

Referat

«EMV aus der Praxis / Nutzen; Wichtiges aus der NISV»

Luca Wachter

ARNOLD Engineering und Beratung AG

Elektro-Ing. für EMV und Messtechnik

EMV – Grundsatz

Die **Elektro-Magnetische Verträglichkeit (EMV)**
ist die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung (Bauelement, Baugruppe,
Gerät, Anlage)
in einer vorgegebenen elektromagnetischen Umgebung (Störeinwirkungen)
in beabsichtigter Weise zu arbeiten,
ohne dabei diese durch elektromagnetische Wirkungen in unzumutbarer
Weise zu beeinflussen.

Definierung nach 89/336/EG

EMV - Argumente

- Steigende Gerätedichte
 - Zunehmende Empfindlichkeit der Geräte
 - Intensivere Vernetzung der Systeme
 - Gesetzliche Vorgaben
-
- Ausgewogene EMV-Massnahmen erhöhen die Funktionssicherheit und reduzieren die Betriebsstörungen / Ausfallrate

Beispiele von Störquellen:

- Schaltgeräte für induktive Lasten
- Schaltgeräte für kapazitive Lasten
- Maschinen mit Funkenerzeugung
- Gleichrichter, Wechselrichter
- Frequenzumrichter
- Schaltnetzteile, EVG
- Transformatoren
- Elektromotoren

Beispiele von Störsenken:

- Audiosysteme, Videosysteme
- Sensoren und ihre Signalkabel
- Kommunikationssysteme
- SPS, Leitsysteme
- Smart Meter
- Schaltnetzteile, EVG
- Transformatoren (MS-NS)

Normen, Vorgaben für:

- Störfestigkeit
- Störaussendung
- Erdung und Potenzialausgleich in Gebäuden mit IT Einrichtungen
- Installation von Kommunikationsverkabelung
- Fundamenterder
- Grenzwerte für Abweichungen von der 50-Hz-Sinusform –
speziell: „Merkmale der Spannung“ / „Oberschwingungen“ /
„**Supraharmonische**“ (Emissions-GW noch pendent)
- Elektrische Installationen (Installationstechnik)

EMV in der NIN 2020

Einige wichtige Vorgaben:

Alle elektrischen Betriebsmittel **müssen** den einschlägigen Anforderungen der EMV entsprechen und mit den entsprechenden Normen übereinstimmen (3.3.2). Im Wesentlichen werden zwei Aspekte genannt:

- Massnahmen gegen elektromagnetische Einflüsse
- Massnahmen zur Reduzierung elektromagnetischer Störungen

Im Kapitel 4.4.4 «Massnahmen gegen elektromagnetische Einflüsse» werden genannt:

- Nur elektrische Betriebsmittel einsetzen welche die EMV-Anforderungen erfüllen

Planer und Errichter der elektrischen Anlagen **müssen** die Massnahmen zur Reduzierung der elektrischen und magnetischen Störungen berücksichtigen. Folgende Massnahmen reduzieren elektromagnetische Störungen (4.4.4.4.2):

- Installation von Überspannungsableitern
- Verbinden von leitfähigen Mänteln von Kabeln mit dem Potenzialausgleich
- Vermeiden von Induktionsschleifen durch gemeinsame Verlegung von Kabeln und Leitungen der Stromversorgung-, Signal- und Datenübertragung
- Verwendung von Kabeln mit konzentrischen Leitern
- Verwendung von symmetrischen Mehraderkabeln und -leitungen (z.B. geschirmte Kabel) für Umrichter und Motoren bei frequenzgesteuerten Antrieben
- Trennungsabstand zu Blitzschutzsystem einhalten

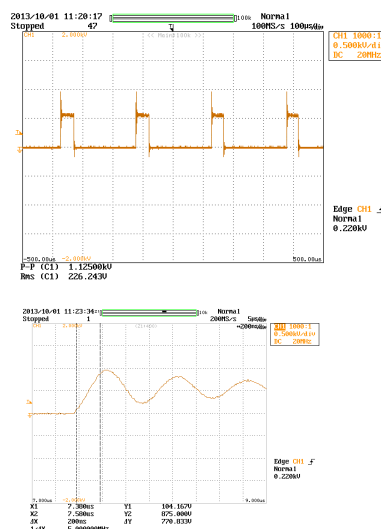
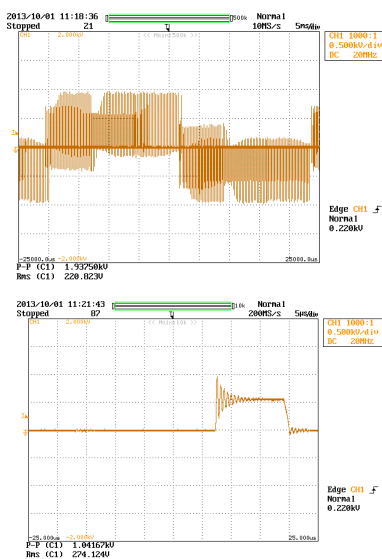
Störquelle: Frequenzumrichter

- Sehr schnelle Spannungsänderungen am ungefilterten Ausgang
- Überkopplung von hochfrequenten Störströmen im **MHz-Bereich** auf benachbarte metallene Strukturen, wenn Motorkabelschirmung und/oder Filterung mangelhaft
- Emission von hohen Störspannungen im MHz-Bereich
- Netzurückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzurückwirkungen durch hochfrequente Emission im Bereich bis 100 kHz (Taktfrequenz und deren Harmonische)
- Erhöhte Ableitströme in Abhängigkeit der Filter

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

9

9



Frequenzumrichter: Spannungen an Motoranschlussklemmen

FU, Motorkabel: schnelle
Spannungsänderungen

Steilheit: 3.8 kV/μs;

