gut ist jetzt die beschriebene lokale Entstörung mess-technisch?

Signal-Pegel Beispiele: Haupt Antenne Doubletten Dipol

14-Jan-2026-2000CET-1872 kHz (160m) abgestimmte «inverted Vee» @24m



→
-35dBm

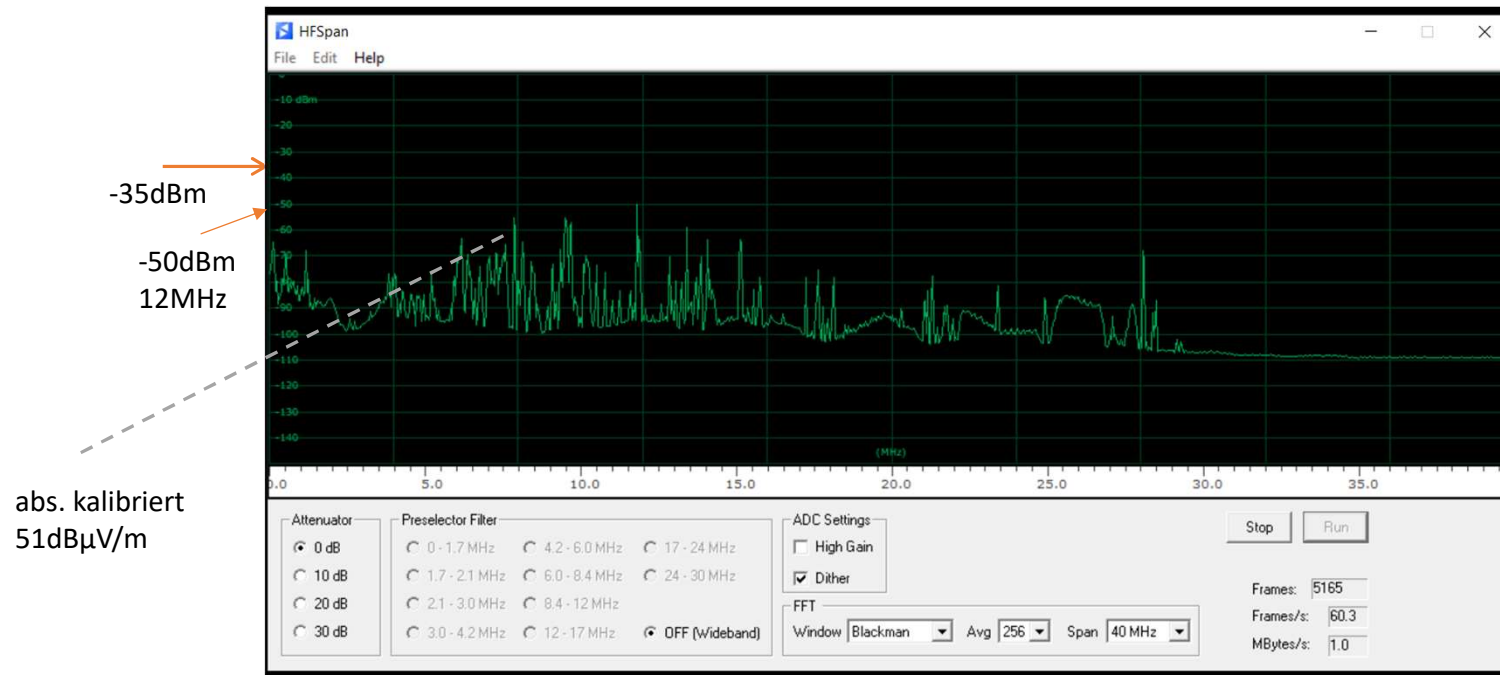


5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (10)

Wie gut ist jetzt die beschriebene lokale Entstörung mess-technisch?

