

# EMV

## EMV für Systeme - Alle Metallteile sind wichtig

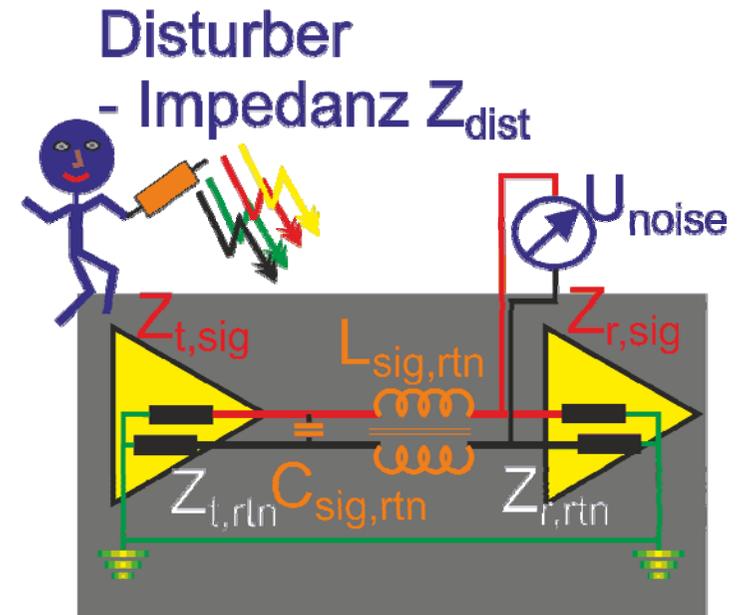
Peter Göttlicher

DESY-FEB

E-Mail: Peter.goettlicher @ DESY.de

Tel.: 3226

WWW-Seite: [https://wof-cluster.desy.de/sites/site\\_fe/content/feb](https://wof-cluster.desy.de/sites/site_fe/content/feb)



# Inhalt:

- Grundlegende Design-Idee: Kochrezeptartig
- Grundlegende Störungskopplungen: Gegenmaßnahmen
- Planungskonzepte für Elektronik und Elektromechanik
- Konsequenzen für Systeme: Elektronik und Metallteile
- Bauteile
- Messtechnik
- Abschluss

## Warum überhaupt Thema:

- EMV wachsende Bedeutung
  - durch steilere digitale Flanken
  - Höhere Stromverbrauch bei Linear- oder Schaltreglern
  - Im allgemeinen gesellschaftlichen Umfeld immer mehr DC/AC und AC/DC-Wandlern
  - Stromeffizienz schaltet Verbraucher permanent ein und aus.



# Grundlegende Design-Idee: Kochrezeptartig

## Störauskopplungen entstehen:

- Gemeinsame Nutzung von metallischen Bauteilen
    - Plane, wo Ströme fließen, welche Metallteile genutzt/verboten werden
    - Vermeide **Strom im PE/PA-System** (In allen Metallteilen)
    - Vermeide **Referenz auf das PE/PA System**
    - Strukturiere Design in **geometrische Zonen** – alles Metall
  - Elektrische Felder
    - Halte **mittlere Spannung** auf kleinem Volumen stabil
    - Metallische **Schirmung** relevanter Volumina
    - **Minimiere Nutz-Spannung/-strom** auf Gehäusen/Schirme
  - Magnetische Felder
    - Minimiere Größe der **Stromschleifen**:
    - Metallteile der **Infrastruktur sollten nur geplant Strom** rückführen – besser minimalen Strom
    - Begrenze Strom auf **geometrische Zonen**: Keine metallischen Verbindungen zwischen Zonen
- ➔ Für Signal und Stromversorgung



# Grundlegende Kopplungsmechanismen

## - Erster bedeutender Mechanismus in Anlagen

Gemeinsame Nutzung von Leitungen durch verschiedene Gewerke

### „Impedanz Kopplung“

Ein gemeinsamer Signalpfad verkoppelt die Systeme

Hier „Pink“ als Störer

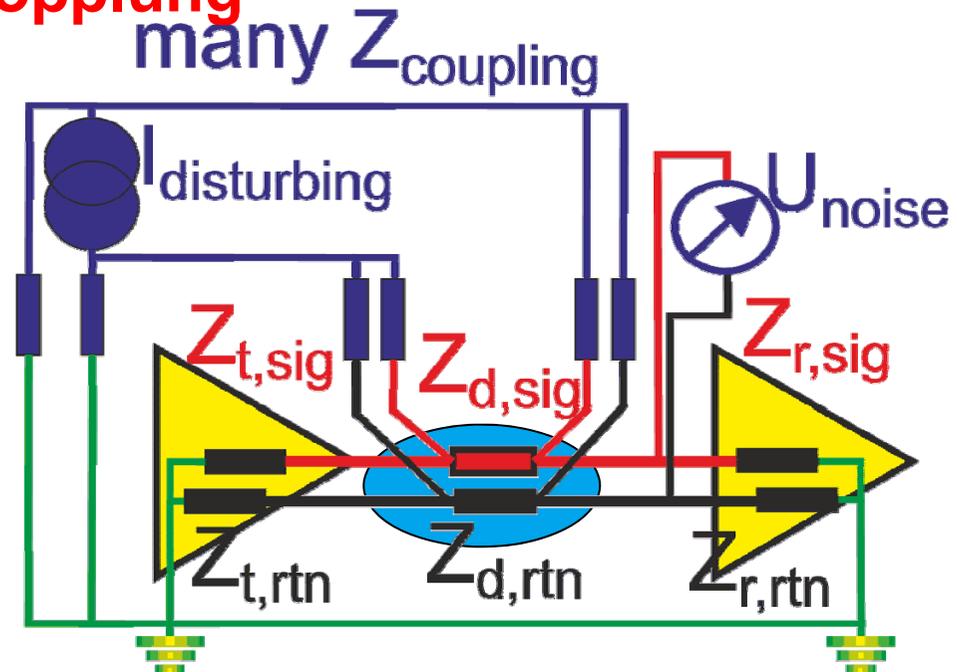
„Farben“ der Sensitive“

Kopplung unterschiedlich auf Hin- und Rückleiter

### Maßnahmen der Minimierung:

#### Elektronik/Elektrotechnik:

- Keine gemeinsamen asymmetrischen Pfade
- Keine gemeinsame Ein-/Auskopplung in Infrastruktur der Metalle
- **Differenzielle Signale**
  - Störung ist kleiner auf Infrastruktur
  - Empfindlichkeit ist kleiner auf Infrastruktur
- Geeignete Geräteauswahl
  - Videoverstärker, LVDS, RS422
  - twisted Pair Kabel, optisch



Nichts wird perfekt sein. Elektronik hat Grenzen.

