

EMV Messungssicherheiten

Blatt 1

Normen EMV G

Logarithm. Größe

Was ist EMV worum gehts

Messung relevanter Größen

$P; E; U$

Messunsicherheiten

system. \rightarrow korrektur

zufällig - Temperatur

Norm - Messunsicherheiten

E-DIN EMV 13055 international
abgestimmt

Worst case Betrachtung!

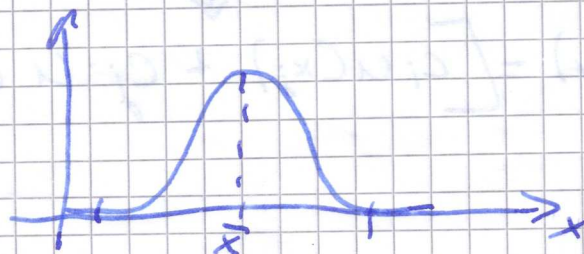
$$R = \frac{U}{I} ; P = \frac{U^2}{R} \quad \vee \quad R = \frac{U^2}{P}$$

$$Y = GC$$

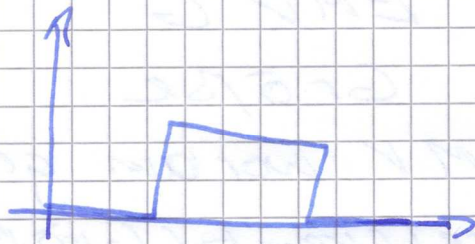
Typ A - Teilunsicherheiten auf statistischem
Weg ermittelt

Typ B - Teilunsicherheiten auf andere Art
ermittelt. C, M, E

zu Typ A Gauß-Verteilung



zu Typ B



Rechteckverteilung

y = Schätzwert

$$u^2 = s_y^2 = \sum \left(\frac{\partial G}{\partial x_i} \right) s_{x_i}^2$$

↓
Unsicherheit

← Gewichtungsfkt.

des Messergebnis

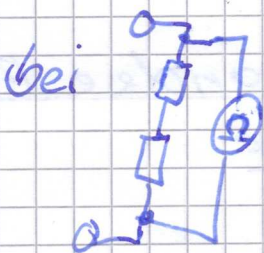
alles unkorrelierte Eingangsgrößen
(unabhängig voneinander)

Wenn Eingangsgrößen abhängig von
einander sind, u_c -combination

2 Eingangsgrößen:

$$u_c^2(y) = c_i^2 \cdot u^2(x_i) + c_j^2 \cdot u^2(x_j) +$$

Anteil von korrelierten
Korrelation



$$\rightarrow r_{ij} = 1$$

$$u_c^2(y) = [c_i \cdot u(x_j) + c_j \cdot u(x_i)]^2$$

Bsp: unkorreliert:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_j)} = \sqrt{1+1} = \sqrt{2}$$

korreliert:

$$u_c(y) = u_c(x_i) + u_c(x_j) = 1+1=2$$

- allg. Def. Rechtsgrundlage Fragen zu Normen Bsp. In welchen Typ von Normen
- stehen z.B. Grenzwerte

EMV Minimierung der Störemmission und Erhöhung der Störfestigkeit

o Koppelmechanismen Kapazitive
Kopplung.

o galvanische Kopplung

- An wen wendet sich das EMVG
- DB-Rechnung.

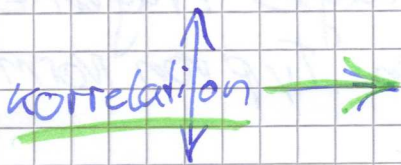
Prüfung relevant

In der GEM-Zelle wird Storleistung gemessen. (in 3 versch. Positionen)

man erhält dann für jede Position eine Spannung U

$$u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 = U_{\text{Ges.}}$$

Storfeldstärke



Storleistung

Dipol wird mit der Storleistung beaufschlagt und erzeugt eine Storfeldstärke.

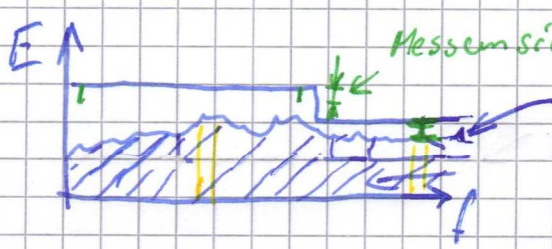


dieser Dipol soll stellvertretend auf dem Freifeld stehen und sein E wird mit Antennenscan gemessen. somit sind Vergleiche mit dem Freifeld (falls möglich) In Österreich und England gibt es sehr gute Freifelder. ← cool Info vom Prof.

Pickdetektor

- die Höhrkurve des Ohres liegen historisch gesehen zu Grunde
- wird durch Normen gefordert
- erst nur eine schnelle grobe Messung da das Einschwingen für jede Messung dauert lange.
- für kritische Frequenzen \Rightarrow nahe an den Grenzwerten \Rightarrow wird dann Quasipick gemessen mit

und dann ausgewertet.



Messunsicherheit

könnte auf Grund der

Messunsicherheit nicht bestehen!

Bei solchen Frequenzen nochmal
genauer messen!

Messung von geleiteten Störemissionen

$$30 \text{ MHz} \stackrel{1}{=} 10 \text{ m} \lambda \Rightarrow \frac{1}{2} \lambda = 5 \text{ m}$$

Geleitete Störemissionen sind: ?

↘ keine geleiteten Störgrößen ab 30 MHz
da die $\frac{\lambda}{2}$ langen Wellen abgestrahlt
werden.

SNR ist wichtig bei der Messung von f
 ↳ keine hohe Bandbreite ↳ selektiv messen. $b \approx 200$
 möglich da dann SNR Messsensor ↳ Band-
 schlecht wäre. ↳ Wandler → E zu U ↳ breite
 ↳ selekt. Spannungsmesser

**Elektromagnetische Verträglichkeit (3):
EMS**

Vorlesungsskript WS 2010 / 2011

Prof. Dr. Manfred Schmidt
Fachbereich ET/IT




Messung müssen reproduzierbar
- und vergleichbar sein ↳
Messumgebung muss genormt sein

bei Störemission → Freifeld
 (Erdboden ist nicht überall
 gleich (Feuchtigkeit)) ↳
 Ground Plane ($\frac{\lambda}{10}$)-Maschen
 draht.