Res.frequenz: ~1.6 MHz

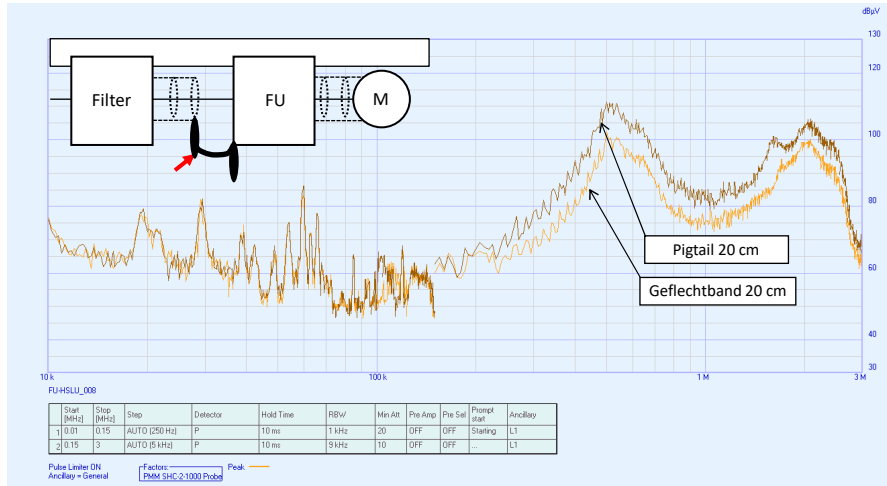
→ fließen im PE, PA !

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

10

10

Messresultate aus Versuchen mit FU



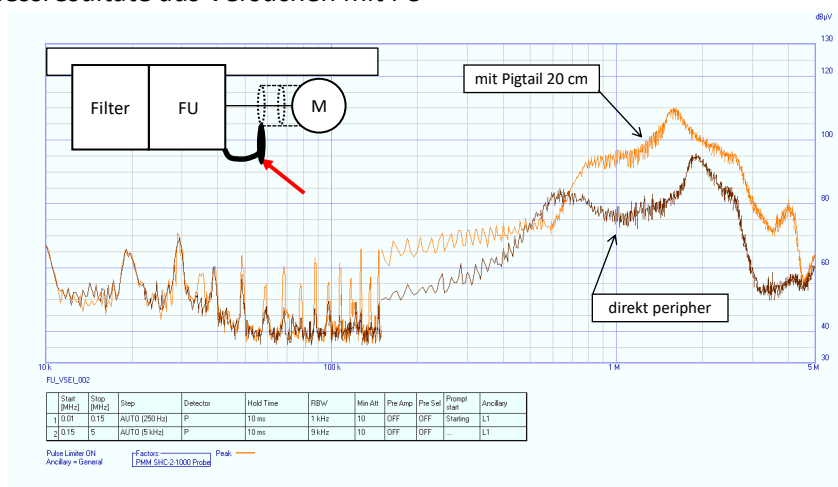
Kontaktierung des Filtergehäuses mit „Pigtail“ oder durch Geflechtband

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

11

11

Messresultate aus Versuchen mit FU



Kontaktierung des Motorkabelschirms mit „Pigtail“ oder direkt peripher an FU-Gehäuse

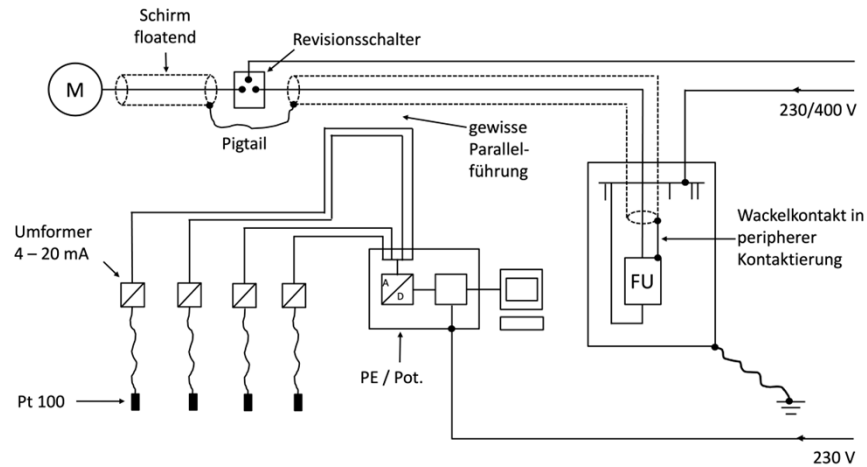
niederimpedante Verbindungen anstreben !

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

12

12

Störfall Temperaturmesssystem



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

13

13

Feststellungen, Ursachen:

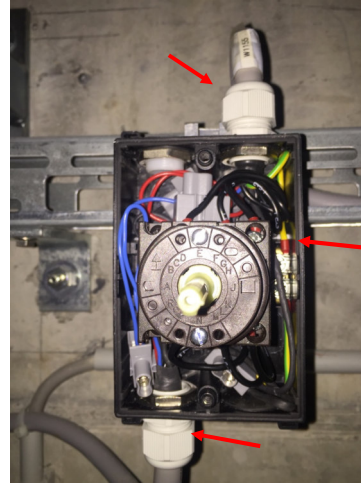
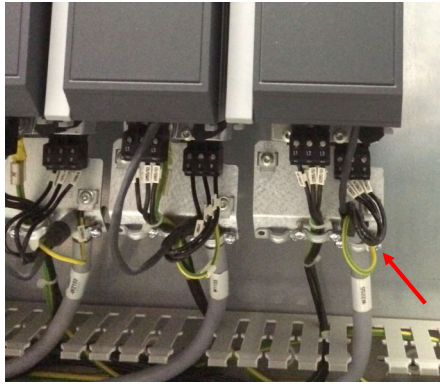
- Kabelschirm mit schlechter Kontaktierung (hatte sich gelockert)
- Parallelführung von Motor- und Signalkabel
- Kabelschirm bei Revisionsschalter nicht flächig durchverbunden (Pigtail)
- Störeinkopplung in 4-20-mA-Signal im FU-typischen Störfrequenzbereich