Also immer auch damit rechnen, dass Teile des Signals alle Metallteile nutzen.

Alle Metall benutzenden Gewerke gefragt

- Zonen-Bildung

- Halte Ströme eines Gewerkes/Sensitivität in begrenzten Volumina

- Verzicht auf Metall bei Elektrotechnik: Keine Lösung



# Zonenkonzept: Grundidee

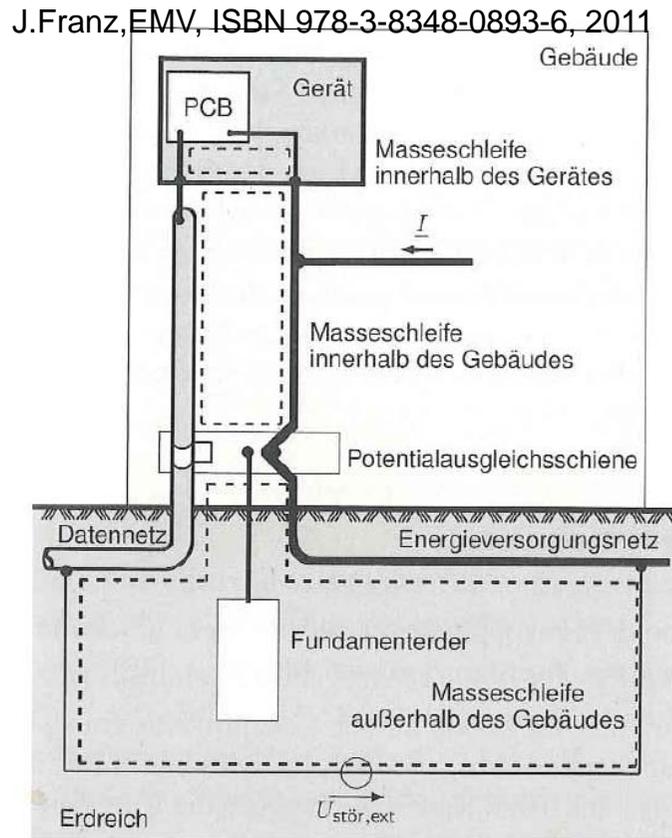
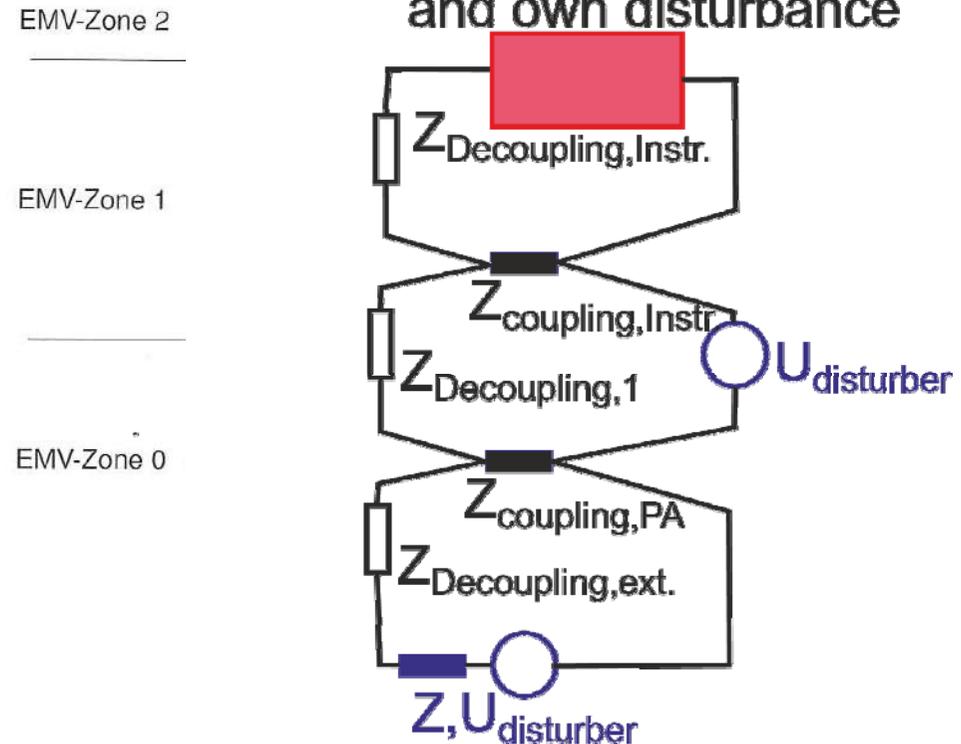