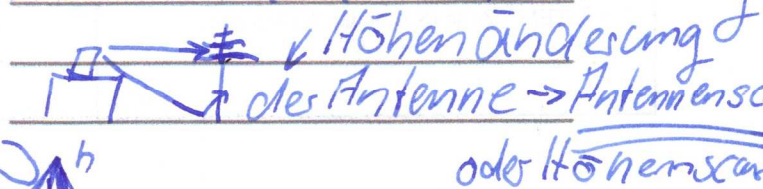
Dieses Material wurde ausschließlich für Lehrveranstaltungen
 am Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der
 Fachhochschule Jena im WS 2003/04 konzipiert und zusammen-
 gestellt. In den Folgejahren erfolgten Modifikationen und
 Ergänzungen

Die verwendeten Abbildungen sind zum Teil aus den
 angegebenen Literaturstellen im Sinne von Zitaten entnommen.

Das Material ist nur für die Lehrveranstaltungen des Autors konzipiert.
 Jegliche Verwendung außerhalb dieses Rahmens ist unerwünscht.
 Das betrifft auch eine unerlaubte Verbreitung durch Kopieren
 und/oder elektronische Medien.



Störemission wird an der Gr. Plane
reflektiert. Um Fehlmessung zu
beseitigen müssen die Wege der
"Strahlen" ändern ⇒ Höhenänderung




durch Höhenänderung
 Minima und Maxima →



Grobgliederung
 Stand WS 2003/2004

1. Einführung in die Probleme der Elektromagnetischen Verträglichkeit
2. EMV-Richtlinie und Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit, Normen (allgemein)
3. Störquellen, Störgrößen, Störsignale
4. Modelle und Kopplungsmechanismen
5. Emissionsmesstechnik
- 6. Störfestigkeitsprüftechnik**
7. Theorie und Praxis elektromagnetischer Schirme
8. Entstörkomponenten und Entstörmittelmessung
9. EMV-gerechter Leiterplatten-Entwurf
10. Schutz von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (DIN VDE 0545)



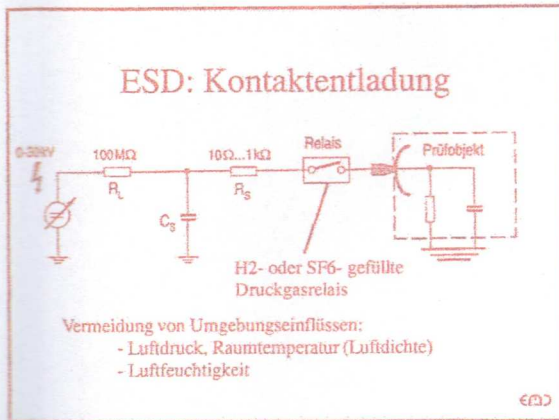
im MHz-Bereich ist durch kleine
 ↳ die Änderung der E wesentlich
 größer als bei niedrigen f.

Messung von 30 MHz ... GHz Bereich

Testobjekt im 30° Winkel drehen + Höhen scan

Surge :- energiereiche Impulse durch atmosphär. Entladungen (Blitz)

- Anstiegszeit in μs -Bereich \rightarrow langsam
- sehr energiereich \downarrow Gerät kann beim Prüfen zerstört werden.



ESD - Elektrostatische Entladung

umg
- mit Pistole auf Zuleitung
simuliert

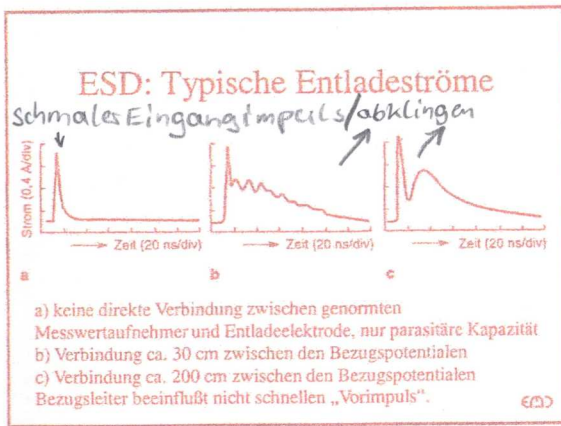


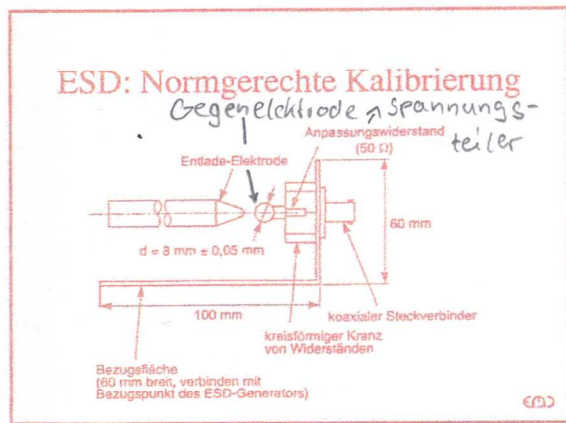
Electrostatic Discharge (ESD)

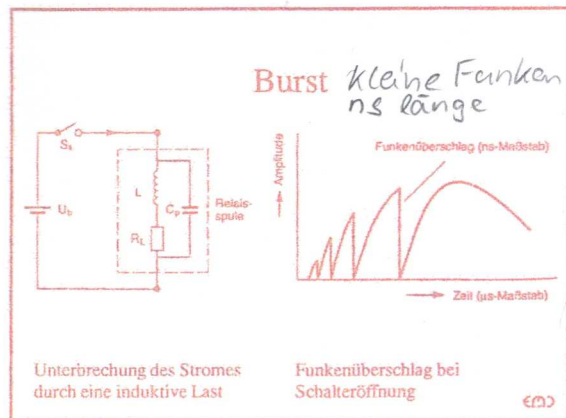
Grad	Prüfspannung	
	Kontakt-Entladung	Luft-Entladung
1	2 kV	2 kV
2	4 kV	4 kV
3	6 kV	8 kV
4	8 kV	15 kV
x(1)	Spezial	Spezial