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

14

14

Problemstellen FU

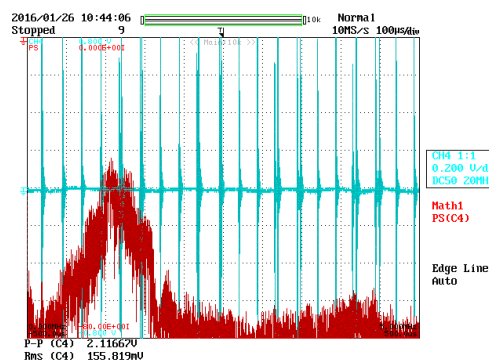


Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

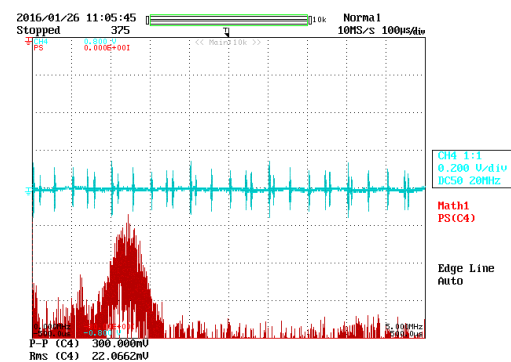
15

15

Messungen



Wackelkontakt – schlechte Kontaktierung des Motorkabelschirms von FU



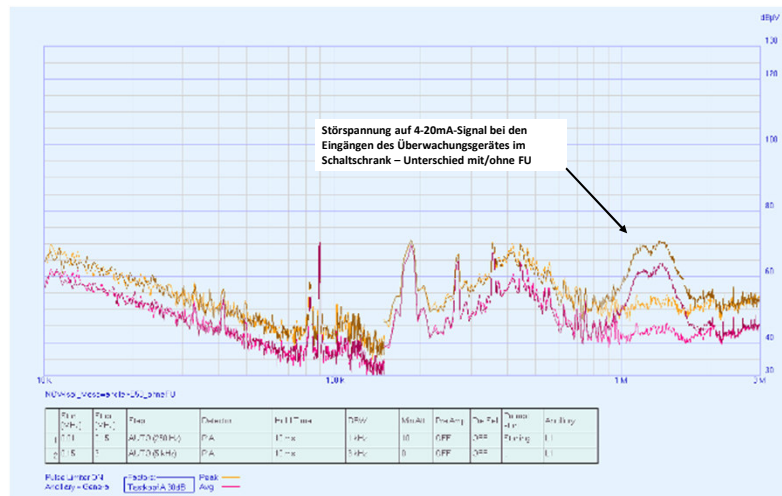
gute Kontaktierung des Motorkabelschirms von FU hergestellt, aber immer noch kleinere Schwachstellen betr. Motorkabel vorhanden

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

16

16

Störspannung auf 4-20mA-Signalleitung

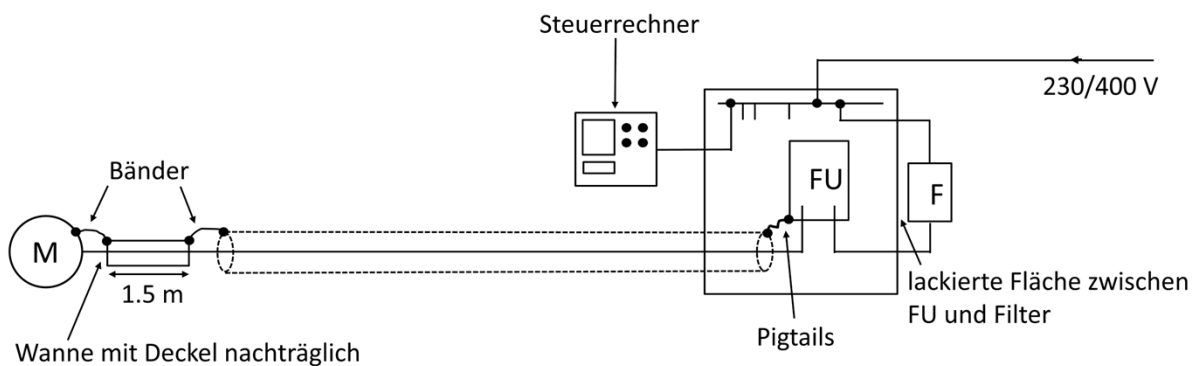


Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

17

17

Störfall Industriemaschine / FU



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

18

18

Feststellungen, Ursachen:

- Der Motorkabelschirm war auf ca. 1.5 m unterbrochen. Er wurde durch einen CU-Leiter überbrückt
- Mangelhafte Kontaktflächen beim Filtergehäuse
- Lange Anschlussleitungen (Pigtails) beim FU

Durchgeführte Messungen zeigten:

- Störströme im Frequenzbereich bis 3 MHz, die vom Motorkabel ausgekoppelt werden
- HF-Störströme im Schutzleiter zum FU

Schirmanschluss bei FU nicht grossflächig (Pigtails)