Signal-Pegel: RX Hilfs-Antenne D=1m mag. Loop (Dachboden)

13-Jan-2026-1650CET-horiz-ALA-1530 mag. Loop -55cm to tile-roof-250cm from concrete floor-via Shack-Avg256



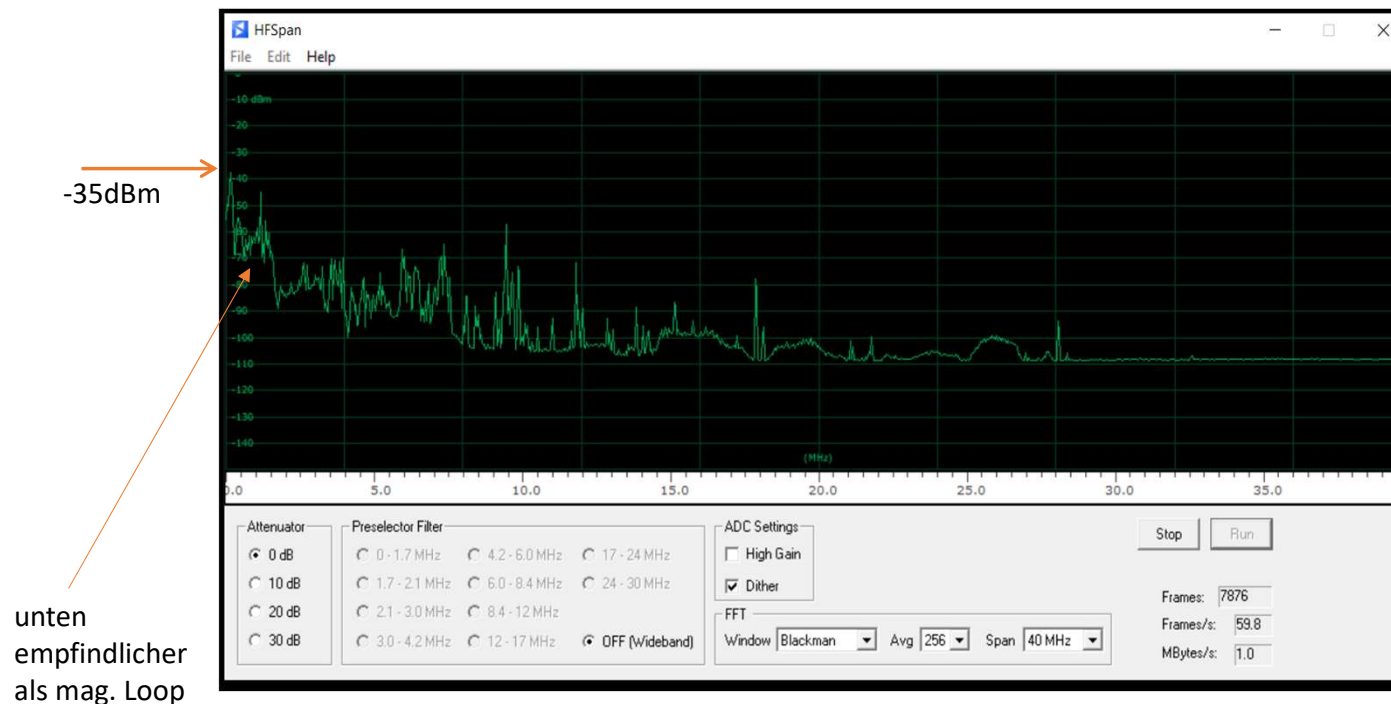
Überprüfung(1h+)
Ausbreitung
um 1744CET
Signale fast gleich

5. EMV-Praxisbeispiel HB9CVQ, Berikon/AG, im 2. OG eines 6 Parteien-Miethauses -No Problem! (11)

Wie gut ist jetzt die beschriebene lokale Entstörung mess-technisch?

Signal-Pegel: RX Hilfs-Antenne PA0RDT Mini-Whip (Dachboden)

13-Jan-2026-1731 CET-Mini-Whip-CM-Choke-150cm from concrete floor-via Shack-Avg256



