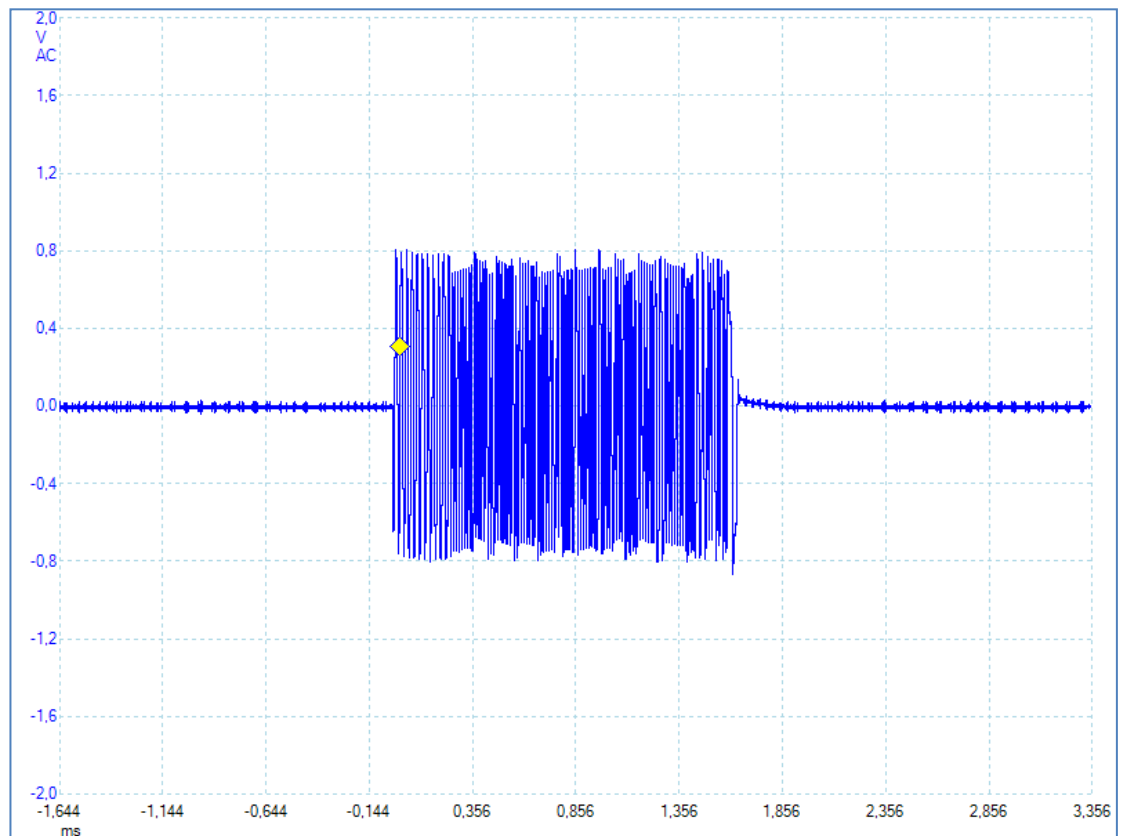




LONMARK®  
DEUTSCHLAND

WHITE PAPER



Dipl.-Elektroingenieur  
Hans-Joachim Otto

Grundlagen einer EMV-gerechten  
Installation – EMV-Probleme bei  
Bus-Systemen und deren Behebung

<b>1 Einführung – Auswirkungen.....</b>	<b>4</b>
1.1 EMV-Störungen in Netzwerken und prinzipielle Ursachen .....	4
<b>2 Allgemeines zur Spannungsversorgung.....</b>	<b>5</b>
2.1 Geregelter Stromfluss.....	5
2.2 Undefinierte Ströme .....	5
2.3 Stromformen.....	6
2.4 Auswirkungen auf das PE/PA-System.....	8
2.5 Komplexe Rückleiterströme und die Folgen.....	9
2.6 Weitere Beeinflussungen .....	10
<b>3 Potenzialausgleich und Erdung.....</b>	<b>11</b>
3.1 Normative Sachlage.....	11
<b>4 Stromversorgungssysteme im Vergleich.....</b>	<b>12</b>
4.1 Der vergessene PE-Leiter.....	12
4.2 Zentraler Erdungspunkt.....	12
4.3 EVU-Direkteinspeisung .....	13
4.4 Variante TT-Netz.....	15
4.5 Eigener Trafo.....	15
4.6 Mehrfacheinspeisungen .....	17
4.6.1 Beispiel .....	17
4.6.2 Realisierungsvorschlag .....	17
4.7 Verschiedene Unterverteilungen - Erdschleifenbildung .....	18
4.8 Stabilität gegen externe Überspannungen .....	18
4.9 Fremdbestimmte PA-Ströme.....	19

<b>5 Mögliche Fehler in der Elektroinstallation</b> .....	20
5.1 PE-N-Brücke .....	20
5.2 Weitere Beispiele .....	21
5.2.1 Vertauschung N-PE.....	21
5.2.2 Falsche Klemme .....	21
5.2.3 Andere Kopplungen.....	22
5.2.4 Die „aus 4 mach' 5-Technik“ .....	22
5.2.5 Gewachsene Installationen.....	23
<b>6 Verursachung der Störungen in elektronischen Systemen</b> .....	24
6.1 Galvanische Kopplungen.....	24
6.2 Induktive und kapazitive Kopplungen.....	24
6.2.1 Messungen im Labor .....	24
6.2.2 Auftreten in Objekten.....	25
<b>7 Messverfahren</b> .....	27
7.1 Stromzange.....	27
7.2 Oszilloskop.....	30
<b>8 Auswirkungen auf den LON-Bus</b> .....	31
<b>9 Auswirkungen auf eine LAN-Infrastruktur</b> .....	33
<b>10 Schadenrisiko bei Gewitter</b> .....	34
<b>11 Checkliste</b> .....	35
11.1 Hauptverteilung .....	35
11.2 Elektrotechnische Infrastruktur im Gebäude.....	35
<b>12 Literatur</b> .....	36
<b>Autor</b> .....	37
<b>Über LON®</b> .....	38
<b>Über LONMARK® Deutschland e.V.</b> .....	38

## 1 Einführung – Auswirkungen

### 1.1 EMV-Störungen in Netzwerken und prinzipielle Ursachen

Aus der täglichen Praxis von Elektronik-Sachverständigen haben sich in den letzten Jahren fundierte Erkenntnisse ergeben, die viele Störungen in Netzwerken und Datenübertragungseinrichtungen verschiedenster Art mit sehr großer Wahrscheinlichkeit an ihrer Quelle konkret lokalisieren lassen. Störungen dieser Art werden unter dem Oberbegriff EMV – Elektromagnetische Verträglichkeit – zusammengefasst. Diese Erkenntnisse sind erst in den letzten Jahren in die entsprechenden Normen eingeflossen.

Leider viel zu oft werden in durchweg ähnlich gelagerten Fällen folgende Probleme festgestellt:

- Nicht nachvollziehbare Fehler in Datenübertragungssystemen (Ethernet, Gebäudeleittechnik – EIB & LON, Fernwirktechnik, SPS)
- Arbeitsplatzrechner-, Server- und komplette IT-System-Abstürze
- Verlangsamung bis Stillstand der Datenübertragung im lokalen Netzwerk (LAN)
- Auslösung von Alarmanlagen, Feuermeldern
- Korrosion von Rohrleitungen und Erder-Leitungen
- Rohrfraß bis zu Leckagen
- nicht zuzuordnende Fehler und unlogisches Verhalten von elektronischen Anlagen, Geräten usw.