Bild 7.32: Masseschleifen in einer Anlage und ESB

Instrument  
with I,U,sensitivity  
and own disturbance



Verkopplung klein:  $Z_{\text{coupling}} \dots$

Entkopplung groß:  $Z_{\text{decoupling}} \dots$

Alle Metallteile werden NUR an einer Stelle  
an Zone angeschlossen

Entkopplung im Referenzsystem

nicht die Terminierung des differentiellen Signals

# Zonenkonzept: Umsetzung Leiterplatte

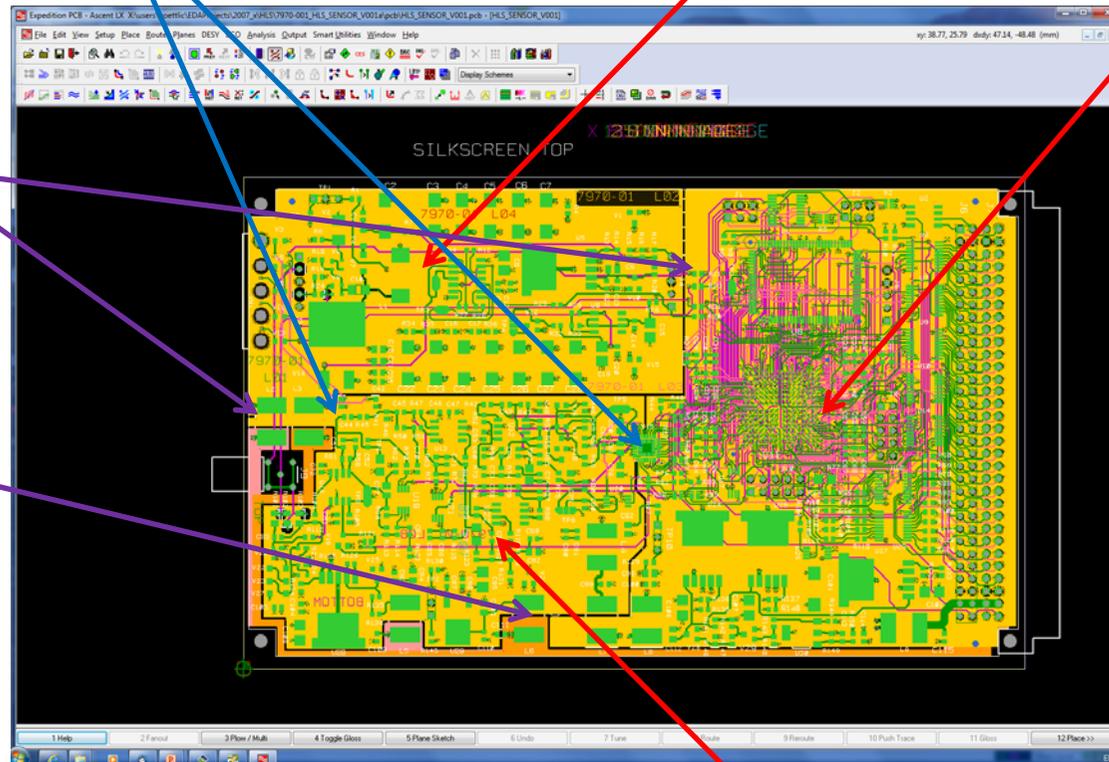
!!! Alle Leiterbahnen bleiben in der jeweils eigenen Zone!!!

Gewollte Kopplungen  
„KLEINE Stege“

ZONE: Analoger Pulser „100V“, 30ns

ZONE: Digital-Teil

Geplante  
andere  
Kopplungen  
„Hochohmige  
durch  
Widerstände  
oder Ferrite“



Auch hier ist nicht alles optimal  
Gräben für HF nicht wirklich nötig aber  
hilfreich für Niederfrequenz  
Auch ohne Gräben müssen Blöcke Inseln bilden