↑
Schärfegrad

EMD



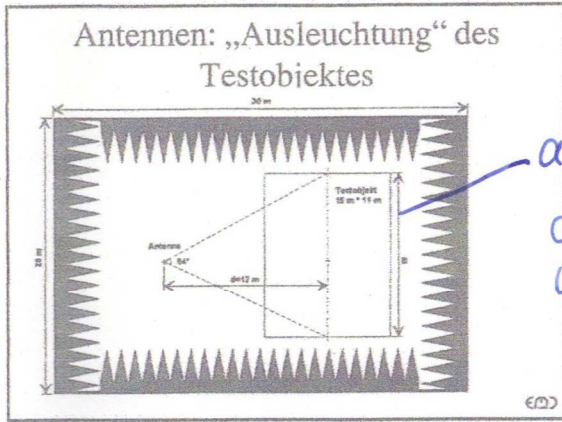




- schmale Impulse & steiler Anstieg
- in Normen beschrieben
- $5 \text{ ns} \pm 30\%$

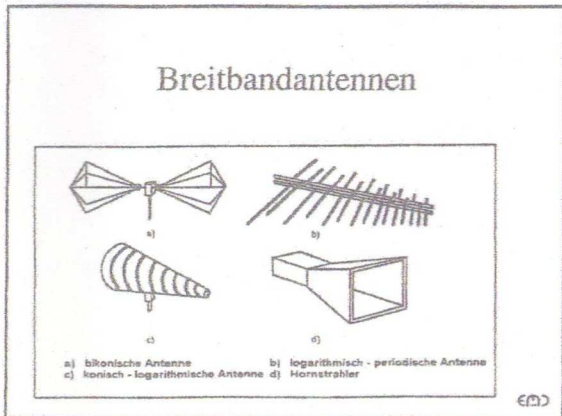
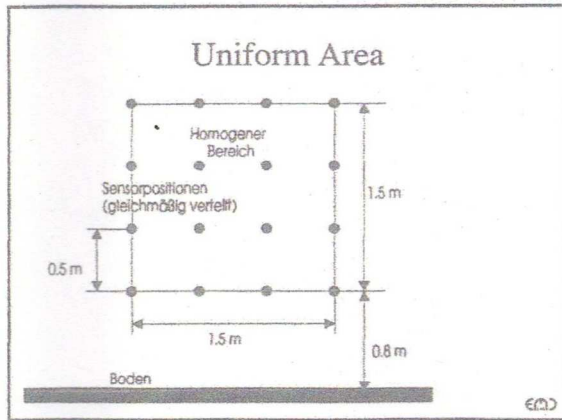
Burst

- ca. 7m hoch da der Antennenscan so hoch sein muss.
 ca. 4m \uparrow
- ~~hoch~~ horizont. und vertikales
- Absorber dämpfen mit ca 60 dB.



EMVG: CISPR 16 - Die Norm

auch mit fester Antenne durch die Absorber am Boden wird jeder Strahl absorbiert.



dB_i → Gewinn gegenüber isotropen Strahler
 dB_d → -11 -11 Dipol

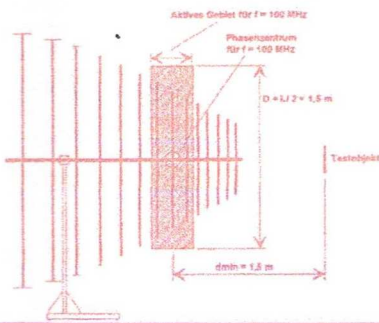
Breitbandantennen

Frequenzbereich	Antennentyp	typ. Gewinn
20 MHz bis 300 MHz	Dipolische Antenne	-15 ... 2 dBi
20 MHz bis 320 MHz	log.-per. Antenne mit verformten Elementen	2 ... 6 dBi
70 MHz bis 1 GHz	Bllog-Antenne (Kombination aus Breitbanddipol und log.-per. Antenne)	-15 ... 6 dBi
80 MHz bis 1 GHz	log.-per. Antenne	2,5 ... 7 dBi
200 MHz bis 1 GHz	log.-per. Antenne	6 ... 7 dBi
200 MHz bis 2 GHz	log.-per. Antennenarray	9 ... 10 dBi (2er) 12 ... 15 dBi (4er)
400 MHz bis 1 GHz	Double Ridge Horn	13 ... 16 dBi
1 GHz - 2 GHz 2 GHz - 4 GHz 4 GHz - 8 GHz 8 GHz - 18 GHz	Pyramidenhorn	13 ... 16 dBi
1 GHz - 18 GHz	Double Ridge Horn	13 dBi
18 GHz - 26,5 GHz 26 GHz - 40 GHz	Pyramidenhorn	13 ... 15 dBi



EMD

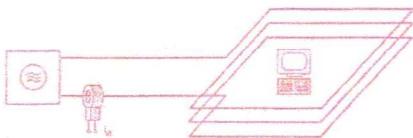
Logarithmisch-periodische Antennen



EMD

Wichtig für Abstandsangaben bei der Messung: Nur ein bestimmter Bereich der Antenne für bestimmte Frequenzen wirksam.

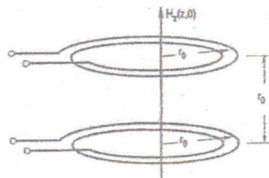
Simulation räumlich ausgedehnter Magnetfelder



$$H_{ef} = \frac{i_{ef} N}{l}$$

EMD

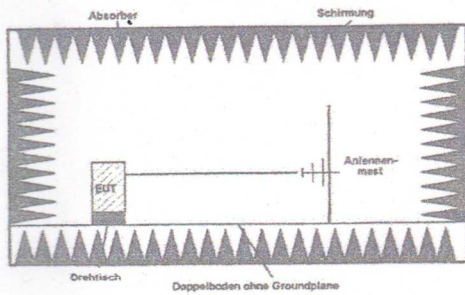
HELMHOLTZ - Spulenpaar



$$H_{z_{ef}}(z,0) \approx H_z(z,r_0) = 0,715 \frac{i_{ef}}{r_0}$$

EMD

Prüfumgebung: Absorberraum



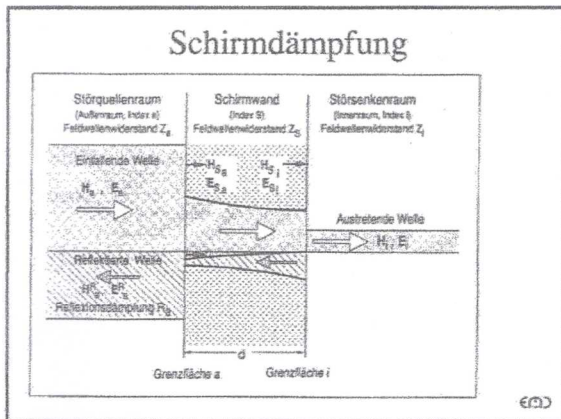
EMD

Absorberraum (semi-anechoic)