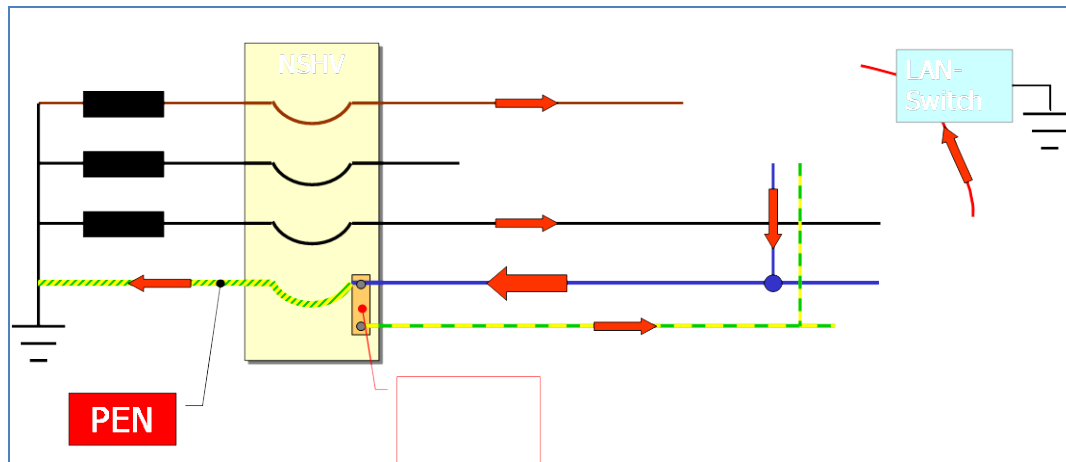
Die Ursache dieser Störeffekte hat fast immer mit einer ungeeigneten oder fehlerbehafteten Elektroinstallation zu tun, die zu Arbeitsströmen auf dem Erdungs- und Potenzialausgleichsystem (PE/PA) führt. Diese Ströme haben dort grundsätzlich nichts zu suchen, fallen aber erst beim genauen Messen auf.

Man spricht hier von „vagabundierenden Strömen“. Man kann diese Ströme nicht wegfiltern oder auf eine andere Art und Weise eliminieren, wenn man nicht die Ursache des Problems erkennt und an der Quelle beseitigt.

Diese Dokumentation soll dazu beitragen, für das EMV-Thema sensibel zu werden und unnötige zeitliche Aufwendungen durch Herumprobieren zu vermeiden.



Diese Stromflüsse zeigt die nachfolgende Grafik:



Eine unter Stromflussbedingungen beispielsweise nicht funktionell richtig ausgeführte Aufteilung von PEN zu N und PE in einer Unterverteilung – so wie die obige Grafik zeigt, ist immer wieder vorzufinden. Dabei sollte berücksichtigt werden, wie das EVU die Ströme ins Kabelnetz einspeist. Exakt spiegelbildlich müssen die Installationen vor Ort erfolgen.

Durch die Erdung der LAN-Komponenten (Patchfelder etc.) entstehen Parallelwege zum N-Leiter, über die Rückleiterströme zum Trafo-Sternpunkt zurückfließen.

Wenn die Ströme auf dem Rückleiter z. B. durch elektronische Netzgeräte „verseucht“ werden, hat das massive Auswirkungen auf alle angeschlossenen elektronischen Geräte, die je nach Sensitivität reagieren.

#### Letztendlich gilt:

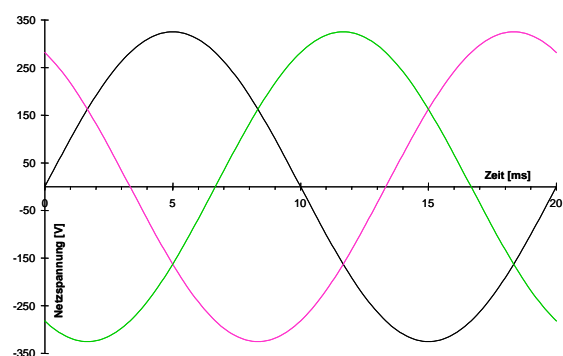
Undefinierte Ströme verursachen an Widerständen undefinierte Spannungen (Ohmsches Gesetz ist immer noch gültig!) und die erzeugen undefinierte Ausfälle und/oder Störungen.

#### Im Umkehrschluss:

Keine Ströme (auf dem Erdungs- und Potenzialausgleichsystem) verursachen keine Spannungen und damit keine diesbezüglichen Störungen!

## 2.3 Stromformen

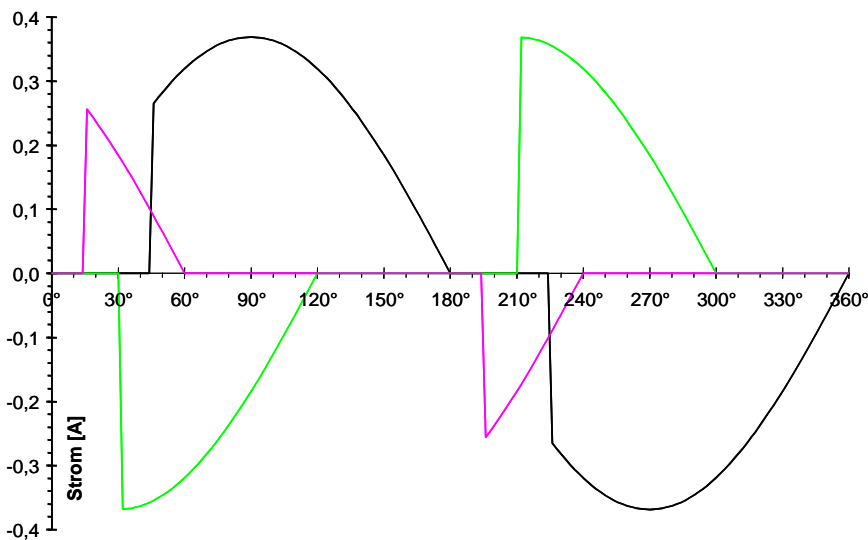
Nun zunächst eine Betrachtung der Ströme. Die vom Generator / Transformator abgehenden Ströme sind idealerweise sinusförmig. In früheren Zeiten mit nicht komplexen Lasten führte das bei gleichmäßiger Verteilung der Verbraucher auf die Phasen zu einem geringen Rückleiterstrom, da sich die Ströme auf Grund ihrer Phasenverschiebung aufgehoben hatten. Aus Ersparnisgründen wurde dann ein 4-Leiter-System üblich, es wurden der N-Leiter (Rückleiter) und der Schutzleiter (PE) zu einem Leiter zusammengefasst, da sich die Ströme der Phasen auf Grund ihrer Phasenverschiebung auf dem Rückleiter quasi „aufgehoben“ haben. Aus dieser Zeit stammt der Begriff des „Neutralleiters“, der vom Begriff „Neutral“ her etwas Falsches suggeriert. Daher ist die Verwendung des Begriffes „Rückleiter“ eigentlich zutreffender.