ZONE: Analoge-Auslese „milliVolt“, differentiell

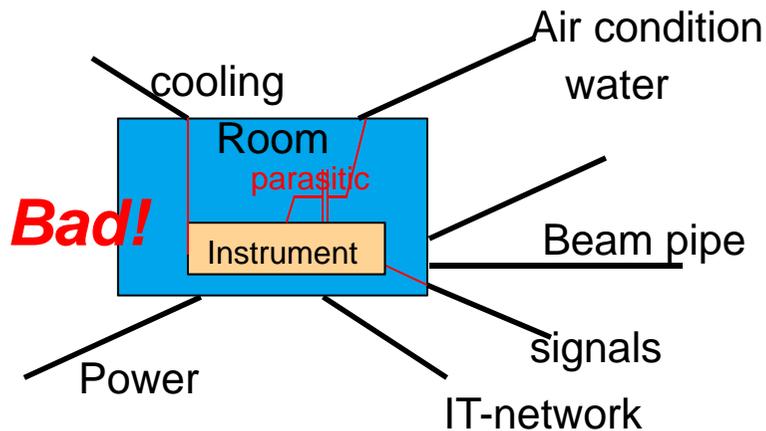
# Zonenkonzept: Anlage oder Messaufbau

## Minimize $Z_K$ : Plane alle Metallverbindungen

- Alle an einem Punkt/Fläche
- Danach größeren Distanzen wegen Übersprechen

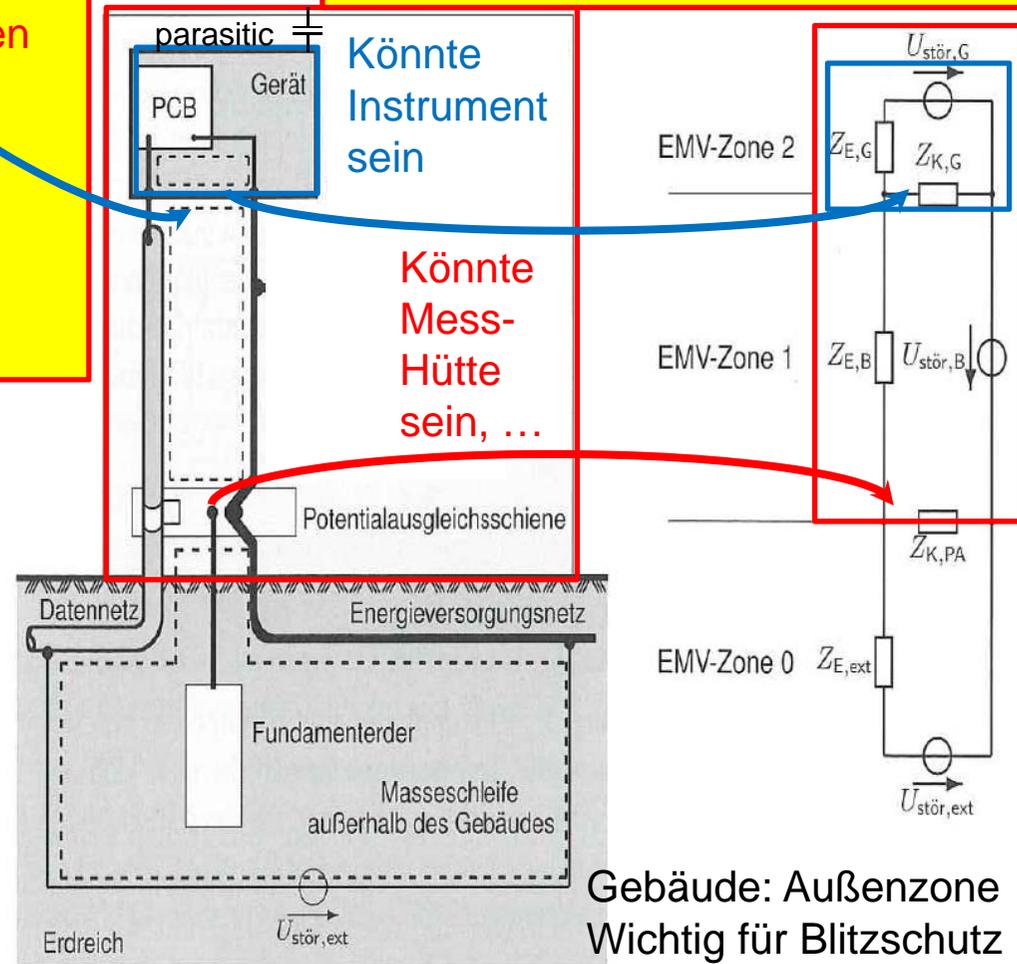
## Maximize $Z_E$

- Filter, Widerstände, Ferrite
- Besser am Zonen-Eingang



Schlecht, da Störungen durch ALLES durchlaufen:  
EMV, Blitz, Stromeinbrüche

Multiple zoning: "parasitic coupling"  
The hutch can already be a good shielding, if free of current



J. Franz, EMV, ISBN 978-3-8348-0893-6  
Bild 7.32: Masseschleifen in einer Anlage und ESB



# Zonenkonzept: Gerät oder Schrank

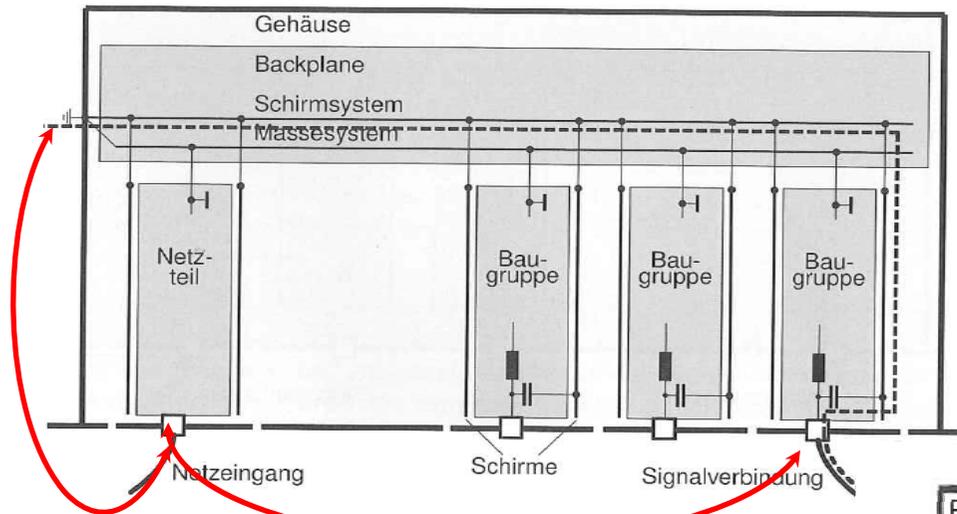


Bild 8.23: Falsch geplante Struktur eines Baugruppenträgers

Schlecht: Große koppelnde  $Z_K$

Remark:

- Far ends of groups are free antennas for E-Field ... see later

Kompromisse bedingen Performance-Einschränkung oder aufwendigere Maßnahmen

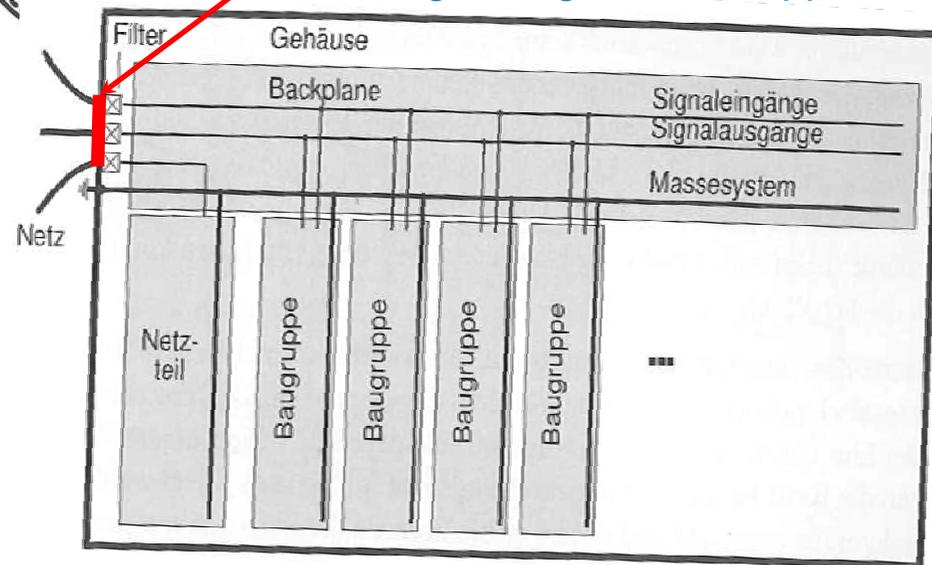
Aim: Small coupling  $Z_K$

Mehrere Zonen, die sich nur begrenzt beeinflussen:

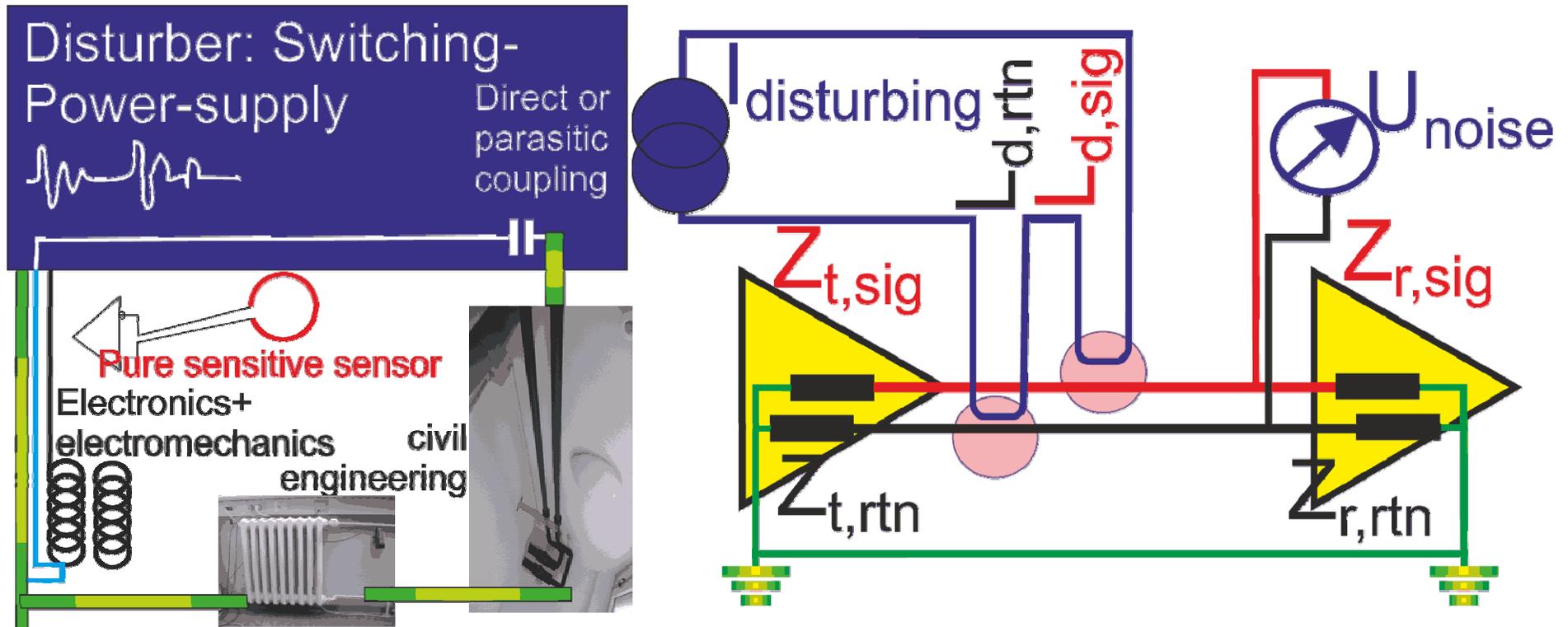
- Gehäuse
- Einzelne Gruppen

Gut, Kleine koppelnde  $Z_K$ ,

Filter geben große entkoppelnde  $Z_E$



# Magnetische Kopplung: Zweiter großer Mechanismus bei Anlagen



Magnetische Kopplung entsteht durch überlappende Stromschleifen.

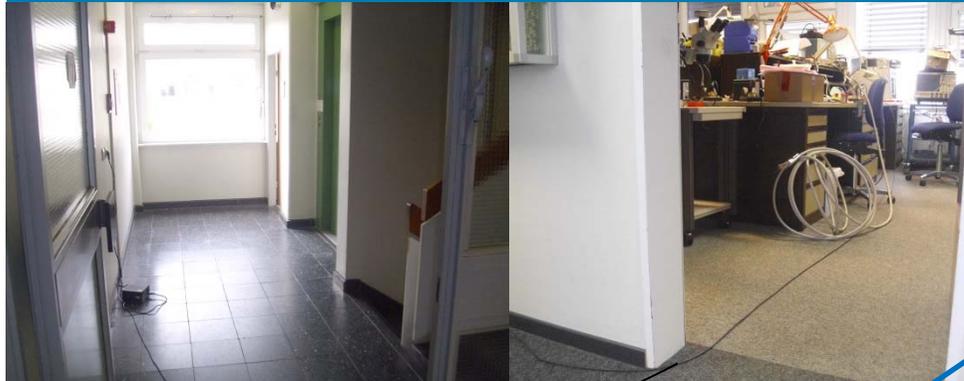
- Kaum schirmbar

Maßnahmen:

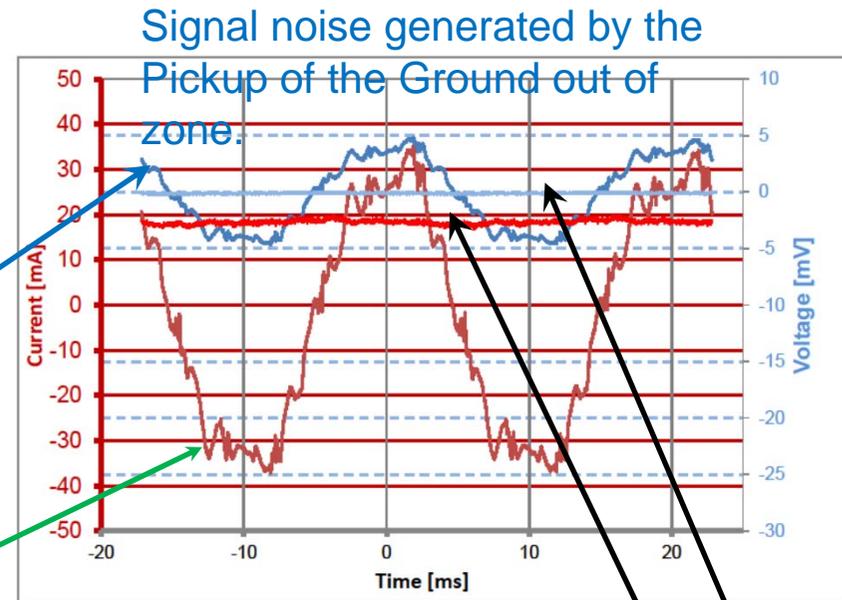
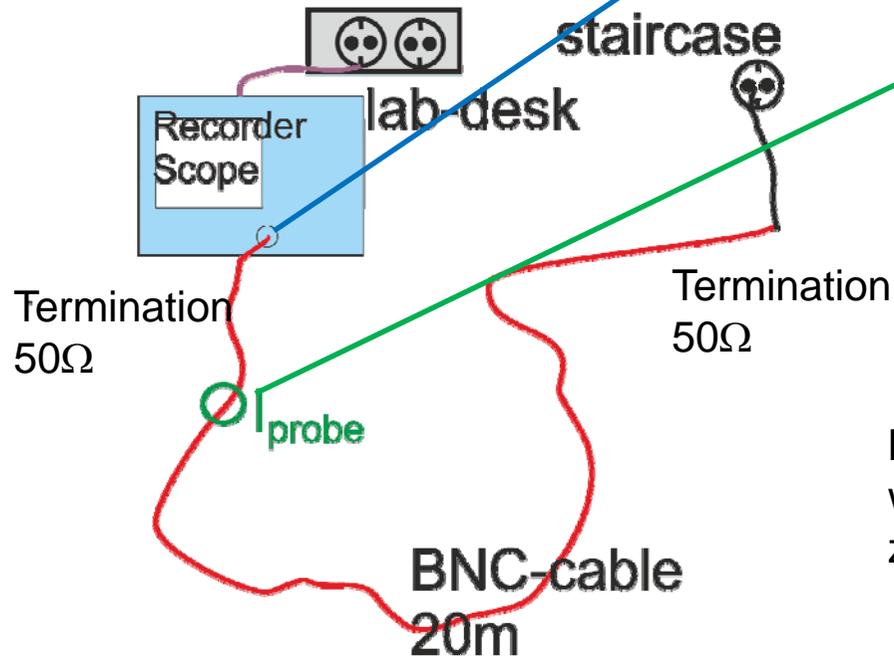
- Strom braucht gezielte Rückwege
- Es braucht Blockade anderer Wege: Isolatoren (Widerstände, Impedanzen)  
GND-Kabel, Schirme, Rohre, Träger, ....
- Geplante Zonenbildung ist sehr hilfreich