6. EMV-Praxisbeispiel Multi-OP Contest-Station DD1A, Singen (160m bis 10m, 750W ☺) (1)

- Mehrere Ant. Masten, Antennenkopplung (40m 2el, sonst bis 4 el. Beams, Stacks, 80m GP, 80m inv. VEE, L-Ant. 160m, Eigenbau Multi-in Band-Automatisierung, mehrerer RX-Loops, BVGs)
- TRX , PA-Filter, Netz 3 Phasen
- 3 OP-Plätze Stations-Verkabelung, je mit nur 1 Phase !
- **simultaner TX-Betrieb** auf unterschiedlichen KW-Bändern (Filter TRX zur PA , Output QRO zur Ant.)
- Beverage RX-Antennen, super schmale, übersteuerungsfeste BPF (3 Stellungen bei CW 80m)
 - BW-Mast, Versa Tower, Alter DB-Mast- kritische, Richtungsabhängige Ant.- Verkopplungen
 - 1 komplette Station auf 1 Phase Netz
 - Netz-Filter, jede Menge grosse 300g CM-Klapp-Ferrite (DX-Wire, DE, Typ K25, 25mm innen)
 - Kompromiss, fast konsequentes Single Point Entry EMV-Konzept (Kabelbaum ca. 60cm !?)
 - Nach HF, Netz, CM-Ferrite Verblockung **fanden wir die einzelnen TRX TS-590 13.8V PS-Netzteile** immer noch als **kritischen Koppelpfad ! Back- Door- Coupling !**
 - Abhilfe: → DC-CM-Filter Sättigung verbessert und grösseren Ferrit K24 (nur 3 bis 4 Windungen !)
 - Mehr Windungen, dann ungünstiges, kapazitives Übersprechen am Kern, stark reduzierte Verblockung-Wirkung

6. EMV-Praxisbeispiel Multi-OP Contest-Station DD1A, Singen (160m bis 10m, 750W ☺) (2)

Diese Entstör-Aktion war komplex und sehr zeitaufwendig. Auf 3 Netzphasen laufen hier 3 KW-Stationen. Konsequent wurden Antennen-Ports jeweils mit **Koax-Mantelwellen-Sperren und Band Pass Filtern** (Systemsteuerungs-Automatik), jeweils am TRX und hinter der PA, systematisch entstört. Diese Filter schaffen typisch **30 bis 40 dB Entkopplung zum Nachbarband**.

Das reicht dann meist, um **TX-Oberwellen-Signale** auf ca. S9+ abzusenken. $1\text{kW} = +60\text{dBm}$ minus $80\text{dB} = -20\text{dBm} = \text{ca. S9}+50\text{dB}$.

Jetzt müsste die Antennen- Entkopplung schon unrealistische 50dB sein, um S9 zu erreichen!

Ein ggf. vorhandenes, breitbandige Phasenrauschen eines schlechten TX spiel auch eine wichtige Rolle.

6. EMV-Praxisbeispiel **Multi-OP Contest-Station DD1A, Singen** (160m bis 10m, 750W ☺) (3)

Eine **wesentliche Entdeckung** der Week-End Entstör-Aktion war jedoch **RX-Back-Door-Kopplung** über die Netzteile und **Einkoppel-Schleifen** (SL/PE/ Koax-Schirm).

Auch hier werden **Störströme**, durch die prinzipiell ja **erwünschte TX-Feldstärke**, induziert (Eigenbestrahlung).

Die 20dB (Hersteller-Angabe) Netzfilter am externen Netzteil reichten nicht.

Noch schlimmer an Anfang hingen 2 TRX an einem 13.8V DC-Netzteil und koppelten völlig unkontrolliert. **Ein TRX sendete und der andere TRX suchte Multis nur auf Empfang.** Mit Trennung und Verblockung ergab sich eine erträgliche Lösung.

Zusätzlich wurden die passiven (aktiv braucht BPF) **Hörantennen** entsprechend entstört.