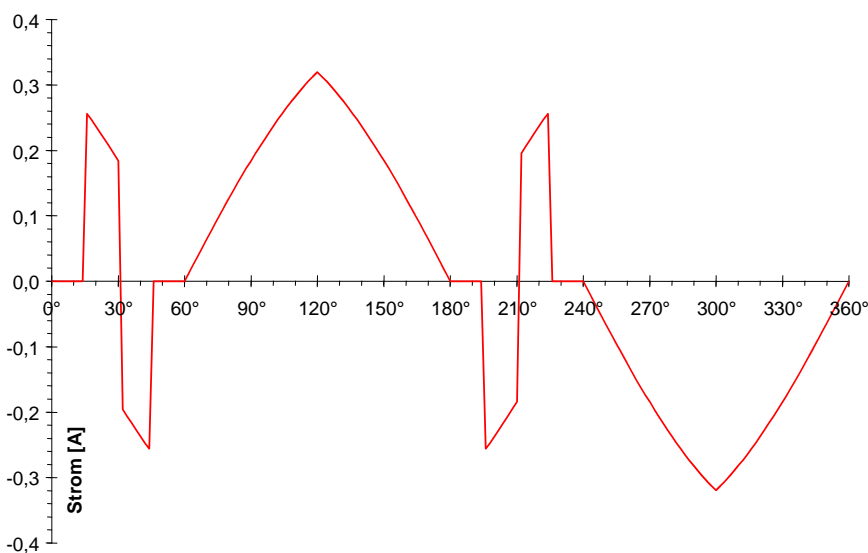
Das Prinzip des geschlossenen Stromkreises auf seinen Soll-Wegen (Außenleiter und Rückleiter) wurde damit von allen Ausführenden über die Jahre einfach „vergessen“.

Die Welt der Elektro-Installation ist durch die elektronischen Verbraucher (z. B. Rechner-Netzgeräte) ungleich komplexer geworden. Auf dem Rückleiter finden sich jetzt oberwellenreiche Ströme, je nach Art der Verbraucher.

Um dies an einem einfachen Beispiel zu verdeutlichen, werden die Ströme der drei Phasen dargestellt, wenn in jeder Phase ein Dimmer (Helligkeitsregler) eingefügt ist. Diese Bauelemente schalten einfach einen Teil der Spannung später zu oder früher ab. Das ist an dem fehlenden Teil der jeweiligen Stromkurve zu erkennen. Ohne Spannung kein Strom. Im nachfolgenden Beispiel sind die Ströme von drei Glühlampen à 60W dargestellt, betrieben an 3 Phasen, mit jeweiligem Dimmer, Ansteuerung  $\Phi L1 = 45^\circ$ ,  $\Phi L2 = 90^\circ$ ,  $\Phi L3 = 135^\circ$  ( $\Phi$  = Phasenwinkel).



Der sich ergebende Rückleiterstrom ist in der nächsten Grafik dargestellt.



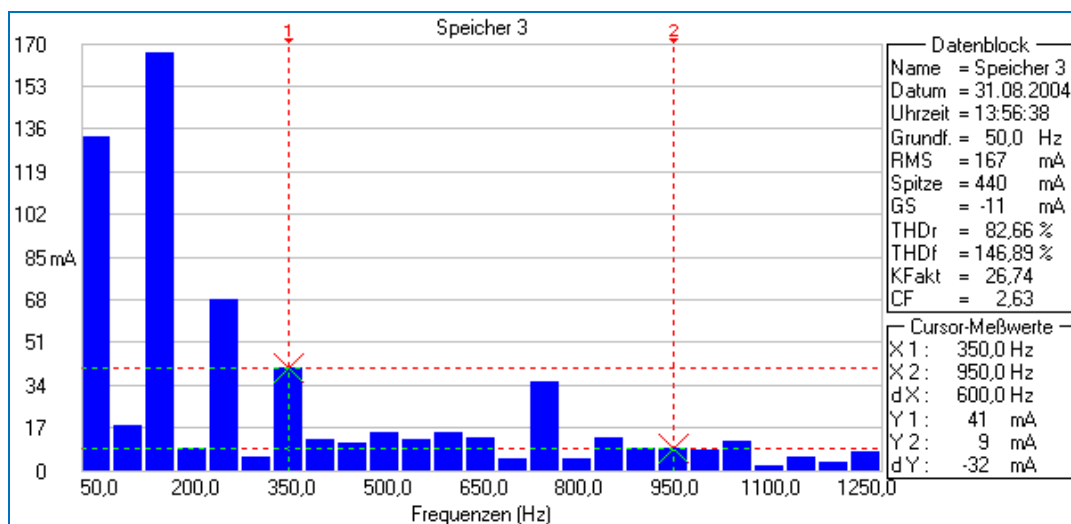
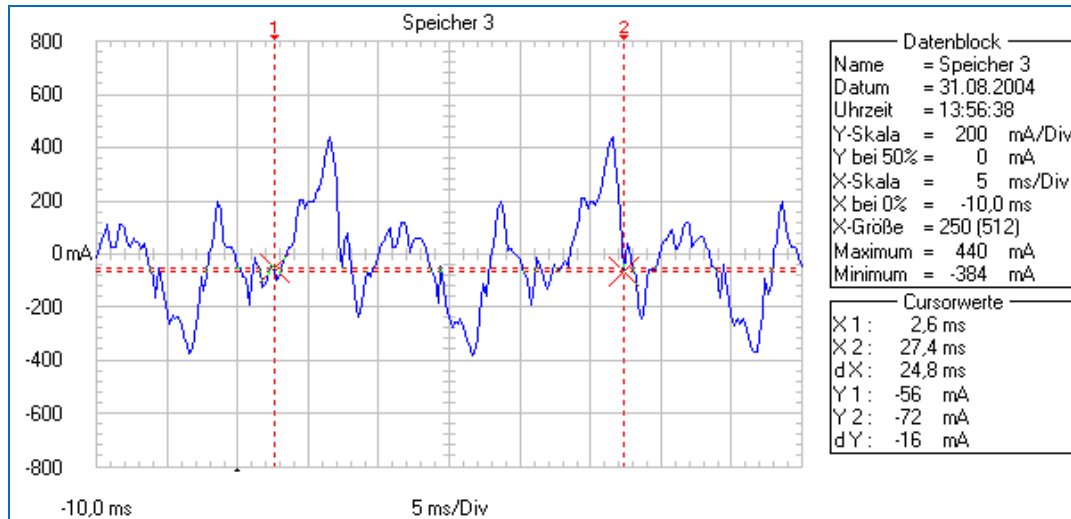
Obiges Beispiel stellt nur vereinfacht den Stromverlauf einer Installation mit heute üblichen elektronischen Verbrauchern dar. Die realen Ströme auf dem Rückleiter sind noch wesentlich komplexer und daher (entsprechend der Fourier-Analyse) sehr oberwellenreich.

Damit ist leicht nachvollziehbar, dass diese Ströme auf dem Rückleiter bleiben sollten und nicht in das PE/PA-System gelangen dürfen.