Sicherheit: Schutzleiteranschluss an geeigneter Stelle, aber nicht weglassen!

# Beispiel eines aufgeprägten großflächigen Stroms



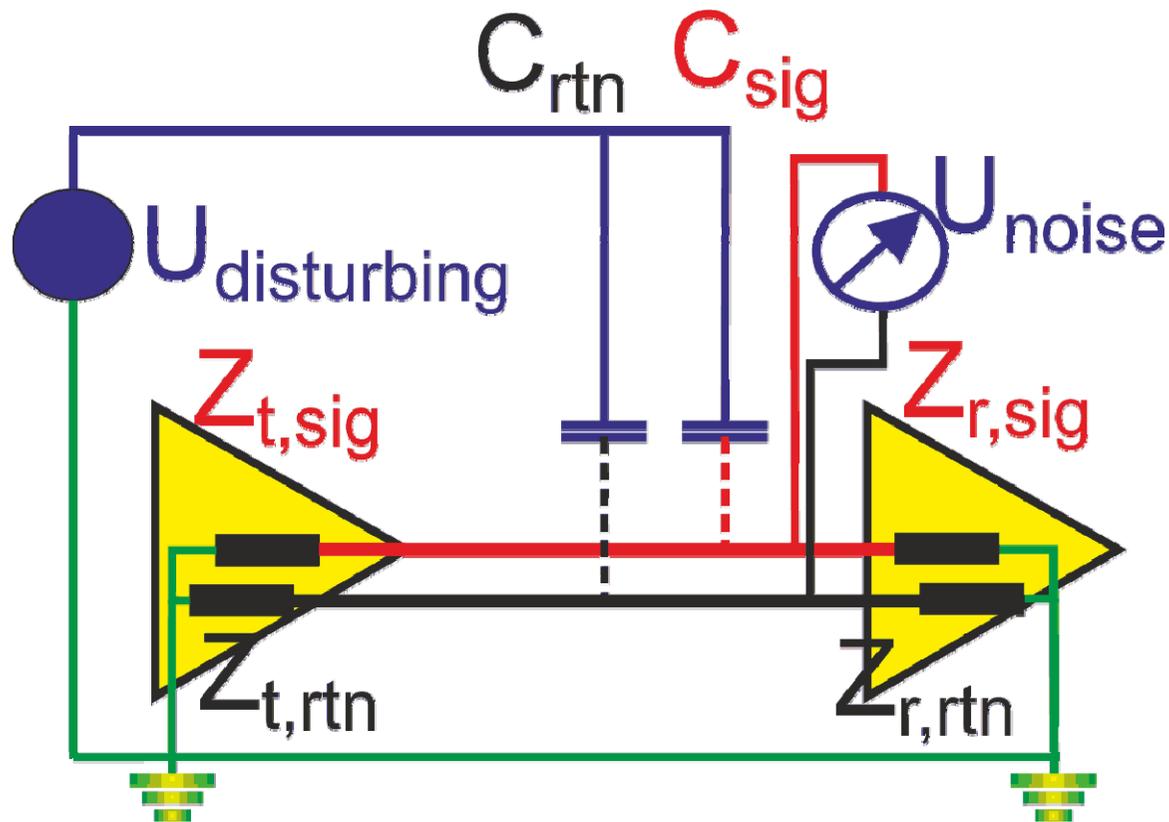
BNC cable and later power cable



Cross check, with same BNC cable  
But power from lab-desk and large  
Loop to BNC-cable

Bei externen Gutachten in anderen Gebäuden wurden Störströme im 20mA als zu groß deklariert.

# Kopplung elektrische Felder



Asymmetrische Kopplung auf Referenz und Signal.