Mangelhafte Kontaktierung Filter mit FU: Lack nicht entfernt



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

21

21

Grossflächige Kontaktierung FU und Filter: Lack entfernt

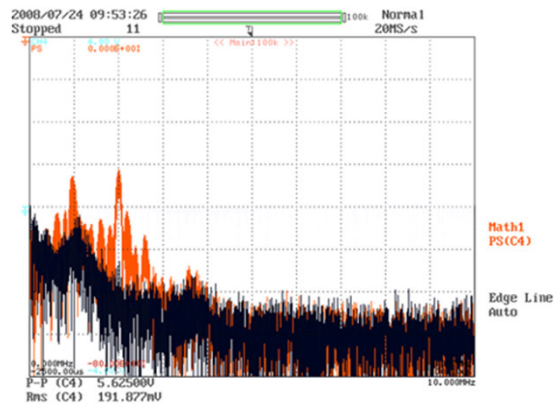


Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

22

22

Störpegelmessungen vor (orange) und nach (schwarz) den Massnahmen



23

Problemfälle in der Praxis betr. Sensoren, Signalverarbeitungssysteme:

- Kleine Nutzsignalpegel können besonders beeinflusst werden, wenn installationstechnische Schwachstellen vorhanden sind
- Leiterschleifenbildung mit Beteiligung von Nutzsignalkabeln; insbesondere sind Verbindungen über Astenden sehr problematisch
- Stromflüsse durch geschirmte Leitungen und deren Endgeräte
- Unklare Störemissionen und Störfestigkeiten **im eingebauten Zustand im elektromagnetischen Umfeld** – insbesondere auch im Bereich bis 150 kHz (ab 150 kHz klarer normiert)

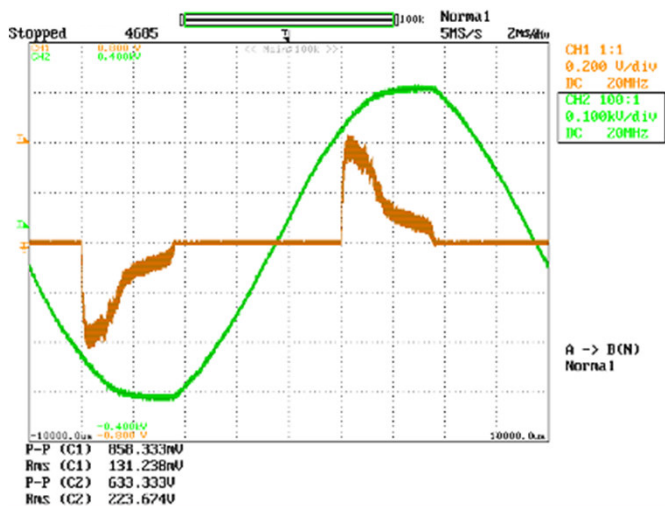
24

Störquelle Photovoltaikanlagen:

- Netzurückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzurückwirkungen durch hochfrequente Emission bis in den Bereich 150 kHz (einschliesslich DC)
- Hohe Störpegel insbesondere bis 20 kHz (Taktfrequenz und deren Harmonische mit tiefer Ordnungszahl)
- Störpegel von einigen V möglich, wodurch Störungen zu erwarten sind
- Je weiter man sich vom Einspeisepunkt wegbewegt, desto geringer werden die Störpegel

Störquelle Schaltnetzteile:

- Netzurückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzurückwirkungen durch hochfrequente Emission bis in den MHz-Bereich (teilweise sehr steile Flanken und sehr schnelle Taktungen)
- Bei Häufung baugleicher Netzteile mit aktiven PFC-Elementen treten Überlagerungen auf, die mit zunehmender Anzahl Netzteile anwachsen
- Sind mehrere Netzteile mit aktiven PFC-Elementen parallel geschaltet, sind die einzelnen Störströme erhöht, wogegen in Richtung Netz im **Zusammenwirken** eine dämpfende Wirkung entsteht

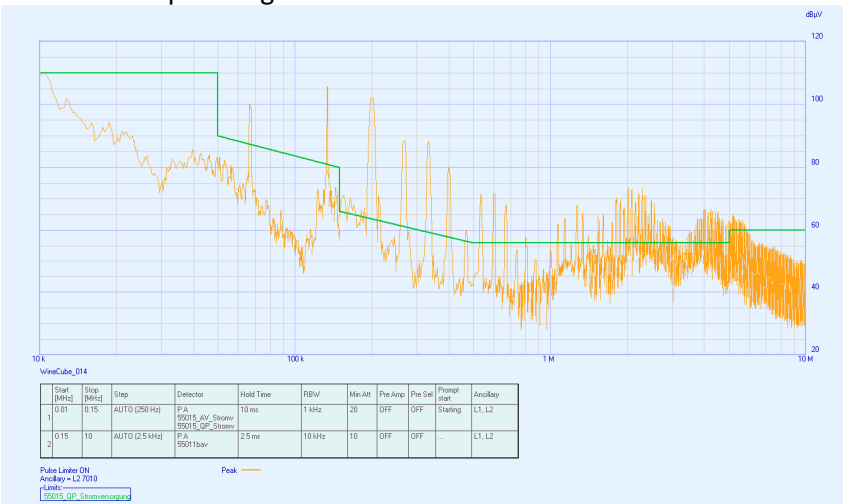


Stromaufnahme EVG

Oberschwingungen und
überlagerte HF

27

Schaltnetzteil – HF-Störspannungs-Emission bis 10 MHz



28

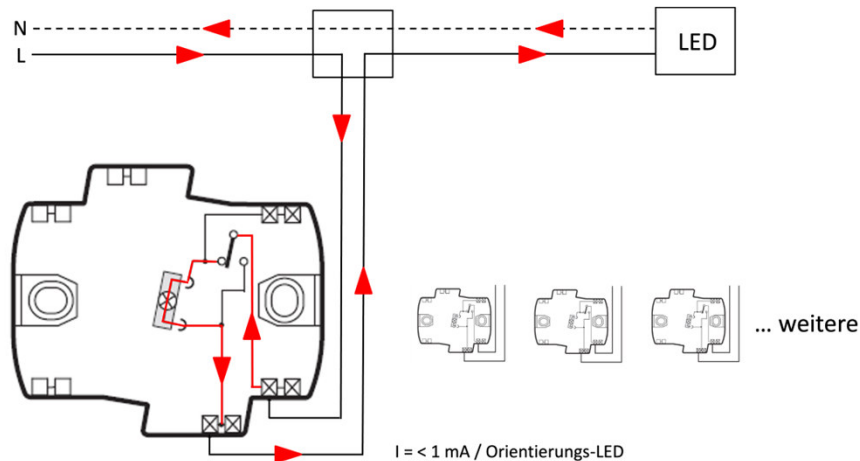
Problemfälle aus in der Praxis betr. Schaltnetzteile, EVG:

- Benachbarte Schaltnetzteile bewirken eine Erhöhung der hochfrequenten Emissionen und Stromflüsse (Stress)
- Eine grosse Zahl von parallel betriebenen Schaltnetzteilen hat eine hohe Saugwirkung auf die eigenen hochfrequenten Emissionen, sodass das speisende Netz von den Taktfrequenz bedingten Emissionen u.U. fast nichts sieht
- Die eingebauten Kondensatoren haben eine begrenzte Spannungsfestigkeit. Spannungsanstiege von $>1 \text{ kV}/\mu\text{s}$ können die üblichen (Billig-)Kondensatoren beschädigen

Störquelle Lampen, EVG:

- Netzurückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzurückwirkungen durch hochfrequente Emission bis in den MHz-Bereich
- Es treten hochfrequente Interaktionen zwischen parallel geschalteten EVG auf: HF-Stromflüsse zwischen den EVG – **in den UV unsichtbar!**
- Bei Lampen ist die Frequenzbandbreite der hochfrequenten Emission abhängig von der Grösse der eingebauten Elektronik (Kondensatoren!)
- Die Sekundärseiten von AC/DC EVG (z.B. für LED-Lampen) weisen höhere Störpegel auf

Störfall blinkende LED

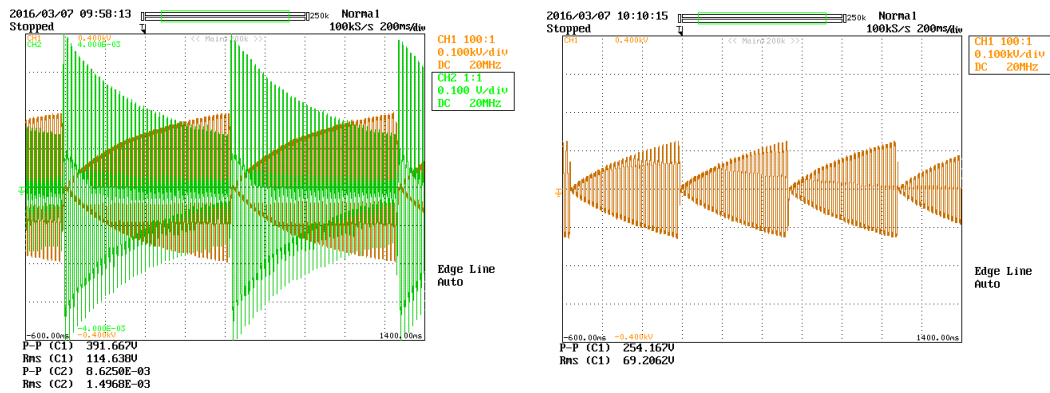


Feststellungen, Ursachen:

- Halogenleuchten wurden durch LED-Leuchten ausgetauscht
- Die Orientierungsschalter sind in einer Schema 6 Schaltung angeordnet
- Im ausgeschalteten Zustand blinken die LED-Leuchten

Durchgeführte Messungen zeigten:

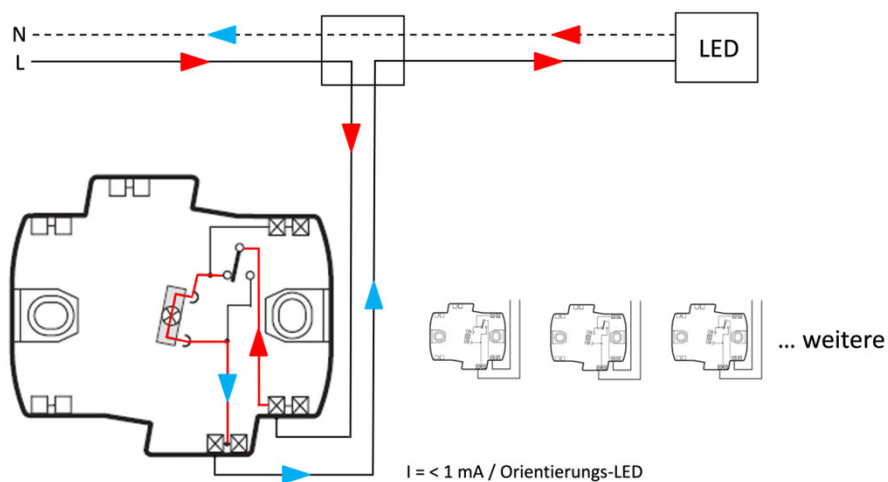
- Über die Orientierungsleuchten in den Schaltern werden die Kondensatoren in den LED-Leuchten geladen ($I < 1 \text{ mA}$). Beim Entladevorgang blinken die LED-Leuchten.