EMD

Absorberräume "saugen" die elektrom. Wellen auf und wandeln sie in Wärme um, denn gewollt ist nur die Strahlung der Antenne nicht die an den Wänden reflektierten Wellen



Analogie Brechzahl n
des Optik zu ϵ
in der E-Technik

Schirmdämpfung

SHELKUNOFF (1938):

Analogie zur Wanderwellenausbreitung auf elektrisch langer Zweidrahtleitung

Schirmwand quer zur Ausbreitungsrichtung

TEM - Wellen

Schirmdämpfung elektromagnetischer Schirme: Impedanzkonzept nach SCHELKUNOFF

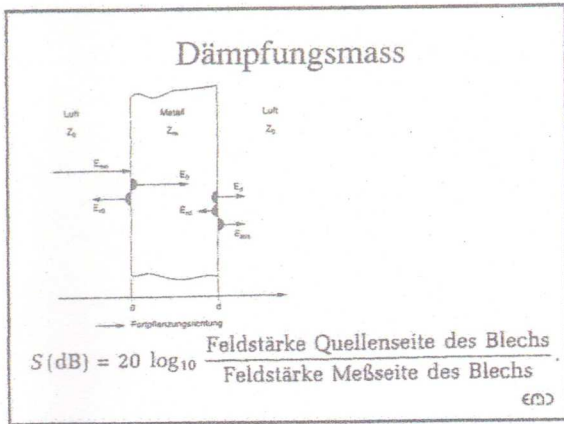
$$S \equiv a = R + A + B$$

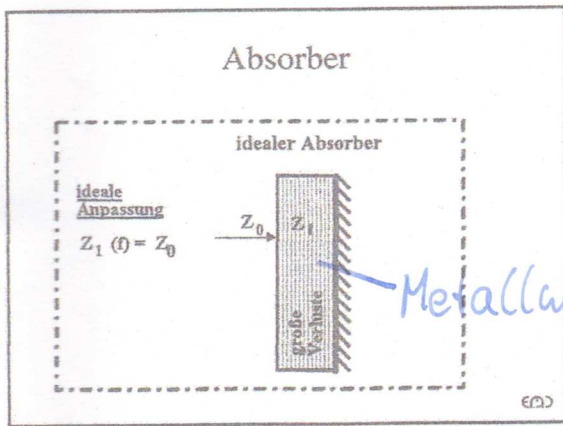
R die Reflexionsdämpfung an den Grenzflächen a und i

A die Absorptionsdämpfung durch die Abschwächung in der Schirmwand (Umwandlung elektromagnetischer Energie in Wärme durch Stromwärmeverluste)

B ein Korrekturterm, der die mehrfachen Reflexionen innerhalb der Schirmwand berücksichtigt (kann entfallen für $A > 10 \dots 15 \text{ dB}$)

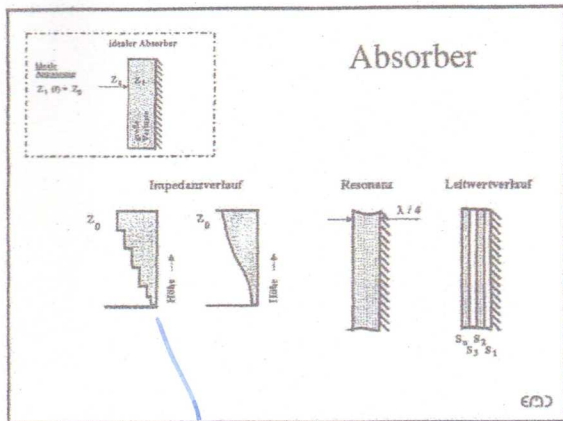
Schirmdämpfung besteht
aus mehreren Teilen



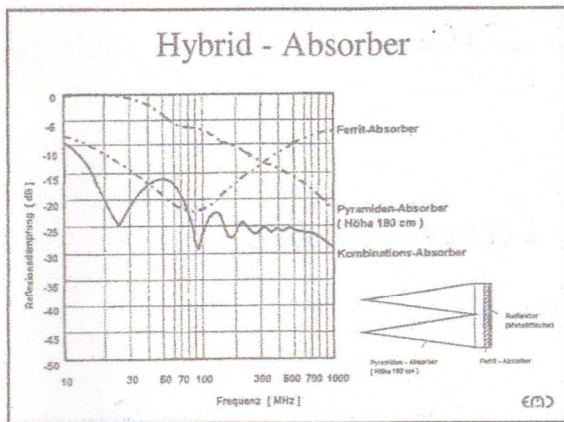


siehe Schwaab

Vorstellung: Welle dringt ein und wird in Wärme umgewandelt.
 "Schaumstoff in Graphit getränkt" annähernd ideal



oben Wellenwiderst. vom Freiraum an der Spitze annähernd 0

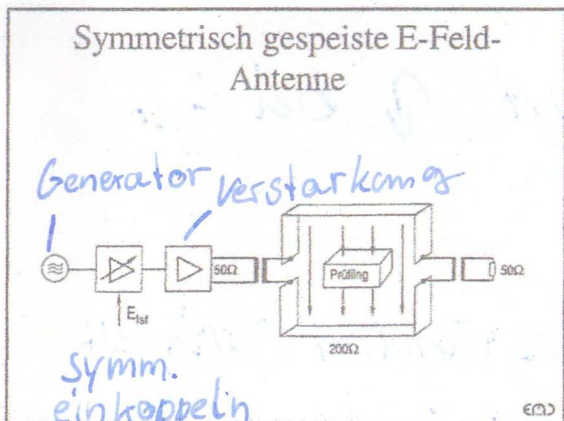


Mischung aus den verschiedenen Eigenschaften (Ferrit, Graphit...)

