



Referat

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

Luca Wachter

ARNOLD Engineering und Beratung AG

Elektro-Ing. für EMV und Messtechnik

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

1

1



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

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

2

2

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)

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

5

5



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)

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

6

6



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 Induktionsschläufen 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

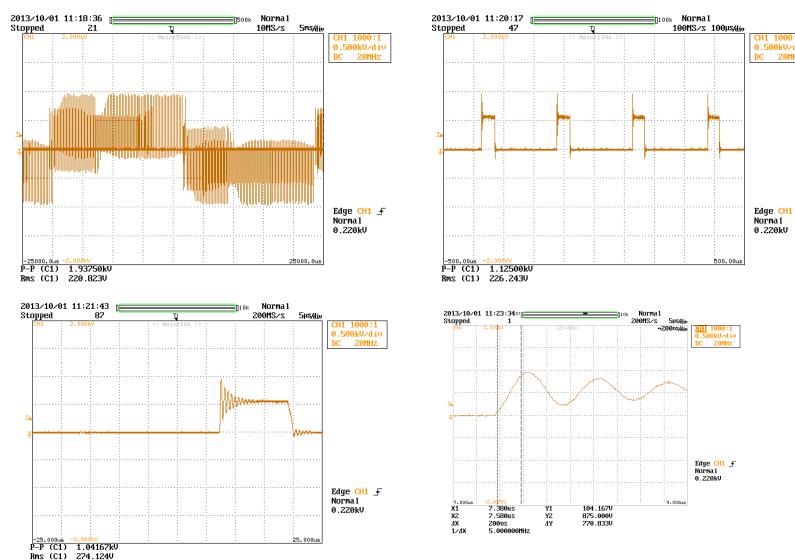
Störquelle: Frequenzumrichter

- 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
- Netzrückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzrückwirkungen 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

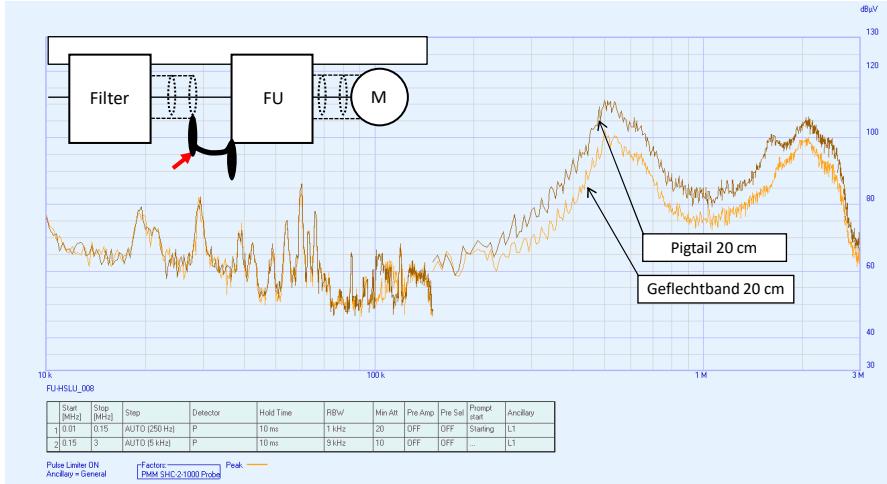
FU, Motorkabel: schnelle
Spannungsänderungen
Steilheit: $3.8 \text{ kV}/\mu\text{s}$;
Res.frequenz: $\sim 1.6 \text{ MHz}$
 \rightarrow fliessen im PE, PA !

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

10

10

Messresultate aus Versuchen mit FU



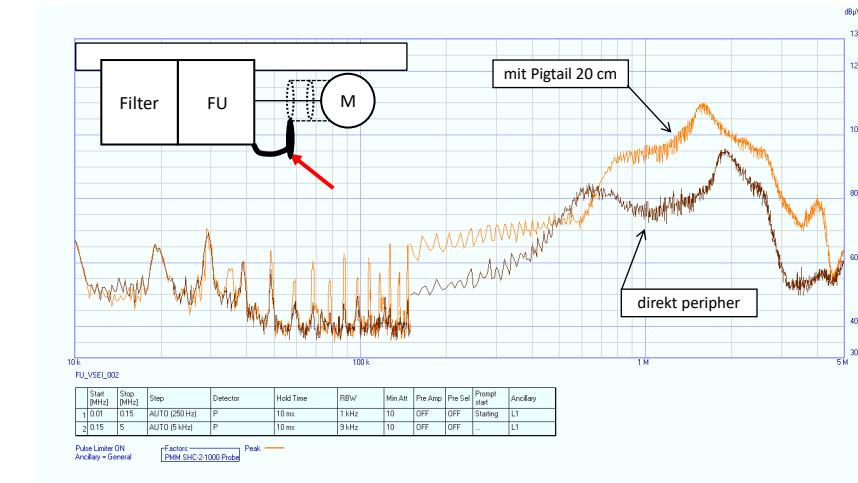
Kontaktierung des Filtergehäuses mit „Pigtail“ oder durch Geflechtbody