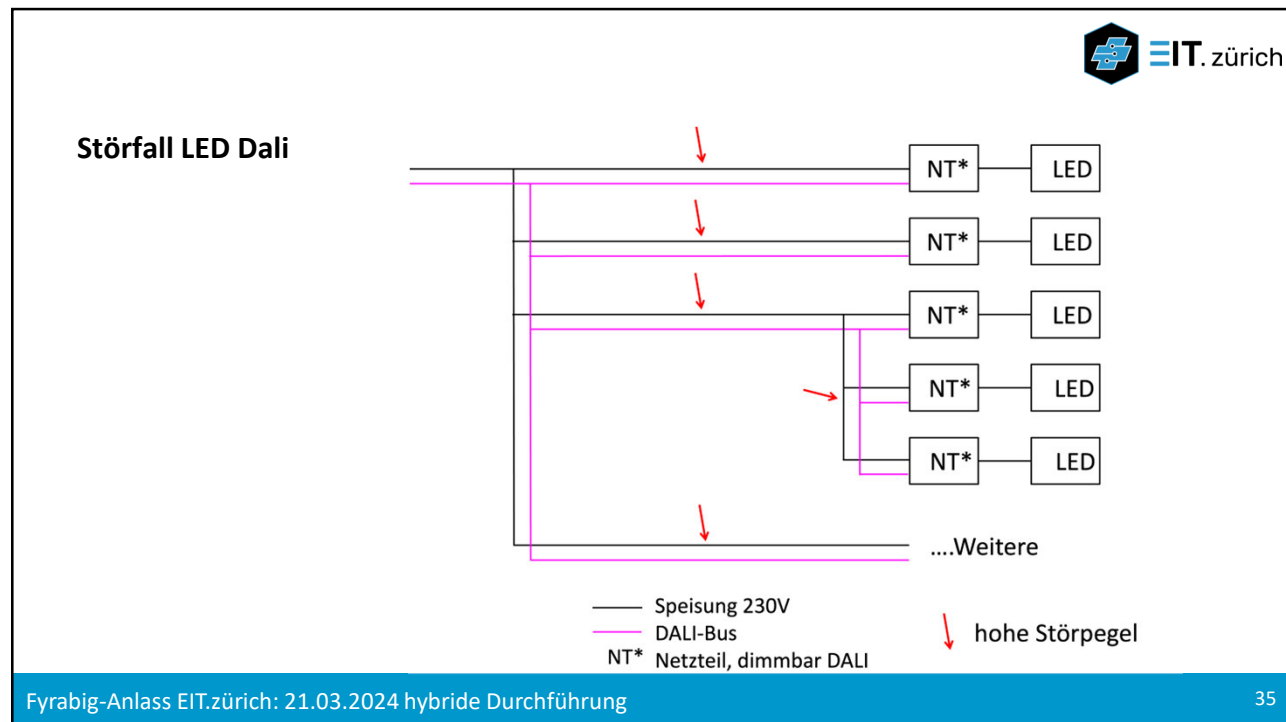
Messungen von Strom (grün) und Spannung (orange) der blinkenden LED-Lampe. Die Stromflüsse durch die LED der Orientierungslampen laden die Kondensatoren der LED-Lampen soweit auf bis die LED-Lampen zu leuchten beginnen.

33


Lösung Störfall blinkende LED



34



35



Feststellungen, Ursachen:

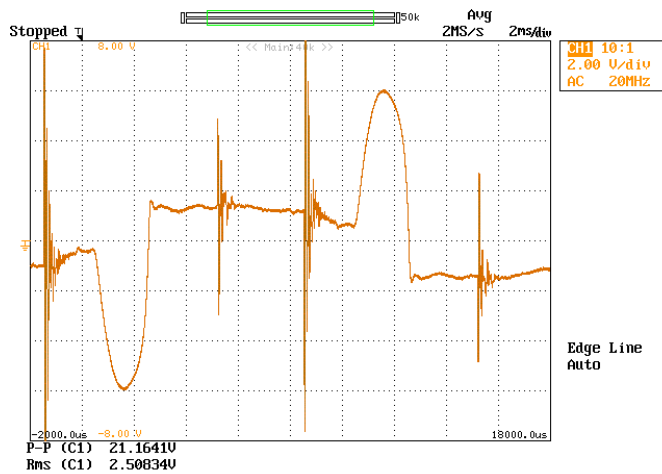
- Einzelne LED-Lampen schalten nicht aus oder lassen sich nicht dimmen
- Lange Zuleitung
- Störpegel leistungsabhängig (maximale Helligkeit verursacht die höchsten Störpegel)
- Hohe Emissionen der Vorschaltgeräte im Bereich 10 kHz – 1 MHz
- Die Störspannungen im Frequenzbereich bis 500 kHz lagen bei ca. 1 V (120 dBμV)

Die DALI-Netzteile wurden durch ein anderes Fabrikat ersetzt
 (das ursprünglich eingebaute Netzteil war in CH nicht lieferbar)

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

36

36



Zuleitung auf Tableau – Dimmaktoren:

Fehler:

Anschnitt- statt Abschnittdimmer

steile Strompulse verursacht durch
mehrere Dimmer

Edge Line
Auto

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

37

37

Erdung ~~≠~~ Erdung

Unterschiedliche Funktionen:

- Personenschutz
- Blitzteilstromableitpfad
- Potenzialausgleich
- Signalreferenzmasse
- Schirmung

Probleme durch Vermischen der Funktionen:

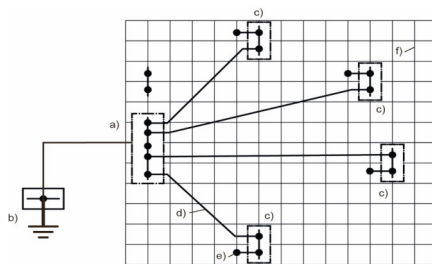
- Schutzterde als Störstromableitpfad missbraucht
- Potenzialausgleich als Signalreferenzmasse benutzt
- Schirm als Potenzialausgleich missbraucht
- usw.