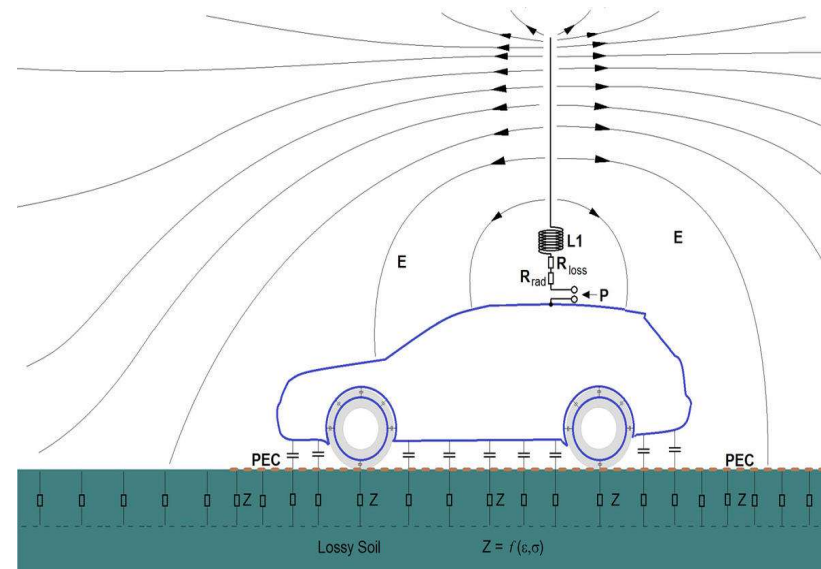
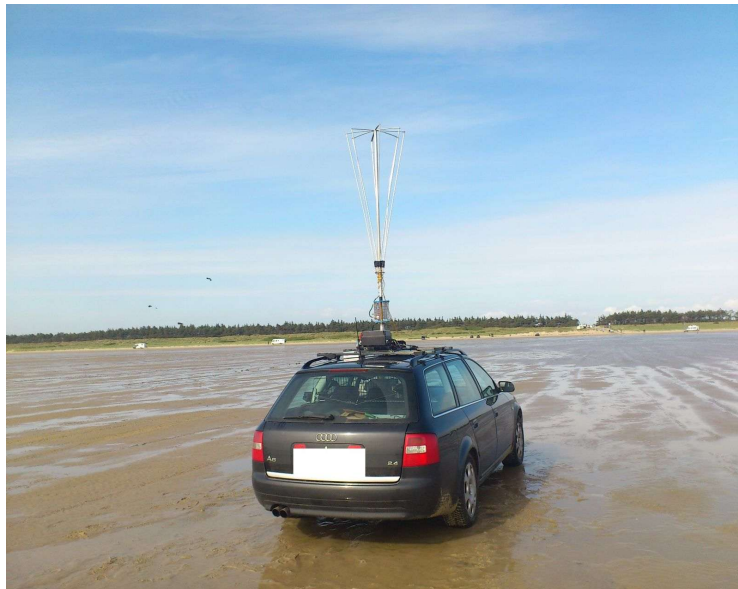
Weiterhin wurden am jeweiligen Arbeitsplatz TRX USB, PTT-Leitungen, CAT etc. verblockt und überall Netzfilter, mit PE-Verblockung, installiert.

Antennen stehen hier eigentlich zu dicht beieinander; Grundstück ist halt sehr begrenzt. Richtantennen koppeln richtungsabhängig.

Äusserer Blitzschutz ist z.B. am 24m hohen Bundeswehr-Mast installiert.

Trotz TRX-BPF-PA-BPF-Stubs-Antennen gibt es noch immer massives Übersprechen
[+60dBm-2x40dB-20dB-10dB=+60dBm-110dB=> -50dBm=> **S9+20! Übersprechen !!** [z.B. Arbeitsplatz RUN 1 zu Multi]

7. Herausforderung KW-Mobil, Audi A6, HB9CVQ/DK2VQ/m Praxis-Erfahrung (1)



7. Herausforderung KW-Mobil, Audi A6, HB9CVQ/DK2VQ/m Praxis-Erfahrung (2)

Diese selbstentwickelte **80m Mobilantenne** war, den Umständen nach, sehr effizient, weil die untere Streukapazität zum Dach minimiert war.

Die **Eigenentstörung des Audi A6** (2003) führte von S9++(CW BW 400Hz) mit viel Aufwand danach zu S3. EMV- technisch wurde die Fahrgastzone, mit TRX K3S-nur CW, HF 50W, als «Faraday-Käfig» Schutzkonzept definiert.