## Maßnahmen:

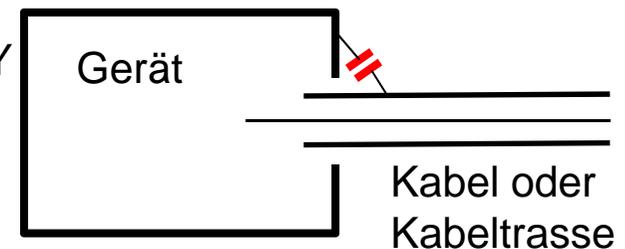
- **Differentiell** Signale haben kleinere Felder, Faktor 10.
- Elektrische Felder lassen sich einfach durch dünnes Metall **schirmen**.
- **Löcher** mit längster Dimension **kürzer** als Wellenlänge/10-ter
- Bei größeren Löchern 5 mal **tiefer** als Durchmesser
- Schirmungen müssen durchgehend geschlossen sein
- Metallgehäuse, Kabelschirme

**Kompromiss:** Zu Durchgehend geschlossen:

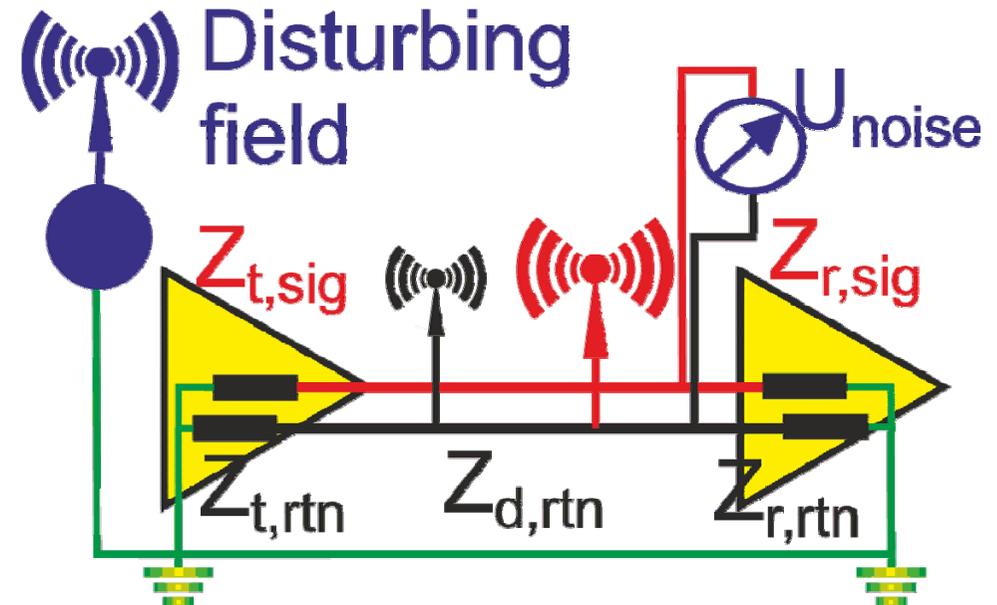
Nötig, wenn niederfrequente Ströme stören: Typisch am DESY

## Hybrid-GND System:

- Schirme werden nur per Kondensator verbunden
- Aber niederimpedant
- Feld innen oder außen ortsnah begrenzen: Ferrit, Widerstand
- HF nur noch „fast“ geschlossen, aber niederfrequente Ströme bleiben draußen



# Fernfelder: Das was typisch für Radio verwendet.....

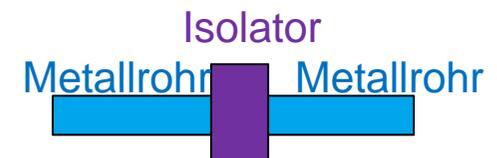


**Fernfeld** ist gemeinsames elektrisches und magnetisches Feld

- Typisch, wenn der Abstand zum Sender größer als Wellenlänge: 100MHz → 3m
- Taucht bei DESY typisch nicht als Problem bei Hochfrequenz auf, da hier gut geschirmt. Fernfeld lässt sich auch ähnlich gut wie elektrische Felder mit Metall schirmen.
- Aber auch entlang Kabelschirmen bauen sich bei mittleren Frequenzen Felder auf. 10m ist nicht wirklich kurz:  $\lambda/4$ -Antenne fuer 7.5MHz  
Vorsicht bei Triggersignalen in Coax-Kabeln → differentiell?

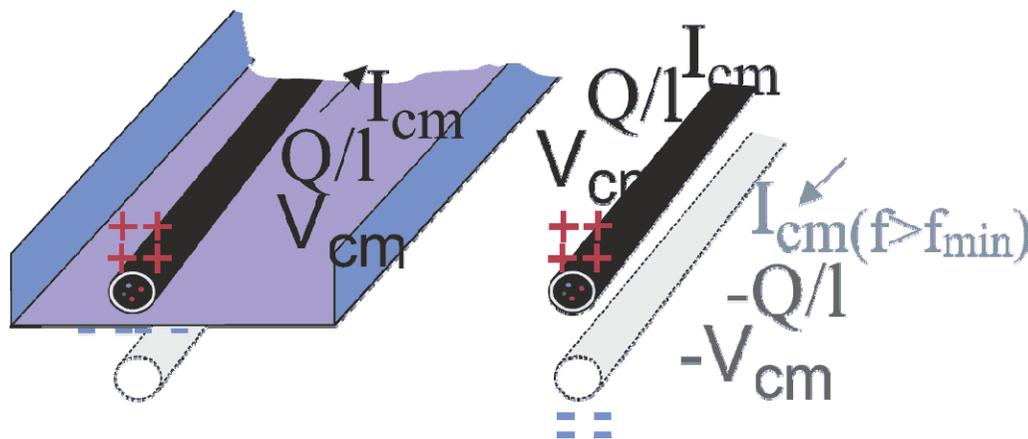
→ Jedes Metallteil, was an der Zonengrenze nicht angeschlossen wird, wird in der neuen Umgebung zum Sender

Deshalb an abgesprochener Stelle übergeben und anschließen oder isolierte Übergabe



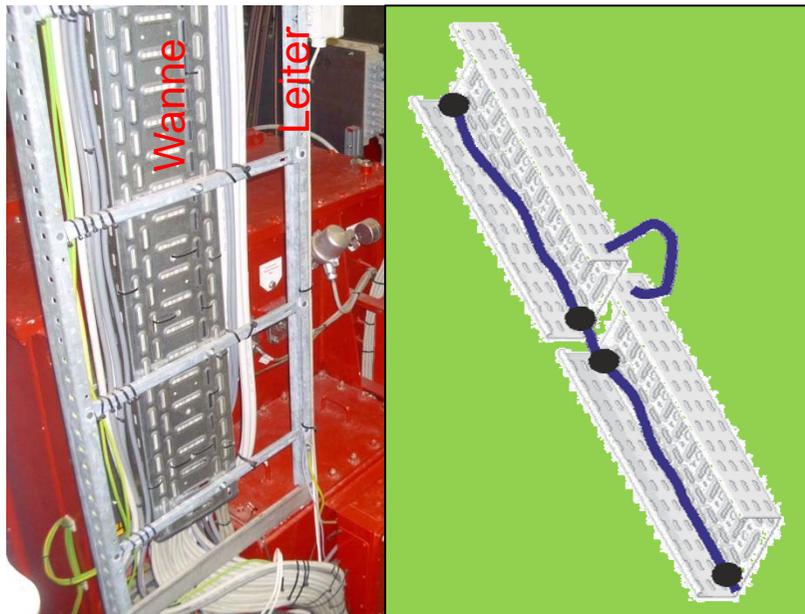
# Anlagenbau: Feldausbreitung und –aufbau vermeiden Elektrisch, magnetisch, Fern