## 2.4 Auswirkungen auf das PE/PA-System

Die tägliche Praxis zeigt immer wieder die signifikanten Auswirkungen von Schaltungsfehlern auf Ströme im PE/PA-System.

Die folgenden Grafiken (Signalform und Spektrum) zeigen durch Schaltungsfehler verursachte Ströme auf dem PE-System (!) einer Büro-Etage mit normalem PC-Anteil (ca. 15 Arbeitsplätze):



Hier ist die dritte Oberwelle der 50Hz-Grundschiwingung betragsmäßig höher als die Grundschiwingung selbst.

Bei intensiver IT-Ausstattung steigen bei Installationsfehlern die nichtlinearen Rückleiter-Ströme und Einkopplungen auf das PE/PA-System stark an. Derartige Signalformen von Strömen auf dem PE/PA-System sind immer wieder zu messen.

Teilweise zeigt sich ein Oberwellenspektrum bis in den Megahertz-Bereich hinein.

In manchen Installationen sind derartige Oberwellenspektren regelmäßig zu messen, in anderen nur sporadisch, je nach Aktivitäten der speziellen Verbraucher.

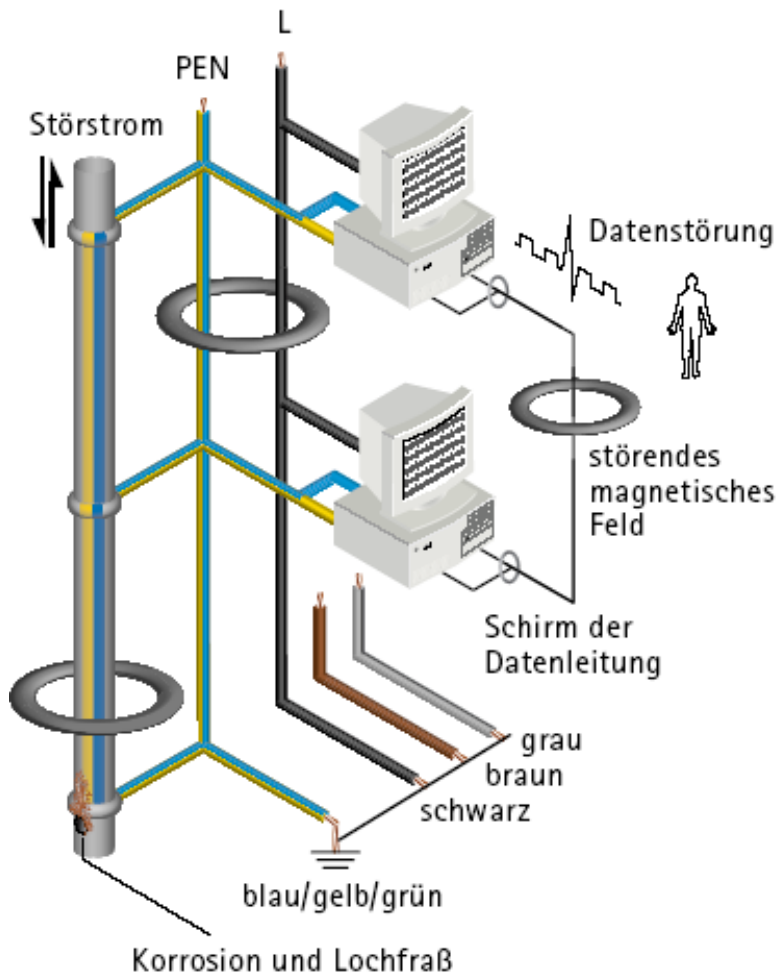
Besonders kritisch sind sporadische Impulse (Burst-Form), die hervorgerufen von Schaltvorgängen über die PE-Systeme in die IT-Systeme einkoppeln. Dazu später mehr.

Bei einer ordnungsgemäßen Elektro-Verkabelung sind derartige Ströme so gering, dass es nicht zu Störungen kommt.

## 2.5 Komplexe Rückleiterströme und die Folgen

**EMV-ungünstig:** Wirkung auf Bildschirmflimmern, Elektronik, Korrosion, Lebewesen

### TN-C-System (4-Leiternetz)



Bei 4-Leiter-Systemen waren Störungen auf Datenübertragungssystemen bei sinusförmigen Rückleiter-Strömen – wie früher die Regel – praktisch nicht bekannt.

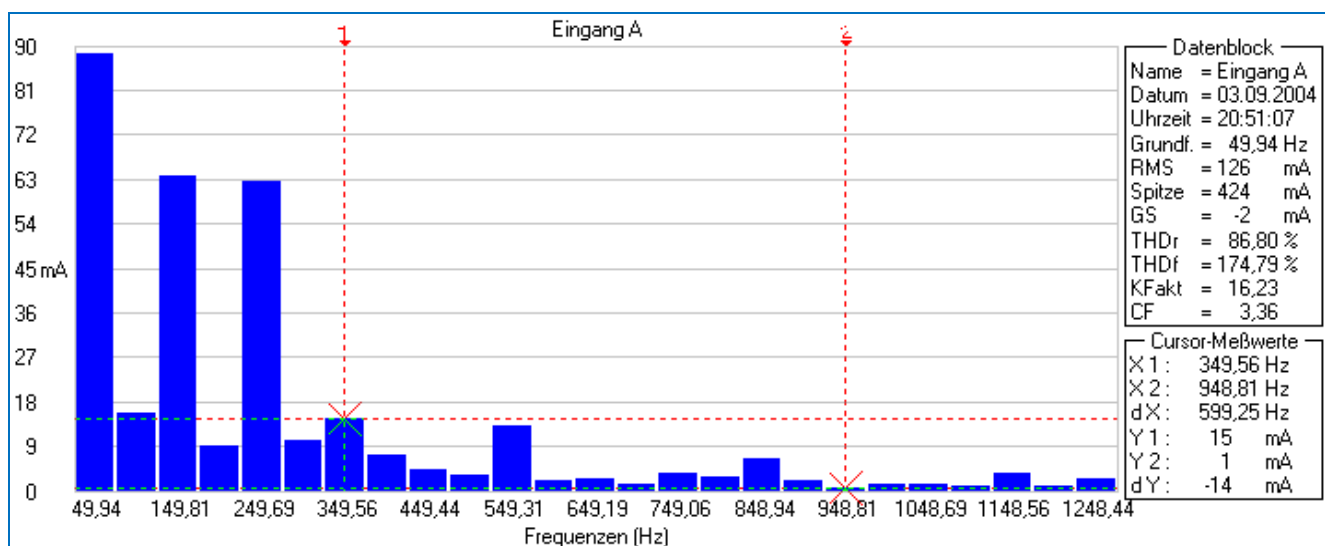
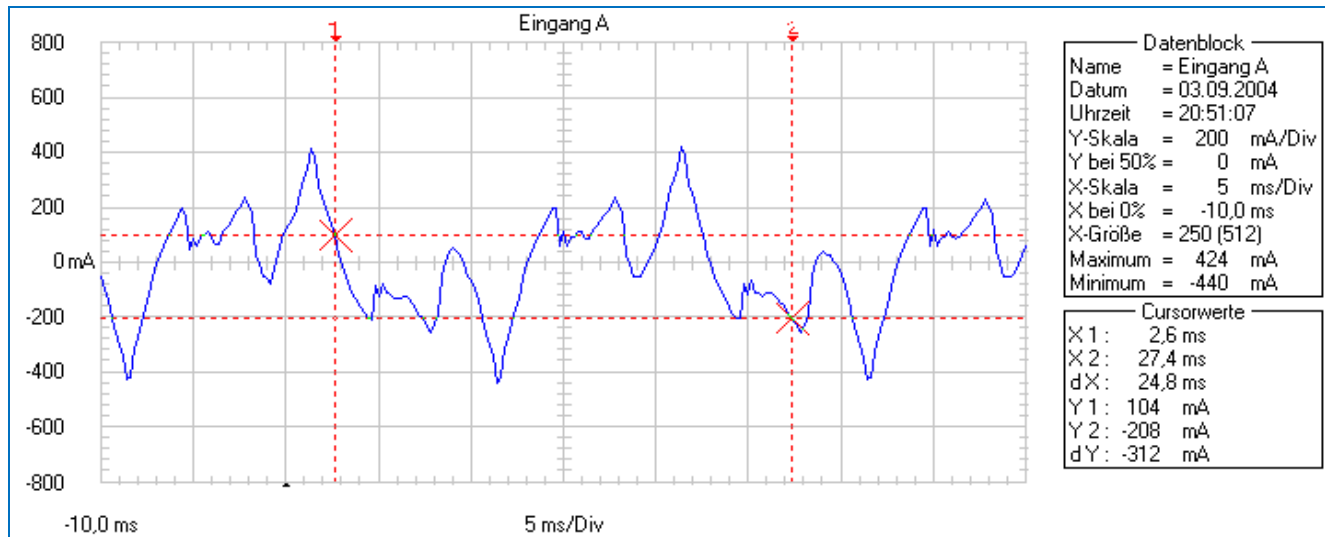
Wenn eine derartige (heute nicht mehr vorschriftsgerechte) Verkabelung (als TN-C-Verkabelung bezeichnet, c=common für PE und N) auch nur in Teilen der Installation vorliegt, ist die Gefahr der Störbeeinflussung groß, die von nicht-sinusförmigen Strömen – wie oben dargestellt – stammen. Die Störungen sind dann der „normalen“ Spannungsversorgung überlagert. Das allein wäre bei modernen Netzteilen noch unkritisch, aber wesentlich schlimmer ist noch, dass die Störungen auf allen Kommunikationsverbindungen festzustellen sind, die über das PE/PA-System geerdet sind (geschirmte LAN-Kabel sind beidseitig aufzulegen).