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

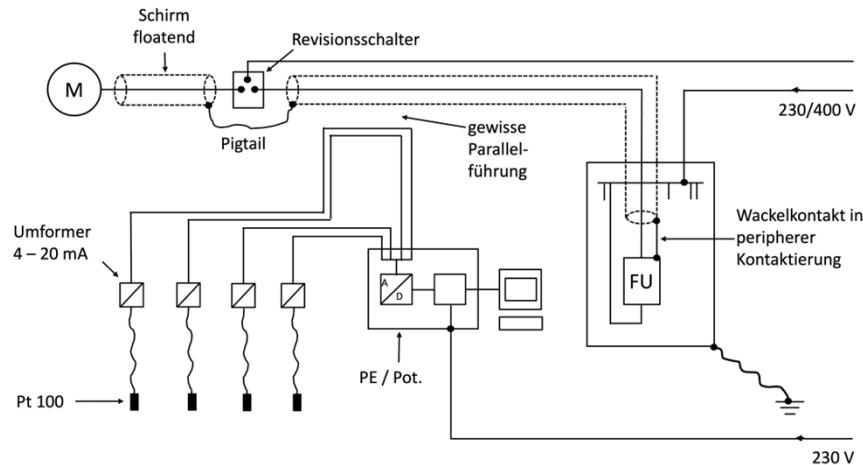
niederimpedante Verbindungen anstreben !

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:

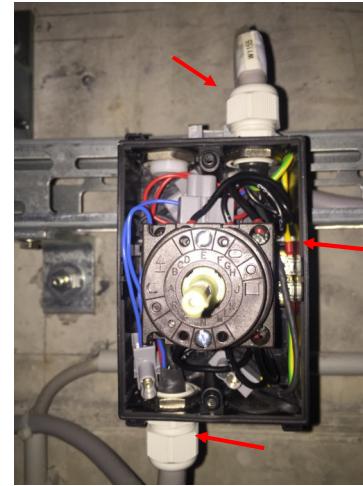
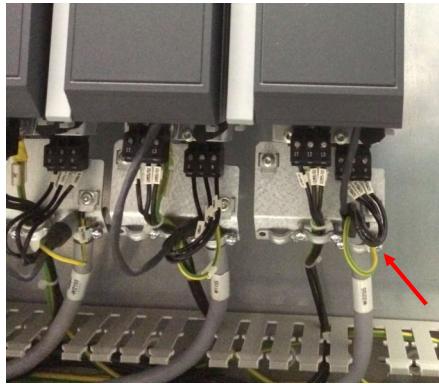
- Kabelschirm mit schlechter Kontaktierung (hatte sich gelockert)
- Parallelführung von Motor- und Signalkabel
- Kabelschirm bei Revisionsschalter nicht flächig durchverbunden (Pigtail)
- Störeinkopplung in 4-20-mA-Signal im FU-typischen Störfrequenzbereich