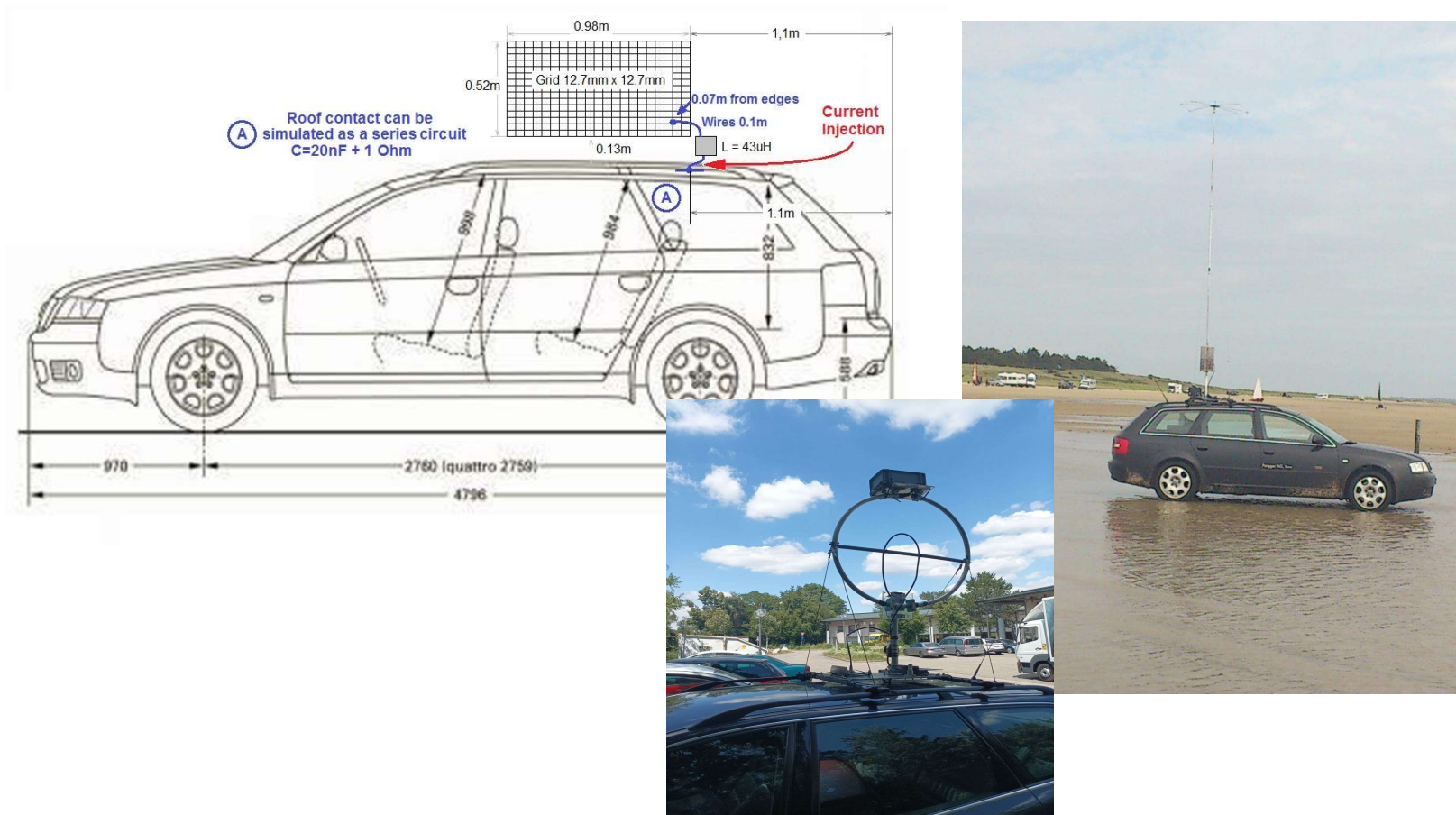
Die **Schirmung** gegen aussen wurde mit ca. -30dB auf 40m, ortsabhängig -kritisch vor Lenkrad- gemessen.

Das penetrierende RG58U Koax zur Antenne wurde direkt am Beifahrertür-Eintritt mit Chassis-Masse verbunden (**Zonenkonzept**).

Am Dach wurde mit Ring-Kern direkt an der Antennenspeisung verblockt. Es gibt einen E-Feldstärke - Gradienten von ca. 20 dB zwischen Bodenblech und Dach.