Prüfumgebung: Normen

- Referenz: Uniform Area *(Raum der komplett ausgeleuchtet wird)*
- TEM - Wellenleiter
- GTEM - Zelle (Spezieller Wellenleiter)

-im KFZ-Bereich hohe Feldstärken erforderlich



- nicht kostenintensiv

Wellenwiderstand berechnen, damit es an den Stoßstellen keine Reflexion gibt.

offene Anlage \rightarrow hohe Störstrahlung (kann sich nur das Militär leisten)

Weiter ohne Skript:

- heutige HF-Generatoren sind Rechner gesteuert.

- Feldstärke typisch: 3 V/m bis $1 \dots 3 \text{ GHz}$

- industriell : 10 GHz

Richtkoppler trennen hereinlaufende Energie von der herauslaufenden.

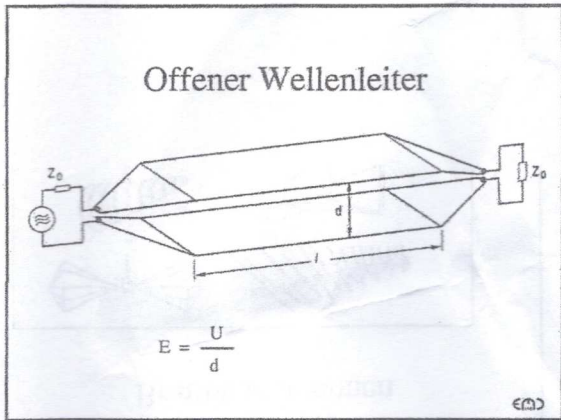
es wird Messzyklus mit Feldstärkemessgerät durchgeführt und dann mit der ermittelten E über den Richtkoppler gemessen

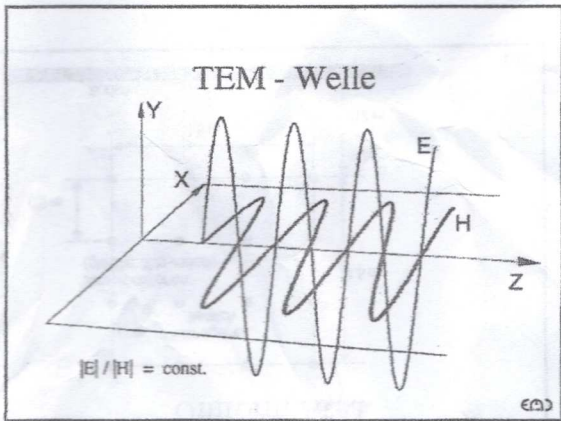
(ohne E -Messung)

Merke: Bauelemente haben bei unterschiedlichen Freq. auch untersch. Eigensch. (Parasität)

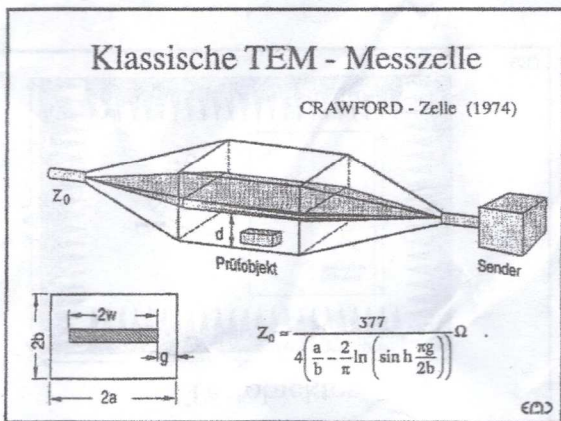
o 1mm Draht hat $L = 1 \text{ nH}$ \rightarrow bei 6 GHz im Henri-Bereich

o Parallelschaltung von Widerständen verringert deren parasitären Induktivitäten!





x magn.
y elektr.



- unsymmetrische Anordnung
- elektr. Energie soll eingekoppelt werden ohne dass es Resonanzerscheinungen gibt.
- Feldstärke lässt sich einfach bestimmen.

verbesserte Form ohne Resonanzüberhöhung
 ↳ bis 18 GHz können Objekte getestet werden. 27