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

38

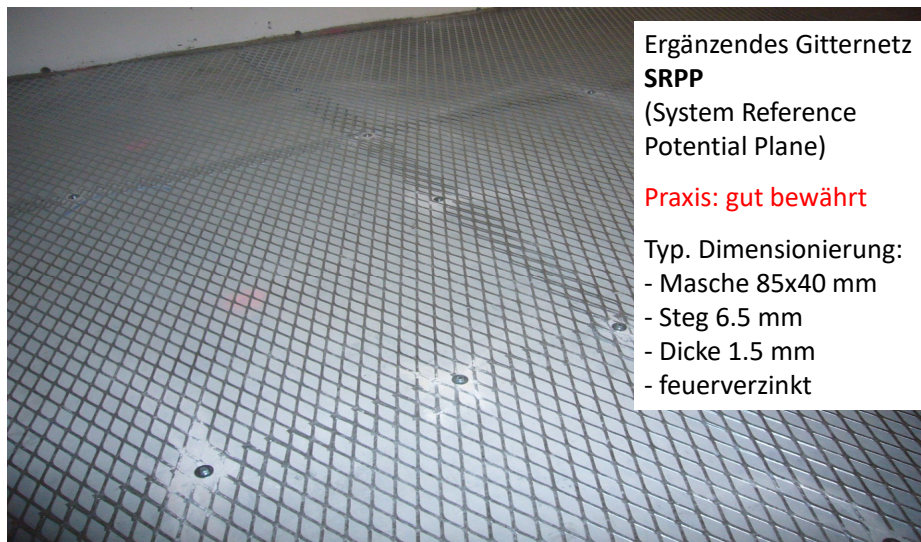
38

Beispiel einer vermaschten Potenzialausgleichsanlage mit sternförmigem Netz
(NIN Fig. .4.4.4.5.3.4.1):



- a) Verteiler
 - b) Haupterdungsschiene
 - c) El. Verbrauchsmittel
 - d) Verbindungsleiter
 - e) Funktionspotenzialausgleichsleiter
 - f) **Masche**
- Praxis: Bewehrung für Maschen mitbenutzt

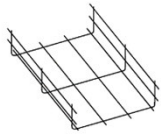
...und bei einem Holzbau? Keine Bewehrungsstruktur! Zonenübergang?



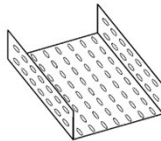
Ergänzendes Gitternetz
SRPP
(System Reference
Potential Plane)

Praxis: gut bewährt

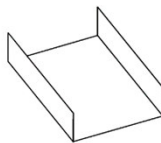
Typ. Dimensionierung:
 - Masche 85x40 mm
 - Steg 6.5 mm
 - Dicke 1.5 mm
 - feuerverzinkt



Keine EMV-Eigenschaften



geeignet



optimal

EMV-Eigenschaften von metallenen Kabeltragsystemen

Plastifizierte Kabelverlegesysteme gewährleisten keine EMV-tauglichen Verbindungen der Tragsystemeinheiten. Der Potenzialausgleich kann nicht gemäss NIN Art. 5.4.3.2.3; B+E erfüllt werden.

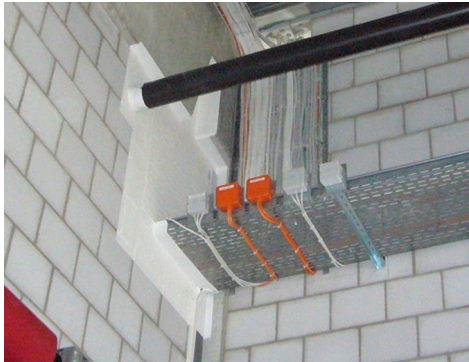
Praxis: leider erste Wahl!



- Grossflächige Verbindungen

Guter Kompromiss

Verbindung verschraubt mit Verbindungsblech



- Grossflächige Verbindungen

Optimal

Verbindung durch
Brandschottung mit ganzem
Kanalquerschnitt

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

43

43



- Grossflächige Verbindungen

Optimal

Verbindung auf Schrankeinheit
mit ganzem Kanalquerschnitt

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

44

44

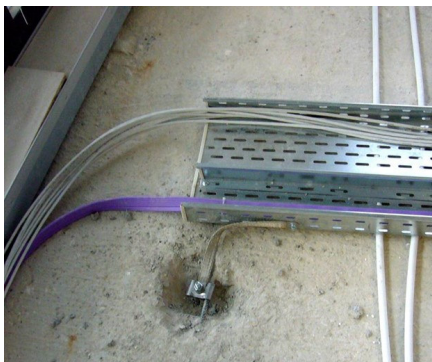


- Getrennte Verlegung von Stromkreisen
- Trassen als Bestandteil des Potenzialausgleichs

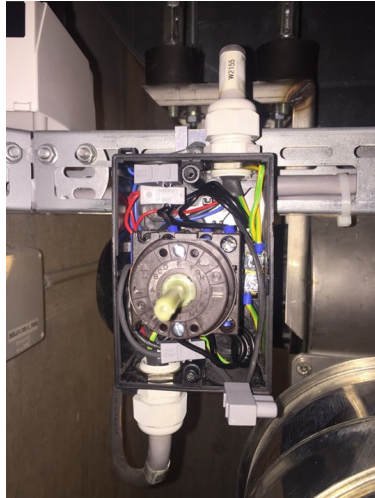
Optimal

Getrennte Trassen für Starkstrom, Schwachstrom, Informationstechnik

- Grossflächige Verbindungen



Nachträglicher Anschluss an Bewehrung mit verzinnem Cu-Band (Verbindungen so kurz wie möglich)



Schlechtes Beispiel FU:

Bei einem Revisionsschalter wird der Motorkabelschirm unterbrochen und nicht flächig durchverbunden.