Im Fahrzeug wurde auf **Single Point Ground/Bonding, vermeidet Masseschleifen**, streng geachtet. Die separate Funkbatterie (90Ah) wurde HF-entkoppelt und von der Lichtmaschine über einen Wandler (13.8V DC = konstant) gespeist. Aussenspeisung (Netz 230V/50Hz) bei 50W und Fahrbetrieb über 30+ T-Km war niemals nötig.

7. Herausforderung KW-Mobil, Audi A6, HB9CVQ/DK2VQ/m Praxis-Erfahrung (3)



7. Herausforderung KW-Mobil, Audi A6, HB9CVQ/DK2VQ/m Praxis-Erfahrung (4)

Hier wurden **diverse Antennen Prototypen erprobt**. Die **Wirkungsgrade** sind sehr unterschiedlich. **Magnetic-Loops waren besonders ineffizient**. Die Strahler Länge ist z.B. besonders wichtig. Diese ist aber wiederum durch die **Strassenverkehrs-Zulassungs-Verordnung auf 4m** (Boden /Ant. Spitze) begrenzt. Wenn das Auto-**Dach schon 1.5m** hoch ist bleibt nicht mehr viel übrig. Die Erdbodenverlust auf **80m (nachts)** und selbst noch auf **40m (tagsüber)** sind ungünstig. Bei 160m wird es in jeder technischen wie auch betriebstechnischen Sicht praktisch fast hoffnungslos (QRPP).

Das prinzipielle EMV-Zonenschutz-Konzept funktionierte bei allen F&E Prototypen aber immer einwandfrei.

Man könnte ja auf die Idee kommen im **Standbetrieb das KFZ mit Radial oder sogar Tiefen-Erder** zu verbinden. **Das brachte bei Versuchen wenig bis gar nichts.**

Dieser **Erdungs-Ansatz** wird noch sinnloser, unmöglich bei einen sich **im Flug befindlichen Flugzeug**. Das ergäbe eine undenkbbare km-lange Erdleitung-Schlepp-Antenne.

Im VLF-Bereich bei Aircraft zu U-Boot-Kommunikation werden km-lange Schlepp-Antennen verwendet. Was man hier EMV-technisch macht, ist **HF-Potenzialausgleich mit Bezug auf ggf. den Metallrumpf**.

7. Herausforderung KW-Mobil, Audi A6, HB9CVQ Praxis-Erfahrung (5)

- KFZ-Entstörung (Benzin-Motor, noch wenig EMV bei Audi in 2003 ! z.T. **S9+20dB** zu Beginn ☹)
- Relativ kurze mobile Low-Band Antennen auf Dach
- autonome 12V Ladevorrichtung Funkbatterie
- QRV nur CW-Low-Bands Betrieb max. 50W HF-Output
- Durch niedrige Antennen-Effizienz => QRP OP (160m ggf. 0.1%, 80m ggf. 3%, 40m ggf. 10% -50W->5W)

-**KFZ-Eigen-Entstörung** nur mit **HF-Stromzange**, mehrere Massebänder an Motor, Auspuff etc.

-Multiple Erdpunkte im Fahrzeug bilden Koppel-**Schleifen**

12V Hauptbatterie Minus auf Chassis Masse, Zentraler Erd-Punkt an Beifahrertür- Coax-Kabel-Masse, K3S TRX Masse, Antenne-Masse über metallischen Dachträger auf Dach-Reling zuletzt ans Fahrzeug-Chassis.

-**EMV Störungen** abhängig vom **Fahrbetriebszustand** und **Aussenumgebung** (QTH-Location)

-Bei **CW** 400Hz BW auf 40m:

(K3S/P3, ATAS 120S optimiert), 120km/h, freie Autobahn, nun Anzeige S-Meter nur noch S3) ☺

-Klassische KFZ-EMV-Probleme : Masse-Korrosion, mechanische Vibrationen, Temperatur

-**Höhengrenze Ant < 4m** (Spitze-Boden) , starke Windkräfte , Fremd KFZ EMV (>>V/m Einstrahlung)

-Formale Dinge, HF-Betriebszulassung (Funken während der Fahrt !?) , Versicherung/Haftungsfragen