Beim regelmäßigen Auftreten von oberwellenreichen komplexen Rückleiterströmen ist dann durch die Einkopplung in das PE/PA-System (vagabundierende Ströme) in der Regel eine störungsfreie Funktion der im Haus betriebenen Kommunikationsnetze und IT-Systeme nicht gewährleistet. Besonders kritisch erweisen sich die sporadischen Fehlereffekte, deren Ursache wegen fehlender Reproduzierbarkeit kaum zurückverfolgt werden kann.

Die obige Grafik stellt dieses Problem sehr gut dar.

Das nachfolgende Signal sowie das dazugehörige Spektrum aus einem anderen Störfall zeigen die gemessenen Störungen / Ströme auf dem Schirm einer Datenleitung. Es war zu massiven Störungen in der Datenübertragung gekommen.

Durch die kapazitiven und induktiven Kopplungen zwischen Schirm und Leitern entstehen Störsignale auf den signalführenden Leitern (hier nicht gemessen).



Vagabundierende Ströme auf Datenleitung führen häufig auch zu Defekten an Netzwerk-Schnittstellen. Auch das war im obigen Fall massiv aufgetreten.

Diese Ströme dringen über die Schnittstellen in die Rechner-Hardware ein und fließen dann über das Motherboard Richtung PE-Anschluss. Es kommt vielfach zu Veränderungen im Speicher, Rechner „stürzen“ ab.

## 2.6 Weitere Beeinflussungen

Da der Weg der Stör-Ströme nicht vorausgesagt werden kann (da vagabundierend), sind die Auswirkungen auf Systeme im Gebäude nicht vorherbestimmbar.

Lokale Netze können z. B. durch Verkabelung mit Lichtwellenleitern völlig immun gegen die Verkabelungs-Probleme sein. Mit nur einer falschen Verbindung mit kupferbasiertem Netzkabel kann das ganze Netz instabil werden.

### 3 Potenzialausgleich und Erdung

Eine funktionsfähige und niederimpedante Potenzialausgleichs- und Erdungsanlage ist die Basis für einen guten EMV-Status in einem Objekt. Diese sollte vermascht sein und möglichst alle leitfähigen Systeme (Armierungen, Kabeltrassen etc.) mit einbeziehen. Dieser hohe Aufwand wäre für die reinen Abschaltbedingungen im Fall eines Körperschlusses (Personenschutz) nicht erforderlich.

In den Normen (DIN VDE 0100-444, 0100-540 etc.) wird seit einiger Zeit zwischen Schutzpotenzialausgleich und Funktionspotenzialausgleich differenziert. Damit ist die klassische „Potenzialausgleichschiene“ nicht mehr eindeutig definiert und wurde durch die Begriffe „Funktionserdungsleitung“ und „Schutzerdungsleitung“ ersetzt. Die zentrale frühere Hauptpotenzialausgleichschiene wird nun zur Haupterdungsschiene.

Der Hintergrund ist logisch und sinnvoll. Wenn es zu einem Körperschluss kommt, wird kurzzeitig auf dem Potenzialausgleichssystem ein hoher Strom fließen, bis das Schutzorgan auslöst. Dieser Strom könnte wie die vagabundierenden Ströme zu Schäden an Schnittstellen führen.

Daher hat man den Ansatz gewählt, die Systeme zu trennen, damit die IT-Systeme am Funktionspotenzialausgleich nicht mit den Körperschlussströmen des Schutzpotenzialausgleichs beaufschlagt werden.

Die vermaschte und geerdete Potenzialausgleichsanlage dient damit hauptsächlich der niederimpedanten Funktionserdung.

In der Potenzialausgleichsanlage kommen Funktionserdungsleitung und Schutzerdungsleitung letztendlich doch wieder zusammen. Eine praktisch umsetzbare Trennung wird nur in speziellen Fällen möglich sein.

In diesem Dokument wird der Begriff der Potenzialausgleichschiene teilweise weiter verwendet, da er sich eingebürgert hat und jeder weiß, wovon gesprochen wird.

#### 3.1 Normative Sachlage

Die DIN VDE 0100-444 fordert mit der Version vom Oktober 2010 das TN-S-Netz als Basis für einen guten EMV-Status in einem Gebäude.

Damit wird in dieser Norm (endlich) das statuiert, was Fachleute und Sachverständige seit Jahren fordern.

Diese Norm ist erfreulich verständlich geschrieben und mit praktischen Schaltungsbeispielen erläutert.

## 4 Stromversorgungssysteme im Vergleich

Die Realisierung der Stromversorgung hat heute massiven Einfluss auf alle Formen von Kommunikationsnetzen.