EMV VL① Praktikum beim Niebel

APL-Prüfung 2-3-Aufgaben
im Leitung $\approx L = \mu H$

Micro-Waves-Studio von CST
Spice und P-Spice

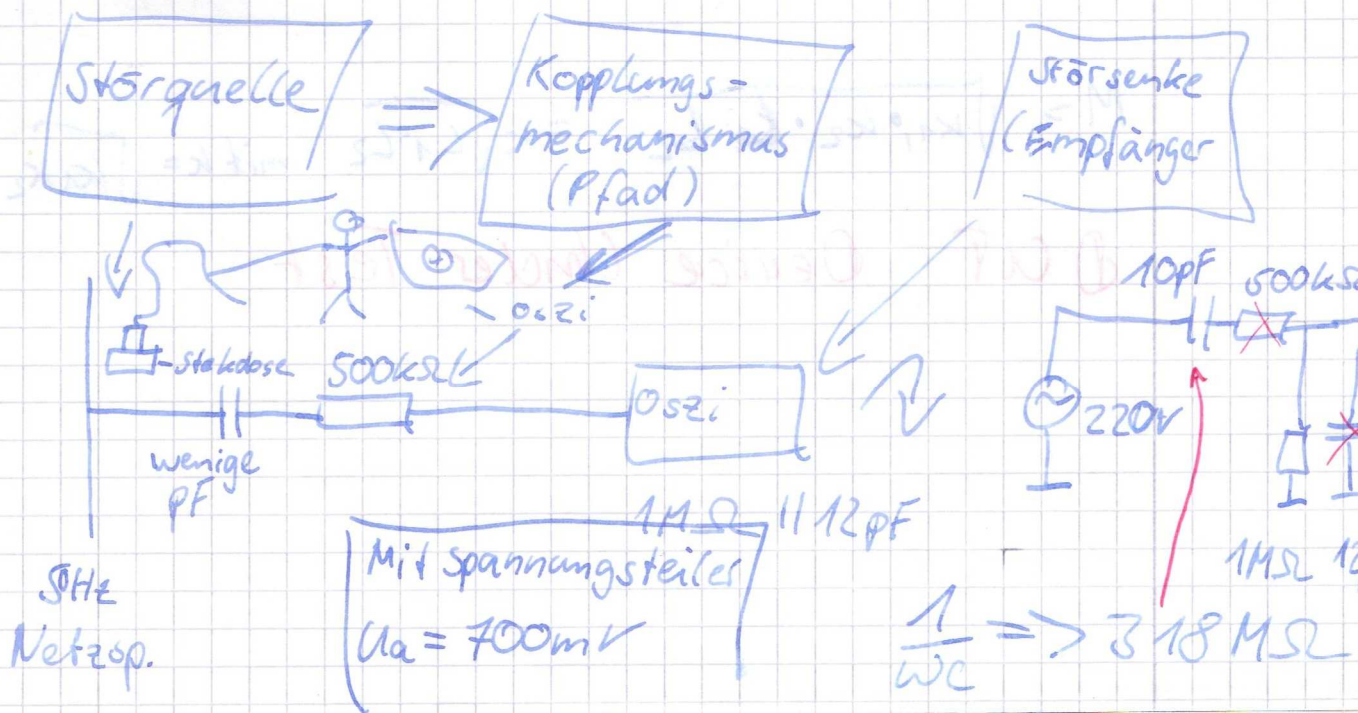
Messung ~~und~~ in TEM-Zellen

- o Begriff: Fähigkeit einer elektr. Einrichtung o. eines Syst., in seiner Umgeb. befried. zu funkt. ohne unannehmbare Störungen zu verurs.
- o Produkthaftung und Produktsicherheit
Wie des spannungsrichtlinie
- o CF Kennzeichnung
noch 10 min

HA: EMVG 2008

Störmechanismen: EMV - Schwach

Kapazitive Kopplung



Induktive Kopplung



$$U_{st} = \mu_0 \cdot \frac{l \cdot a}{r} \cdot f \cdot I$$

50 Hz ; 10 A

$$l = 100 \text{ cm} \quad a = 1 \text{ cm}$$

$$r = 1 \text{ cm} \quad \mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$U_{st} = 6,25 \text{ mV}$$

Verdrillen der Leitung kann U_{st} reduzieren.
siehe UTP-Leitung

Gegeninduktivität: M (mutual)

$$M_{12} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{I_2}$$

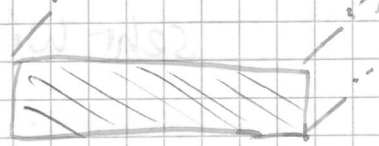
$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1}$$

$$M = \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot L_1 \cdot L_2} = k \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad \text{mit } k = \sqrt{k_1 \cdot k_2}$$

ⓁUT Device Under Test

galvanische Kopplung (über einen Leiter, Gehäuse)

• Strom als Signalträger



$$I = \text{Nutzsignal} + \text{Störstrom}$$

↓
↓ minimieren $\rightarrow 0$

elektrom. Leitungs-Kopplung und Strahlungs-Kopplung im höheren Frequenzbereich

Messung von Störemissionen Prinzipiell

Störspannung \leftarrow bis 30 MHz von 9 kHz an.
Störfeldstärke > 30 MHz ... 100 MHz

o Störleistungsmessung bei kleinen Werkzeugmaschinen (handgehalten) bis 250 MHz

Nach Meyer de Stadelhofen!

Absorberzange wird über 5m verschoben!

OATS open Area Test site

! bei Ground plane \rightarrow Überlagerung
bei Antennen-Scan deshalb Testhöhe von
o 0,8 - 4m um alle Maxima zu erhalten
 \downarrow Höhen-Scan

- Dämpfungsmaß Freiraum

$$D = 32,4 - 20 \cdot \log R + 20 \cdot \log f$$

Abstand in Km Radius

Frequenz in MHz

Abstand Sender-Empfänger ist sehr wichtig bzgl. der Dämpfung etc.

! Antennenfaktor ist wichtig für die Störfestigkeitsmessung.

! In der GETM-Zelle kann man mittels 3 Spannungsmessungen die gesamte abgestrahlte Leistung (des Messobjekts) messen (über u^2 ...)

Unterschiedliche Messverfahren sollen vergleichbar sein! (GETM-Zelle mit Freifeld usw.)

machen auch EMV

! IEC ← International. Elektrotechn.-Commission.

- hat Weltweit das Sagen in Sachen E-Techn.