8. Zusammenfassung und optimierte Praxis Empfehlungen (1)

- **Systematik:** Leitung vor Feld, Ursachen/Quellen finden=> **EMV-System-orientiert denken!** HF-Insel-Ansatz
- **Erfolg ist möglich, wenn man weiß, was man tut und Batterie-betriebene, vertrauenswürdige Messinstrumente hat.**
- **EMV-Zonenschutz-Konzept** systematisch umsetzen/implementieren, **Bildung einer Funkraum HF-Insel**
- Koppelschleifen-Bildung vermeiden/Fläche minimieren, **HF-Bezugsmassen-Fläche**
- Gute technische Effizienz der Störunterdrückung (z.B. bei Feld E, H, Strom, Spannung) ist **oft zuerst schwierig**.
- [Dämpfung [dB] = $>20 \log (U_{\text{mit Filter}}/U_{\text{ohne Filter}})$, bei Leistung [dB] = $10 \log (\text{Power mit} / \text{Power ohne})$]
- **RX-Fall:** Umgebung (EM-Emissionen) generieren Einkopplungen/Störstrom-Verschleppung (dB μ V/m, dB μ A)
- **TX-Fall:** Eigene Antenne generiert das Einkopplung-Feld (V/m, mA)
- **Optimierte EMV**, mit gutem Effizienz-/Kosten-Verhältnis der Entstörung, **TX- und RX-Fall ist möglich !**
- Nicht gleich an Tiefen-Erder denken ! „**Lange(!?)“ Erd-Leitungen, Blitzschutz sind für EMV unbrauchbar!**
- Lange **Wasserleitungen/Heizungsrohr-Systeme** wirken meist als störungseinfangende Antennen
- Funk-Tisch-Masseplatte, **kurze** Massebänder, Netzfilter mit Überspannungs- Schutz, Ferrite...etc.

8. Zusammenfassung und optimierte Praxis Empfehlungen (2)

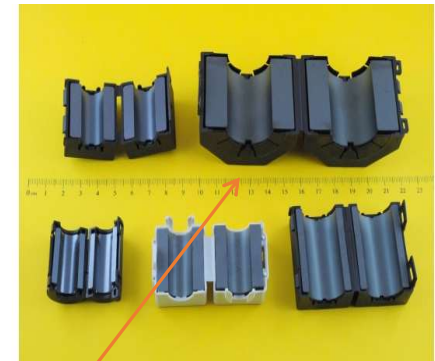
- Typisches Beispiel zu Kosten/Nutzen-Verhältnis der Entstörung im TX- und RX-Fall ...erschwinglich
 - + Systematisches EMV-Design, Tisch-Masseplatte, kurze Stehbolzen/Massebänder, 1Phasen **Netzfilter** mit Transienten Schutz, **Mantelwellen-Drosseln**, **Klapp-Ferrite/ Ringkerne** Bauteilauswahl, etc. <https://auth-nt.de/> <https://www.dx-wire.de/>



Robust und flexibel
EM 800

- 1 – 16 A (250 – 4000 W)
- Entstörspektrum 10 kHz – 500 MHz
- Sperrdämpfung bis 70 dB
- robustes Metallgehäuse
- interne Klemmen (1,5 mm²)
- Überspannungsschutz integriert
- diverse Anschlußkabel optional

???



Geheimnis:

Fair-Rite Part Nr. #0444177081 D= ca. 25mm
1MHz-> ca. 500 MHz
KW: 3-4 Windungen reichen für ca. 20dB

HAM Radio YLs, OMs

Thank you all for your Time

Understanding is the first step to find your own, specific EM-Problem Solution, effectively!

Any Questions / Comments / Discussion

Call us, **we help also professionally** since over 30+ years

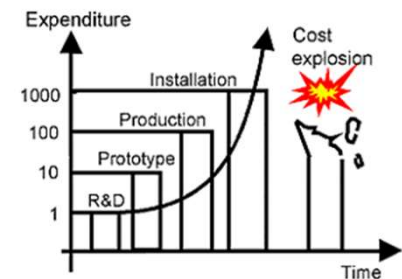
Info/Contact:

<http://www.euro-emc-service.com>

euro.emc.service@swissonline.ch, or diethard.hansen@ieee.org

Phone Switzerland +41 566 33 73 81

<https://www.linkedin.com/in/diethard-hansen-032b28155/>



Learn to prevent this
EMC Project Problem

<https://www.euro-emc-service.com>