Nur durch eine konsequente Trennung der stromführenden Leiter (Außenleiter (Phasen) L und Rückleiter N) vom Schutzleiter PE und die Umsetzung einer richtigen Erdung können die Einflüsse minimieren bzw. eliminieren. Dieses System wird mit TN-S (s=separate, getrennte PE und N) bezeichnet.

Die entsprechende Grafik rechts zeigt den Soll-Zustand.

### 4.1 Der vergessene PE-Leiter

Da der PE per Definition stromlos ist, haben Generationen von Elektrikern übersehen, dass diese Stromlosigkeit auch überprüft werden muss. Die Strommesszangen liegen meist unbenutzt in den Werkzeugkisten herum.

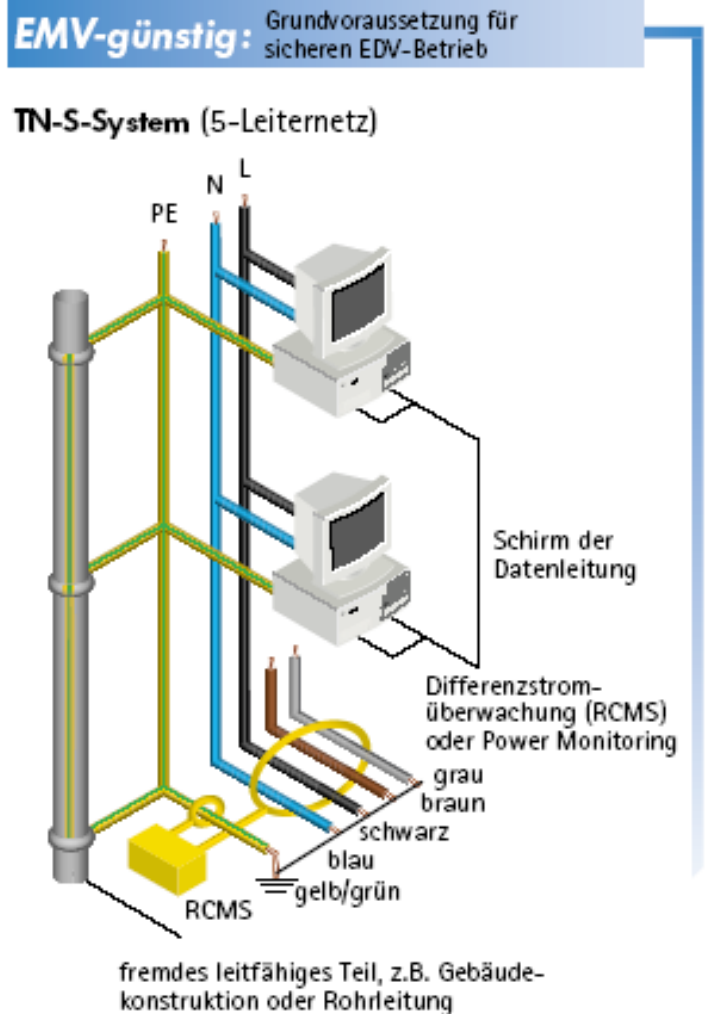
Lediglich Filter-Ableitströme im Bereich weniger Milliampère sind auf dem PE-Leiter erlaubt.

Die PEN-Brücke am zentralen Erdungspunkt muss ebenfalls stromlos sein. Nur dann ist gewährleistet, dass der Strom, der zu den Verbrauchern über die Phasenanschlüsse fließt, definiert über den Rückleiter (N) wieder zur Quelle zurückfließt und damit einen geschlossenen Stromkreis ergibt. Jeder über einen PE-Anschluss abfließende Strom fließt unkontrolliert über das PE/PA-System und schlimmstenfalls über das Erdreich zur Quelle (Trafo) zurück und verursacht undefinierte Effekte, wie schon ausgeführt.

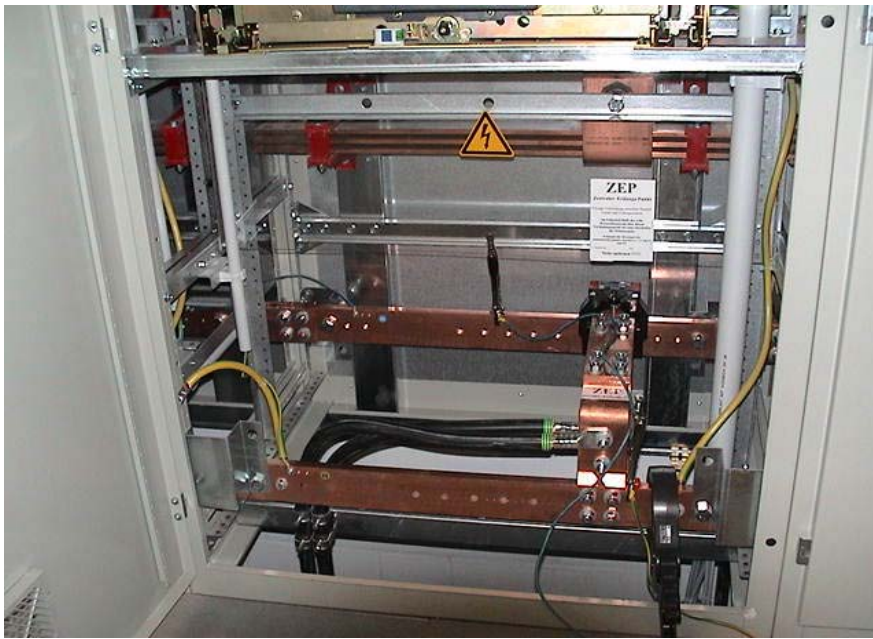
### 4.2 Zentraler Erdungspunkt

Der geeignete Punkt für einen zentralen Erdungspunkt ist zu bestimmen und zu markieren. Nur an dieser Stelle darf (und muss sogar) eine Verbindung zwischen PE und N erfolgen. Es darf im gesamten weiteren System keine PE-N-Brücke vorhanden sein und **keine** – noch so kurze – gemeinsame Führung von PE und N in einem Leiter. Das gilt übrigens auch bei nachträglich installierten Photovoltaik-Systemen.

Über diese PE-N-Brücke fließt im Fehlerfall der komplette Strom über PE zum N, bis das Schutzorgan („Sicherung“) auslöst. Die Brücke muss daher an geeigneter Stelle installiert werden, wo sichergestellt ist, dass der volle Fehlerstrom fließen kann.