CISPR - Störemissions-Commission

^{16.2} Comité International Spécial de

Perturbations Radioélectrique

regional (EU-Gremien) EU-Normen → EN

CENELEC: mit EMV-Fragen beschäftigt

Comité Européen de Normalisation

Electrotechnic

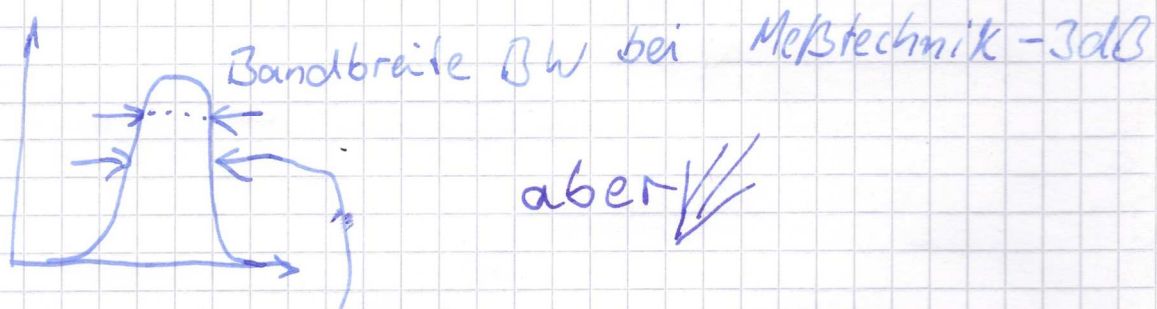
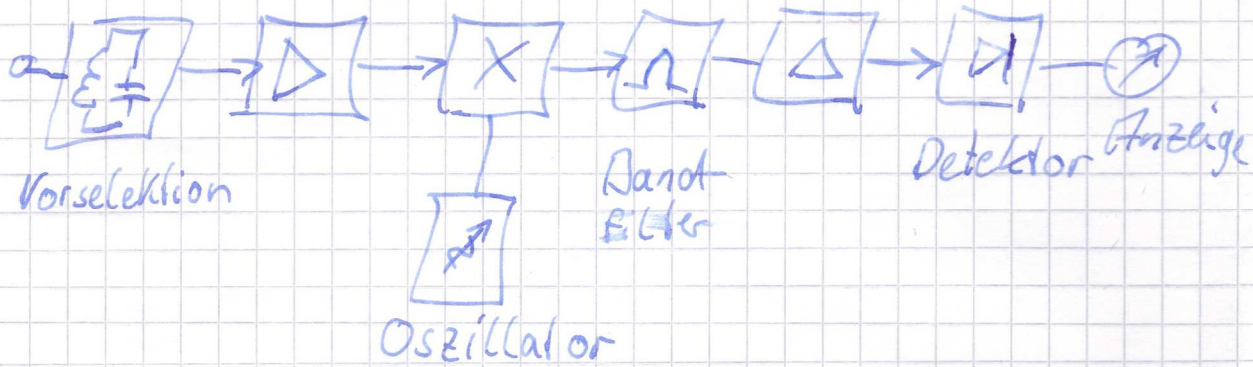
ETSI: European Telecommunications

Standards Institution

DIN EN: 61000 regelt EMV

$$20 \cdot \log \left(\frac{100 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} \right) = 40 \text{ dBm}$$

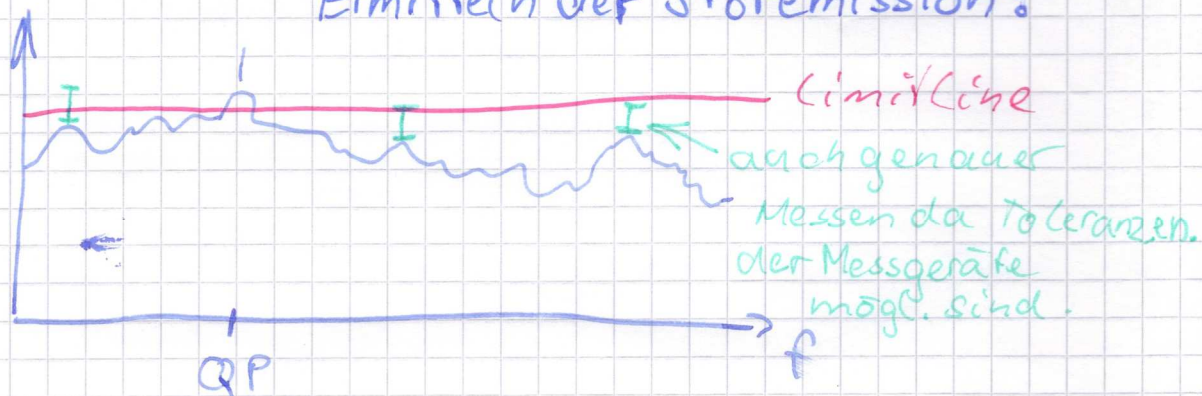
Blockschichtbild eines Funkstörmeßgerätes



Bandbreite bei EMV \rightarrow -6dB

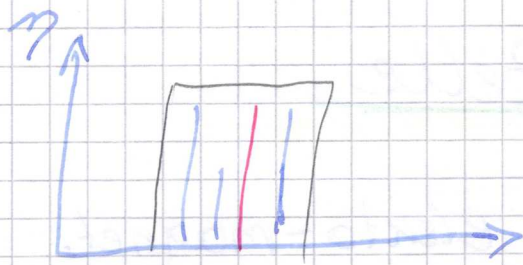
Quasipeak- und Peakdetektoren

Ermitteln der Störemission:



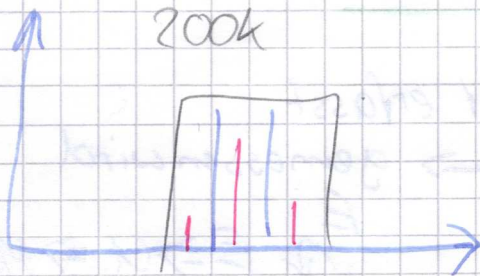
- o Messung 1: Grob und schnell mit Peak-Detektor
- o Messung 2: Mit dem Quasi-Peak-Detektor viel genauer (trotzdem schnell) an den Frequenzen die sich über der Limitlinie befinden. \Rightarrow Zeitersparung

(Übersicht in Folie zu R & S)



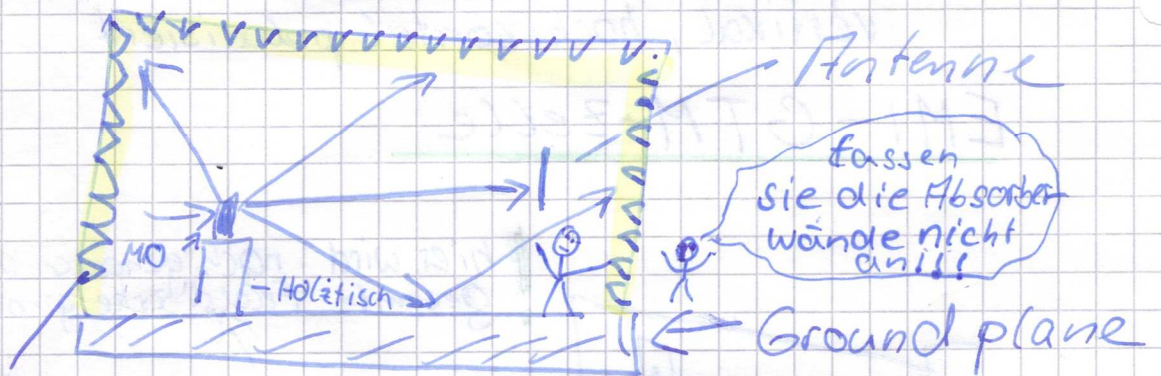
1 schmalband

1 Breitband



kann ich nicht erläutern!