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

14

14

Problemstellen FU

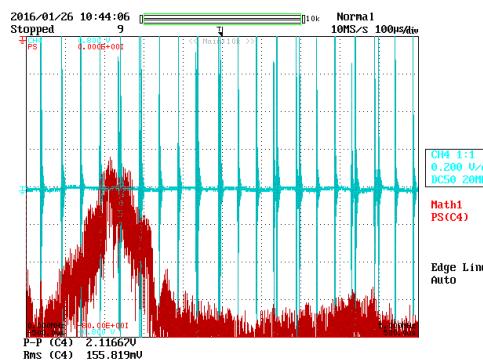


Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

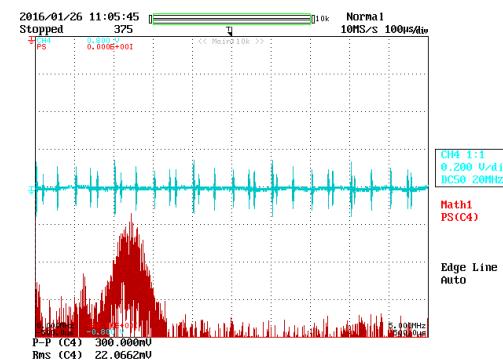
15

15

Messungen



Wackelkontakt – schlechte Kontaktierung des Motorkabelschirms von FU



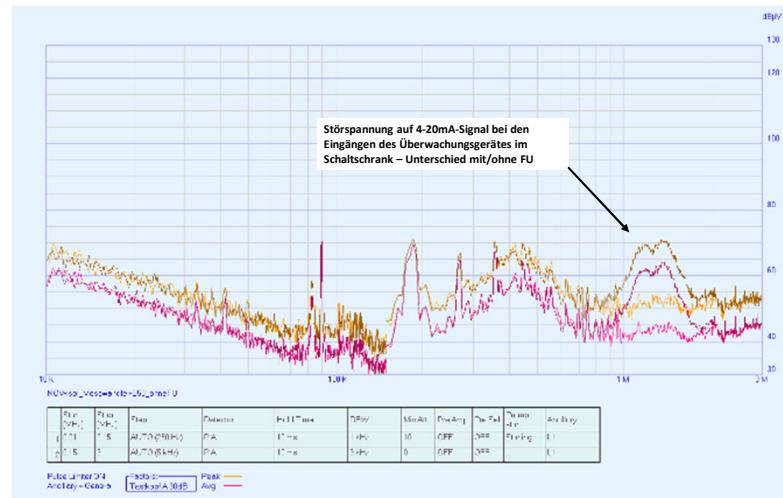
gute Kontaktierung des Motorkabelschirms von FU hergestellt, aber immer noch kleinere Schwachstellen betr. Motorkabel vorhanden

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

16

16

Störspannung auf 4-20mA-Signalleitung

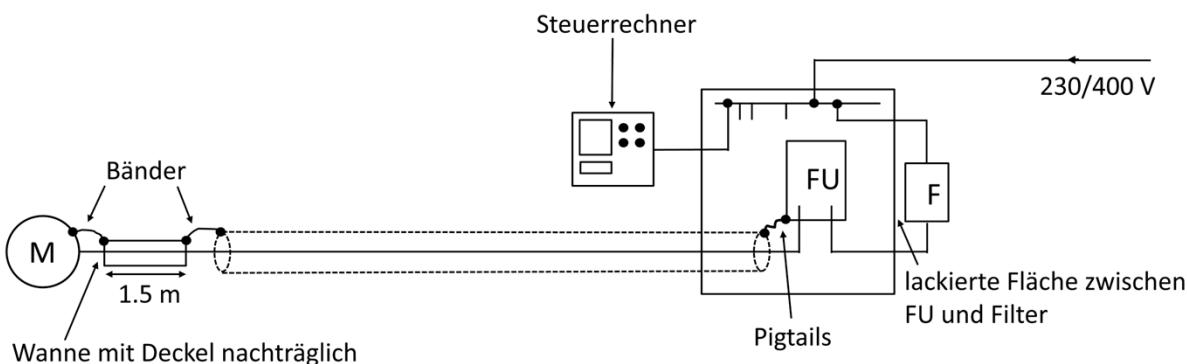


Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

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

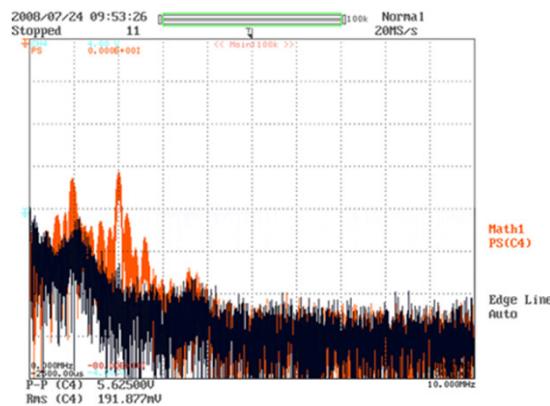


Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

22

22

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



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

23

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)