Ein Beispiel eines im Schaltschrank optimal aufgebauten und gekennzeichneten zentralen Erdungspunktes zeigt folgendes Bild:



**ZEP**  
**Zentraler-Erdungs-Punkt**

Einzigste Verbindung zwischen Neutral-Leiter und Erdungssystem

Im Fehlerfall fließt der volle Kurzschlussstrom über diesen Verbindungspunkt bis zum Abschalten des Schutzorgans

Prüfpunkt für Messungen des Isolationswiderstandes zwischen L1- L3 und N zum PE

Geprüft am: von:

**Nicht entfernen !!!!!**

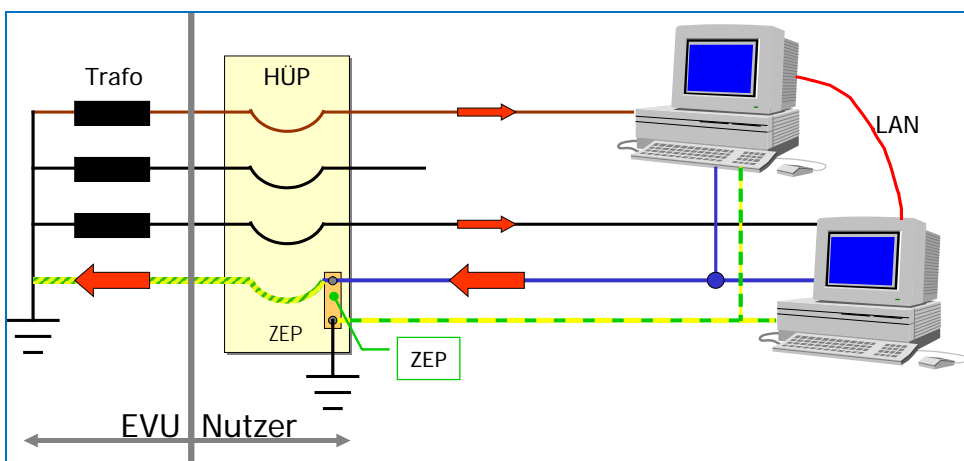
Nur so ist sichergestellt, dass keine vagabundierenden Ströme entstehen und ein optimaler EMV-Status erreicht wird.

Durch die Kennzeichnung als „ZEP“ wird zukünftiges Installationspersonal frühzeitig auf die richtige Ausführung ihrer Arbeiten hingewiesen.

Statt man diese PE-N-Brücke mit einer dauerhaften Messung aus, kann man Fehler in einem Objekt sofort nach der Entstehung erkennen, besser lokalisieren und dem Verursacher zurechnen.

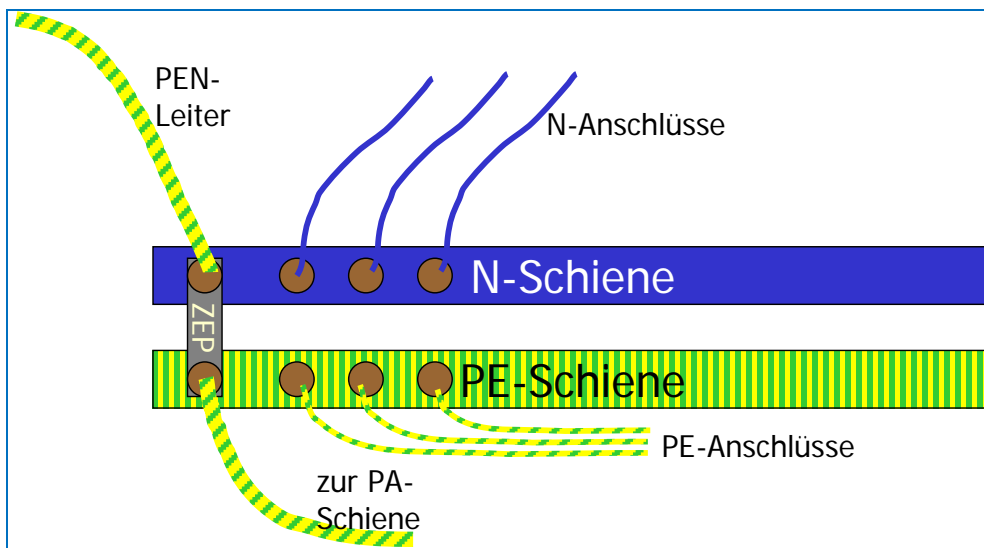
### 4.3 EVU-Direkteinspeisung

Da in der Regel vom örtlichen EVU ein TN-C-Anschluss verlegt wird, muss dieser definiert auf TN-S umgesetzt werden. Dazu die folgende Grafik:

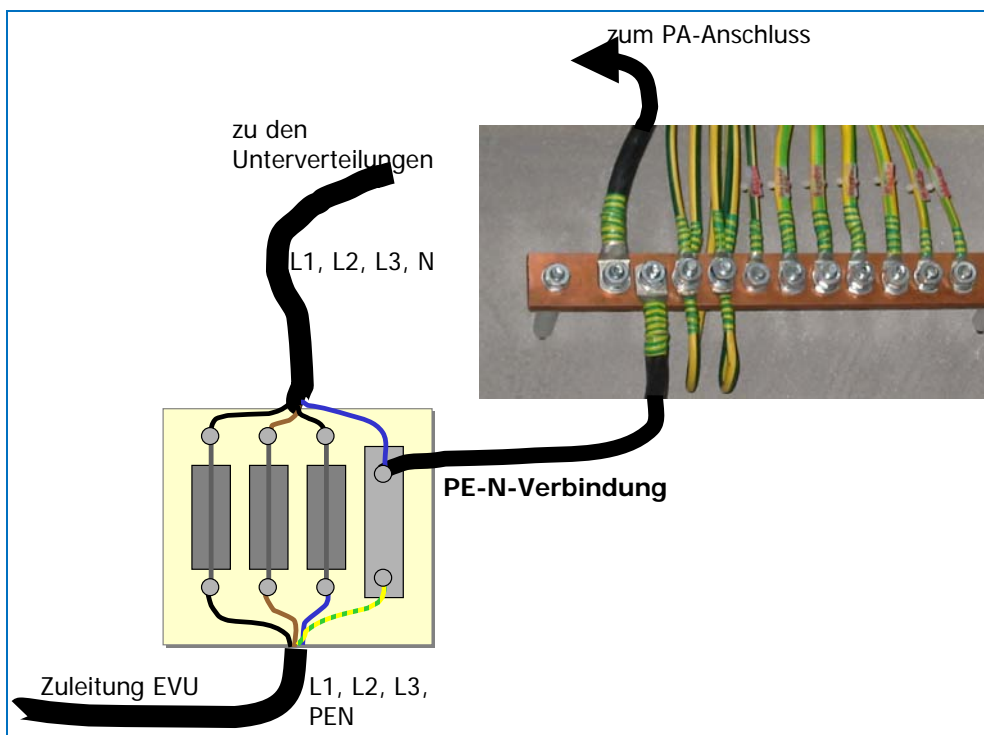


Der Sternpunkt des EVU-Trafos ist geerdet, es werden die drei Phasen und ein PEN-Leiter am Haus-Übergabepunkt (HÜP) eingeleitet. Die Auftrennung PEN zu PE und N erfolgt definiert am Zentralen Erdungspunkt (ZEP). Das Gesamtsystem wird dann als TN-C-S-System bezeichnet. Unter EMV-Aspekten ist dies das in dieser Konstellation erreichbare Optimum.