Jedes Kabel gehört auf durchlaufende Metallfläche



Grund:

- Im Metall entsteht Spiegelladung
- Fließt als Spiegelstrom
- Aus Monopol wird Dipol
- Dipol wird zu Quadropol
- Gewinn Abschwächung um  $\frac{\text{Distanz: Kabel-Platte}}{\text{Abstand: Kabel-anderes Gewerk}}$
- Kaum Fernfeld
- Auch Schirme bauen über Länge Spannungen und Strom auf.



Konstruktive sind

- Metallwanne besser als Leitern
- Niederimpedante Verbindung nötig um Stromschleife des Spiegelstroms zu vermeiden
- Niederimpedante Verbindung zu Messhütte, Gerät
- Hybridground in Betracht ziehen

# Bauteile

DESY typische Firmen oder nur Beispiele, Es gibt auch andere, aber Bilder sprechen besser

## Elektromechnik

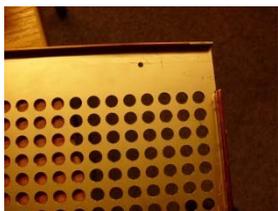
- Niederimpedante Einfügung in Gehäuse
- „Masse an Zonengrenze auflegen“



- EMV-Dichtungen für Gehäuse  
„Keine langen Löcher“



- Geschirmte Steckergehäuse  
Metall oder metallisiert
- Geschirmte Kabel: DESY-lager
- Gehäuse mit kleine Löchern



DESY-Lager  
(PBE-Elektronik)

## Elektronik

### Differentielle Signaltreiber

- Analog, LVDS, RS422
- Keine typische RF, RF in Coax bleibt im Schirm

### Low Ripple-Netzteile

- DESY Lager: „Low Emission“  
Kniehl
- PETRA-III: WIENER
- Multi-Channel ISEG/WIENER, CAEN
- Diverse Single-Kanal

### Filter-Elemente

- Besser Oszillation in Wärme als reflektieren

Ferrite, Common-mode, ....

ZE-VorzugslisteTyp:

5-Loch SMD Ferritperle WE-SUKW

Netzfilter: DESY Lager 25038



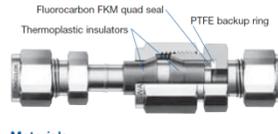
# Bauteile: Mechanik and SPS

DESY typische Firmen oder nur Beispiele, Es gibt auch andere, aber Bilder sprechen besser

## Isolatoren: Gas/Druck

Dielectric Fittings

Dielectric fittings isolate monitoring instruments from the effects of electrical current. Installed on impulse lines ahead of monitoring stations in natural gas pipelines, the fittings interrupt cathodic current flow while permitting full fluid flow. The fitting design is unique in that it separates the two primary functions of electrical insulation and fluid containment. Thermoplastic insulators provide high dielectric strength over a wide range of operating and climatic conditions. A fluorocarbon FKM quad seal contained in the fitting provides the primary fluid seal.



## Vakuum und Druck



Ceramaseal®

## Wasser: Schlauch

Fast alle **Feldbusse** gibt es auch optisch

Hier PROFIBUS für SPS  
eks Engel GmbH & Co. KG



CAN-bus  
EMS Dr. Thomas Wünsche e.K.



LAN  
<http://shop.fiber24.net/index.php/de/1000Base-LX-LH>  
-Singlemode-10km-1310nm-SFP-Transceiver/c  
-SFP-SM-1310/a-F24-CI-GLC-LH-SM



# Messtechnik für Anlage

DESY typische Firmen oder nur Beispiele, Es gibt auch andere, aber Bilder sprechen besser

## Design entscheidend ist oft die Kontrolle des Stroms:

- **Stromzangen** von DC bis > 100 MHz



Tektronix



LeCroy  
Teledyne



KeySight  
Agilent

- **Rogowkskispulen**



WAGO-GmbH

## Feldsonden



ETS-Lingren

# Abschluss

- EMV im Anlagenbau beruht auf gezielter geplanter Stromführung, Stabilität der mittlere Spannung im Kabel/Kabelmantel Berücksichtigung, dass kein Gerät oder Kabel oder ... perfekt ist
- Stromführung bedingt **durch alle Metall einsetzenden Gewerke**

**Meine Kontakt-Daten** haben Sie ... mehr Vorträge auf WWW-Seite, FEB, Support, ...  
[https://wof-cluster.desy.de/sites/site\\_fe/content/feb](https://wof-cluster.desy.de/sites/site_fe/content/feb)

Wir haben Messtechnik

**DESY-ZE** hat Messtechnik und organisiert Zertifizierung

**Bücher, mit denen ich öfters arbeite**

J.Franz, EMV, ISBN 978-3-8348-0893-6

H.W.Ott, Electromagnetic Compatibility, ISBN 978-0-470-18930-6

**Details und Workshops** auf EMV-Messe: <http://www.mesago.de/de/EMV/home.htm>

Teuer, muss von Idealität auf DESY Randbedingungen gebracht werden.

**Talk zu Energieversorgung** auf 104. SEI-Tagung 2013 :

“Magnetische Felder in Gebäuden”, J.Burmester, HZG Geesthacht

**Talk zu High-Speed-Design** auf der 105. SEI-Tagung 2014

„Mythen des PCB-Designs digitaler High Speed Signale“, R.Ganss, B1-Eng.-GmbH

Über <http://sei.desy.de/> und aktuellste Tagungen