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

24

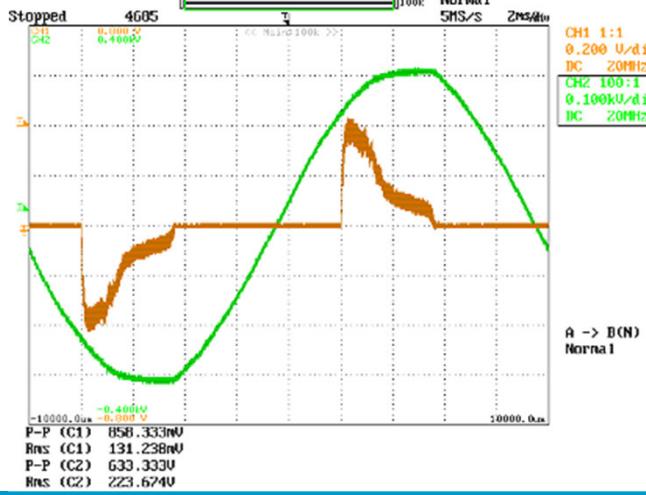
24

Störquelle Photovoltaikanlagen:

- Netzrückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzrückwirkungen 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:

- Netzrückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzrückwirkungen 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

Fyrabig-Anlass EiT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

27

27

Schaltnetzteil – HF-Störspannungs-Emission bis 10 MHz



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

28

28

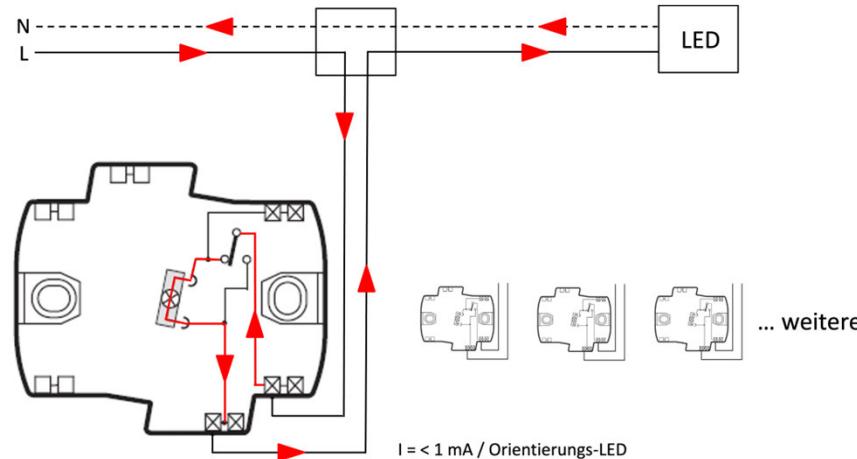
Problemfälle aus in der Praxis betr. Schaltnetzteile, EVG:

- 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:

- Netzrückwirkungen durch Oberschwingungen (von 50 Hz)
- Netzrückwirkungen 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

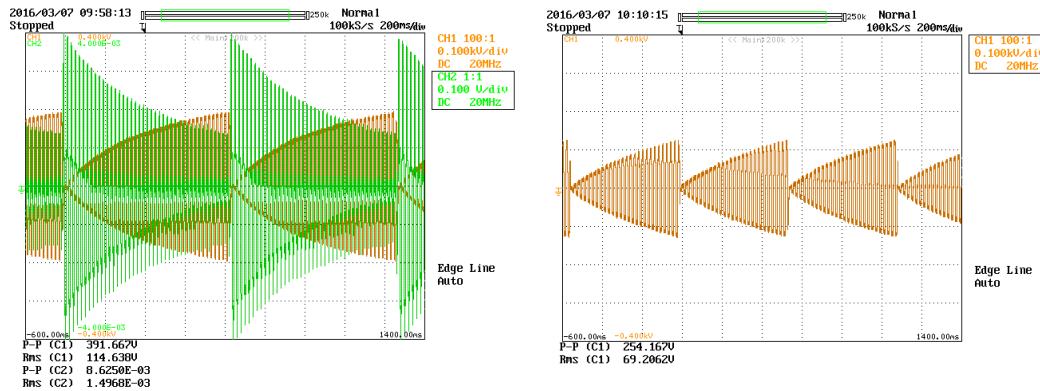


Feststellungen, Ursachen:

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

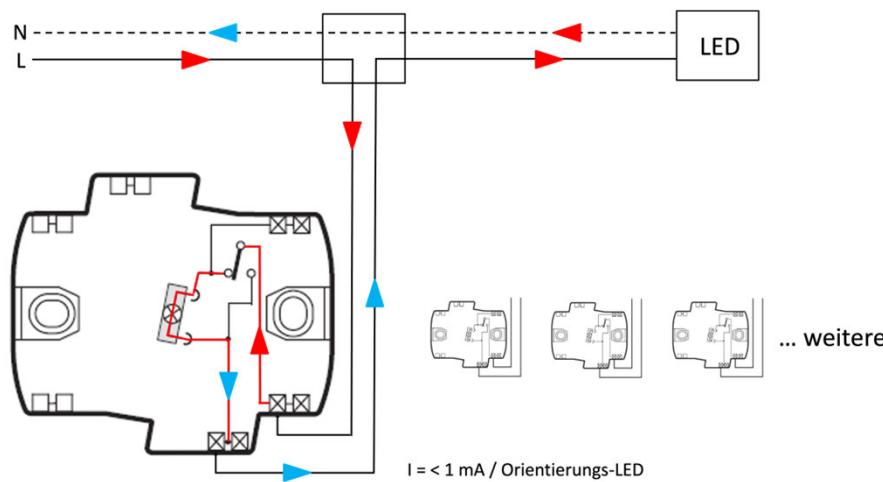
Durchgeführte Messungen zeigten:

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

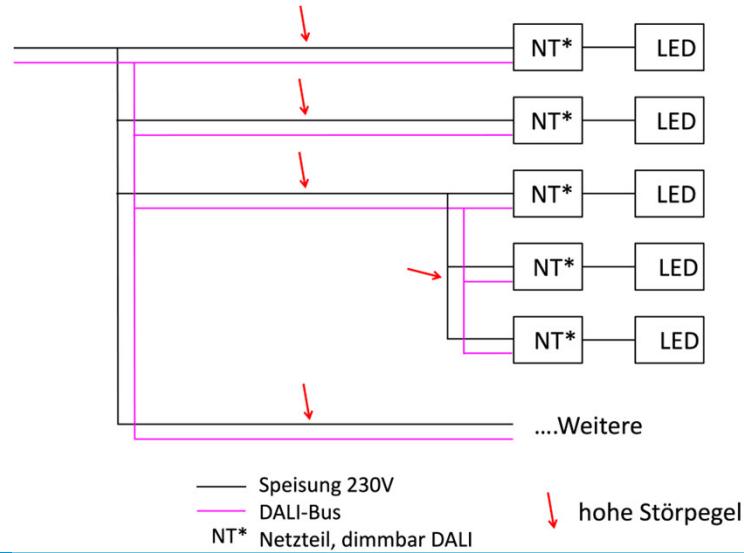


Messungen von Strom (grün) und Spannung (orange) der blinkenden LED-Lampe. Die Stromflüsse durch die LED der Orientierungslampen laden die Kondensatoren der LED-Lampen soweit auf bis die LED-Lampen zu leuchten beginnen.

Lösung Störfall blinkende LED



Störfall LED Dali



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

35

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 dB μ V)

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:

Anschmitt- statt Abschnittsdimmer

steile Strompulse verursacht durch
mehrere Dimmer

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:

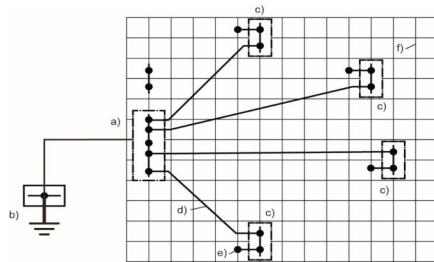
- Schutzerde als Störstromableitpfad missbraucht
- Potenzialausgleich als Signalreferenzmasse benutzt
- Schirm als Potenzialausgleich missbraucht
- usw.

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?

Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

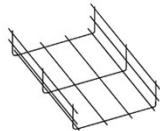
39



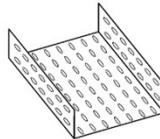
Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

40

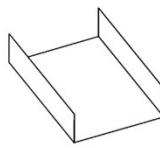
40



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.

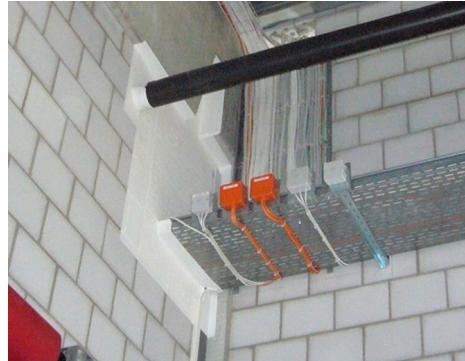
Praxis: leider erste Wahl!