Massnahmen: Blech hinten herum, sowie zwei EMV-Verschraubungen nachrüsten



- Kabelschirme bei Schaltern grossflächig durchführen

Schirmanschluss mit EMV-Verschraubungen und Kontaktplatte aussen

- Kabelschirme bei Schaltern grossflächig durchführen



Schirmanschluss mit EMV-Verschraubungen und Kontaktplatte innen

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

49

49

IST Beispiel 2 (falsch)

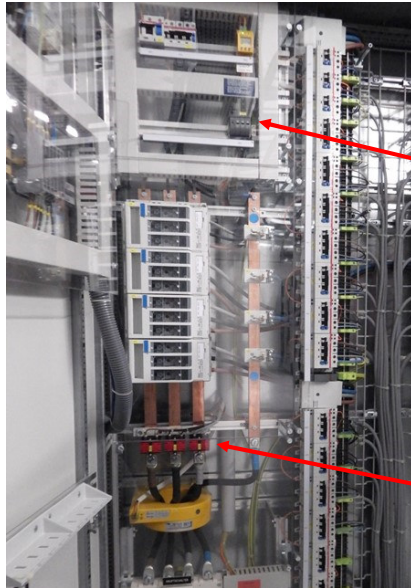
Zuleitung auf den
Überspannungsableiter mit
Reserveschleife ca. 2 m
verlegt!



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

50

50



schlechtes Beispiel

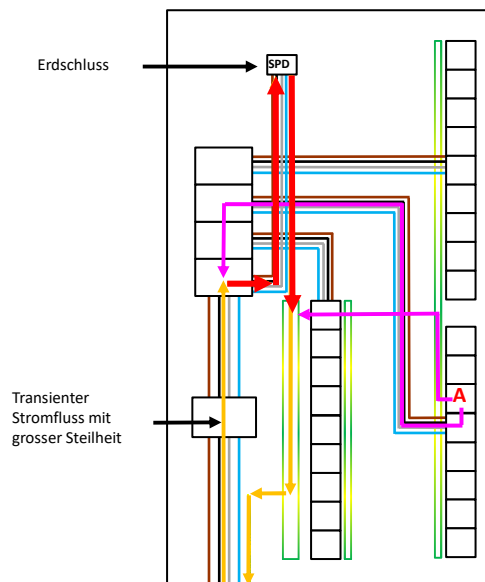
Überspannungsableiter zu weit vom Einspeisungspunkt entfernt

Einspeisung

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

51

51



schlechtes Beispiel

Die Anschlussleitungen, die mit Ableitstrom durchflossen sind, kann man sich wie Prüfspitzen eines Voltmeters vorstellen (im MHz Bereich)

Spannungsabfall für Abgang A
inkl. Spannungsabfall über SPD

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

52

52

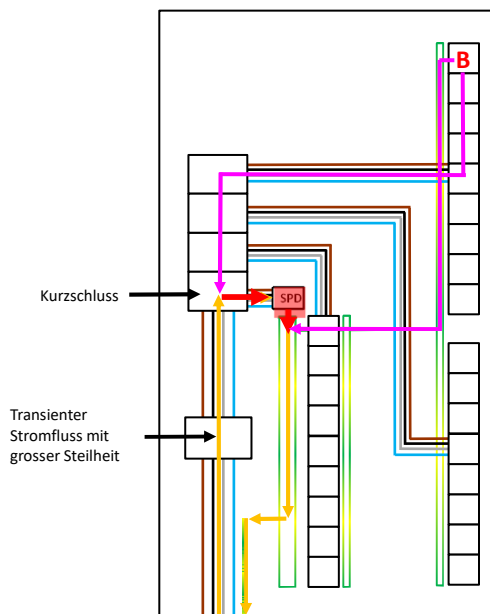
SOLL Beispiel (optimal)

Überspannungsableiter direkt beim Einspeisepunkt und unmittelbar bei zentraler PE-Schiene montiert



53

SOLL Beispiel (optimal)



— Die Anschlussleitungen, die mit Ableitstrom durchflossen sind, kann man sich wie Prüfspitzen eines Voltmeters vorstellen (im MHz Bereich)

— Spannungsabfall für Abgang **B**
inkl. Spannungsabfall über SPD

54

Überspannungsschutz Grundsätze:

- Beim Einbau von Überspannungsschutzgeräten dürfen die beschalteten Leitungen nicht mit unbeschalteten parallel (gemeinsam) geführt werden
- Erdanschlüsse für Überspannungsschutzgeräte auf dem kürzesten Weg mit dem Potenzialausgleich verbinden (Vermaschte Metallkonstruktionen, Bewehrung usw.)
- Erdleiter (Ableitungen) nicht in Kabelführungssystemen oder Verdrahtungskanälen verlegen
- Schutzgeräte immer bei Zonenübergängen (z.B. 0 – I)

NISV (SR 814.710 mit [Stand 1. November 2023](#))

Massnahmen gegen elektromagnetische Einflüsse:

Für neue Hausinstallationen statuiert die NISV die Minimierung der magnetischen Flussdichte an sogenannten Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN).

- Hausinstallationen sind nach dem anerkannten **Stand der Technik** so auszuführen, dass die **magnetische Flussdichte** an den Orten mit empfindlicher Nutzung **minimiert** wird.
- Als anerkannter Stand der Technik gelten insbesondere die Vorschriften der Niederspannungs-Installationsnorm (NIN).



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

57

57

NISV (Verordnung), PR-NIS (PlanungsRichtlinie)

- Etliche der beschriebenen EMV-Massnahmen bilden auch in Bezug auf die Magnetfeldemission Verbesserungen
- Bereiche werden nach OMEN und NZA (PR-NIS) gegliedert
- Die Feldemissionen sollen grundsätzlich so tief wie möglich gehalten werden
- Durch Architekten und Elektroplaner sollen geeignete Massnahmen frühzeitig (**Vorprojekt**) planerisch berücksichtigt werden

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

58

58

EMV soll nicht dem Zufall überlassen werden!