Überschrift fehlt! Zur denkmal-Messung von Störemissionen im Absorberraum



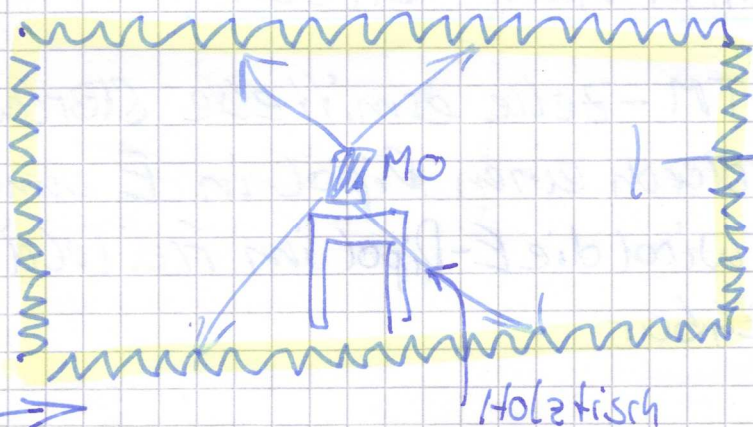
Absorber: - Schaumstoff mit Kohlenstoff oder Ferrit

- übliche Maße: 10 x 10 cm

- besondere Form

80cm

ohne Ground-plane



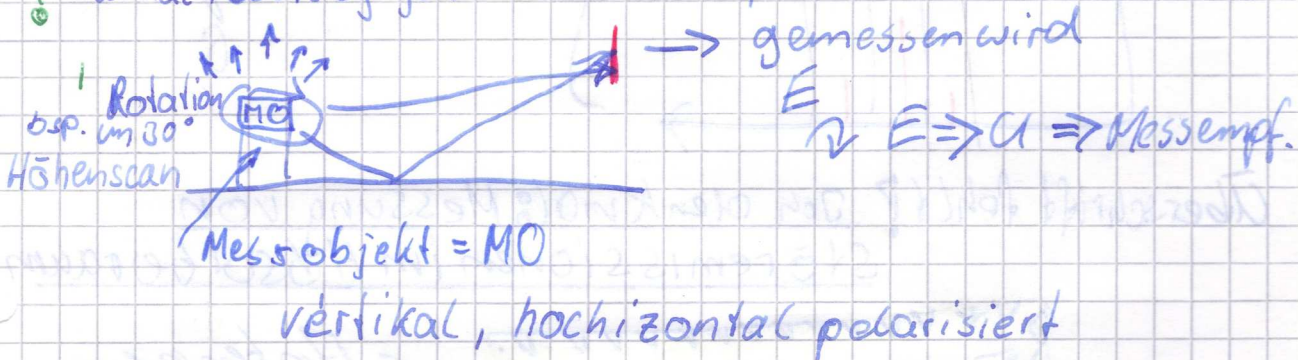
Teuer!

GTEM-Zelle

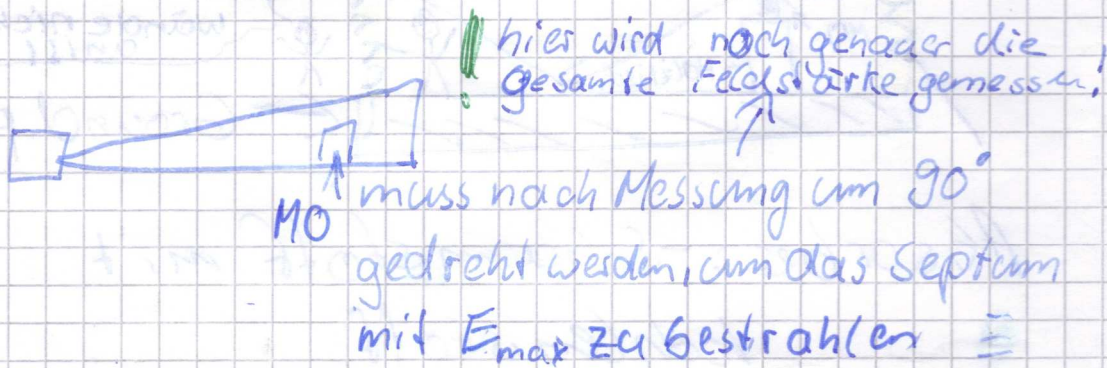
Gigahertz Transversal elektro-magnet.

EMI-Freifeld @ HTS (Open Area Test Site)

! Was nach oben weg geht wird nicht erfasst



EMI-GTM-Zelle



$$U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 \quad U^2 \sim P$$

Messergebnisse vergleichen mit Korrelationsverfahren nach Wilson

- in GTM-Zelle ermittelte Störleistung wird durch einen Dipol in E umgewandelt
- dann wird die E-Dipol im Freifeld vergleichbar

to reverberate → verwirbeln 0.8.12.11

Antriebes Reverberation Chamber (Verwirblungskammer)

- Agitator dreht sich und verwirbelt die resultierende stehende Welle, dies wird für die EMV-Messung genutzt.
 - Modenstruktur soll verwirbelt werden
 - stellt eine Art Hohlraumresonator dar
 - Modendichte, Bandbreite der Modendichte, Güte des Hohlraumresonators, Umlauffrequenz der „Blechplatten“ haben Einfluss auf die Funktionalität der Kammer.
 - teilweise sind die „Rührer“ horizontal und vertikal ausgerichtet. (um eine Homogenität des Feldes zu erreichen).
- Entwicklung noch nicht abgeschlossen → zukunftsträchtiges Verfahren

Messtechnik Rohde & Schwarz

Neu!

EMV-Messung im Zeitbereich Prüfungsrelevant

- Time Domain Scan ← neuester Stand d.T.

- zeitdiskrete Abtastung im Zeitbereich
- FF-Transformation in den f-Bereich
- es werden Filter (Window) verwendet um den „Leakage“-Effekt zu verhindern
- techn. Aufwendig
- A/D-Wandler $\approx 14 \text{ MHz} / 16\text{-Bit}$
- ≈ 150 mal schneller
- voll Normkompatibel mit CISPR