- Grossflächige Verbindungen

Guter Kompromiss

Verbindung verschraubt mit Verbindungsblech



- Grossflächige Verbindungen

Optimal

Verbindung durch
Brandschottung mit ganzem
Kanalquerschnitt



- Grossflächige Verbindungen

Optimal

Verbindung auf Schrankeinheit
mit ganzem Kanalquerschnitt



- Getrennte Verlegung von Stromkreisen
- Trassen als Bestandteil des Potenzialausgleichs

Optimal

Getrennte Trassen für Starkstrom, Schwachstrom, Informationstechnik

- Grossflächige Verbindungen



Nachträglicher Anschluss an Bewehrung mit verzinktem 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

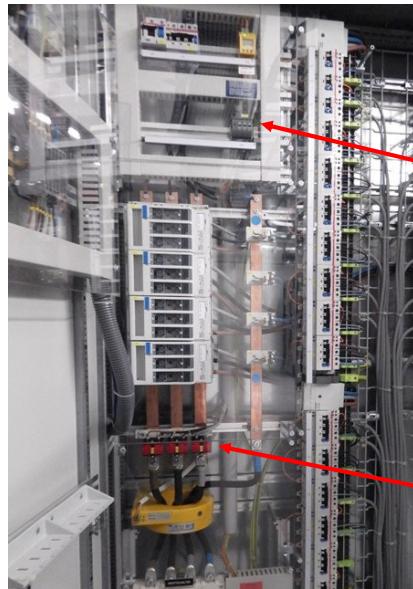


Schirmanschluss mit EMV-Verschraubungen und Kontaktplatte innen

IST Beispiel 2 (falsch)

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

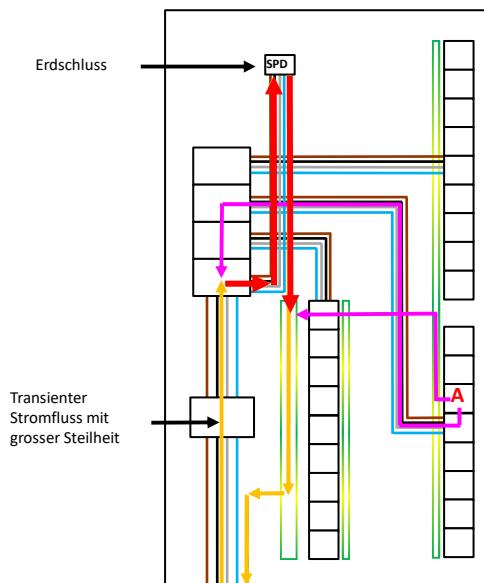




schlechtes Beispiel

Überspannungsableiter zu weit vom Einspeisungspunkt entfernt

Einspeisung



schlechtes Beispiel

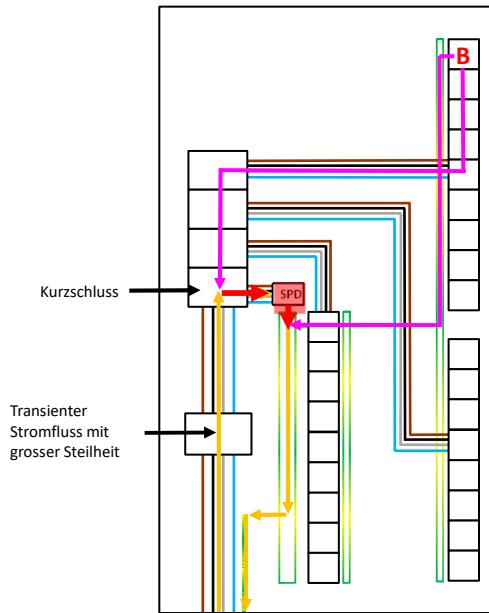
- Die Anschlussleitungen, die mit Ableitstrom durchflossen sind, kann man sich wie Prüfspitzen eines Voltmeters vorstellen (im MHz Bereich)
- Spannungsabfall für Abgang A inkl. Spannungsabfall über SPD

SOLL Beispiel (optimal)

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



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

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!



Fyrabig-Anlass EIT.zürich: 21.03.2024 hybride Durchführung

59

59