Die nachfolgende Grafik zeigt eine mögliche Realisierung des zentralen Erdungspunktes mit Stromschienen:



Bei einem Haus-Übergabepunkt (HAK-Hausanschlusskasten) ist folgende Installation sinnvoll und einfach durchführbar:



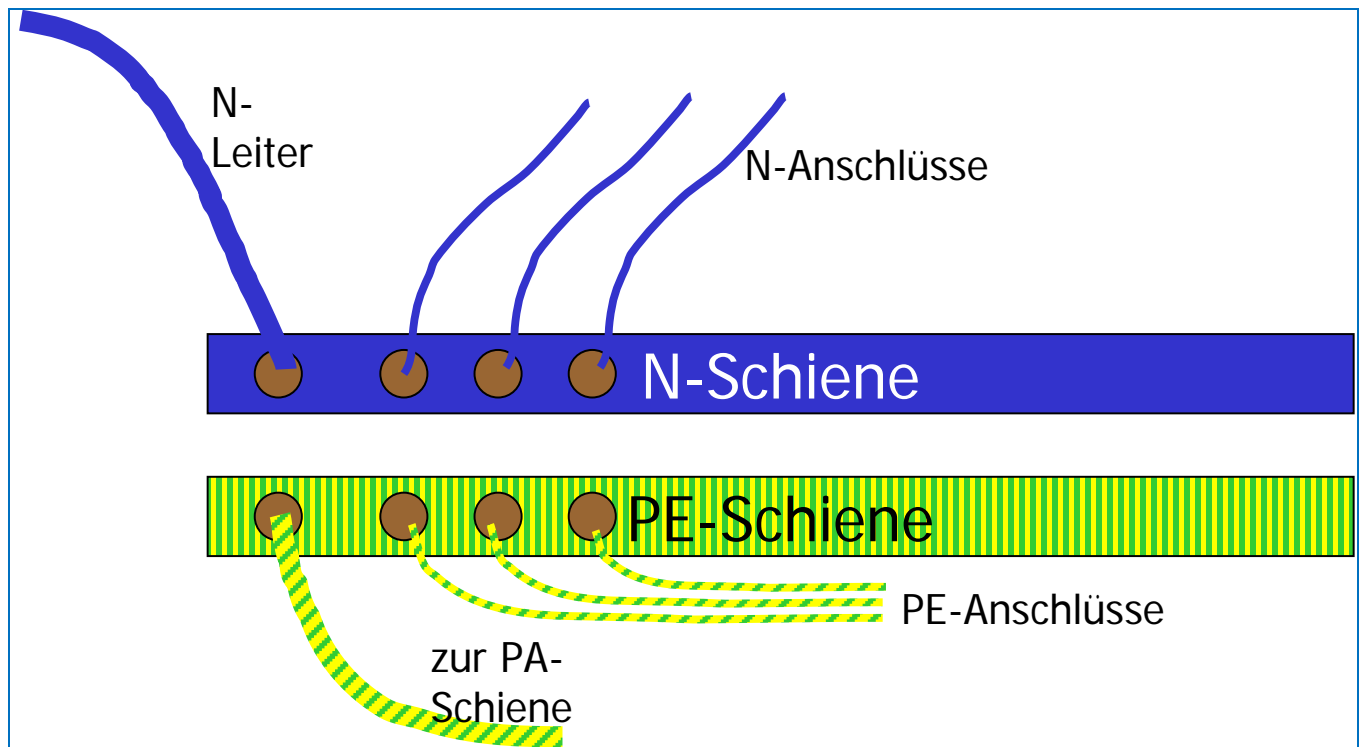
Ein Problem der separat verlegten PE-Kabel darf nicht übersehen werden. Einem derartigen Kabel sieht man in der Installation zunächst nicht an, ob es sich um einen Potenzial-Ausgleichsleiter für Badewanne, Sat-Antenne oder sonstige Objekte handelt, oder aber um einen nachträglich verlegten PE-Leiter, weil der fünfte Leiter im Kabel fehlte. Wenn bei einem dieser PE-Kabel eine Unterbrechung erfolgt, um z. B. (fälschlicherweise) ein anderes metallenes Objekt mit dem Potenzialausgleich zu verbinden, kann u. U. die Abschaltbedingung der Sicherung, die über den Stromfluss PE zur PEN-Brücke auslösen sollte, unterbunden werden, wenn zu hohe Widerstände „eingebaut“ wurden.

Eine Umrüstung eines TN-C-Netzes durch Nachlegen von PE-Leitern in nicht direkter Nähe vom ursprünglichen Kabel (Kabelbinder) funktioniert daher, muss aber sicher dokumentiert werden. Normativ wird dies nicht unterstützt.

#### 4.4 Variante TT-Netz

Die vorigen Ausführungen gelten für die meistbenutzte Anschlussform TN-C. Beim TT-Anschluss, der in einigen Teilen Deutschlands eingesetzt wird, gibt es gar keine Brücke zwischen N und PE. Hierbei kann der Energieversorger nicht die ausreichende Erdung des Anschlusses garantieren. Daher liefert er gleich den reinen „N“.

Der Anschluss ist dann wie folgt zu realisieren:



Hier muss die Erdung so gut leitend sein, dass im Fehlerfall ein ausreichend hoher Strom gegen Erde fließen kann, damit das Sicherungsorgan (Automat) auslösen kann. Anderenfalls ist der Personenschutz nicht gewährleistet.

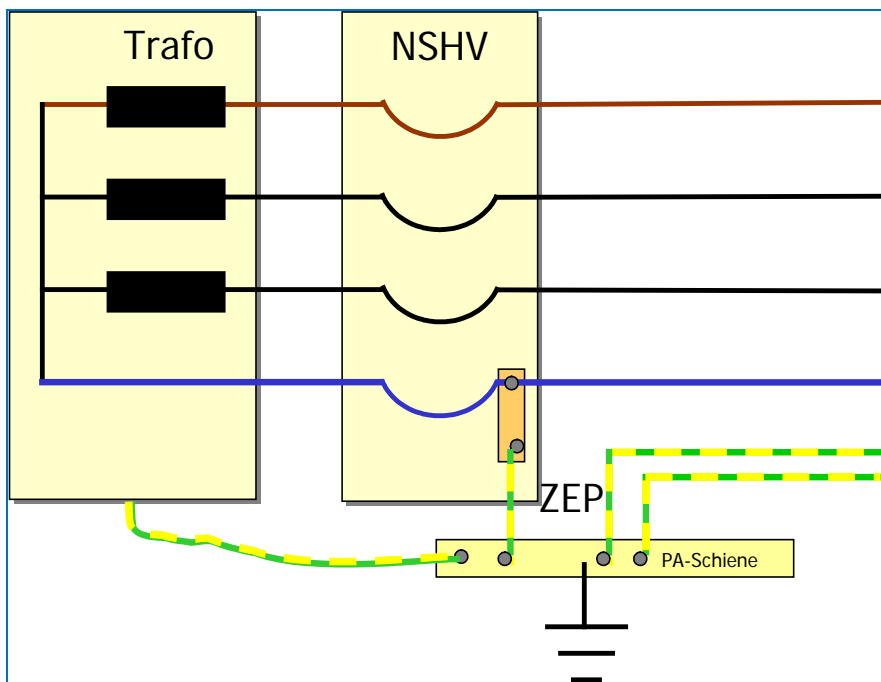
Daher werden in TT-Installationen RCD (FI-Schutzschalter) eingesetzt.

#### 4.5 Eigener Trafo

Größere Objekte werden meist mit einem eigenen Trafo (oder mehreren) ausgerüstet. Dieser steht dann an der Einspeisestelle des Energieversorgers (Verteilnetzbetreiber) und wird aus der Mittelspannungsebene (z. B. 10 KV) versorgt.

Auch hier kommt es darauf an, ein sauber strukturiertes TN-S-System zu realisieren.

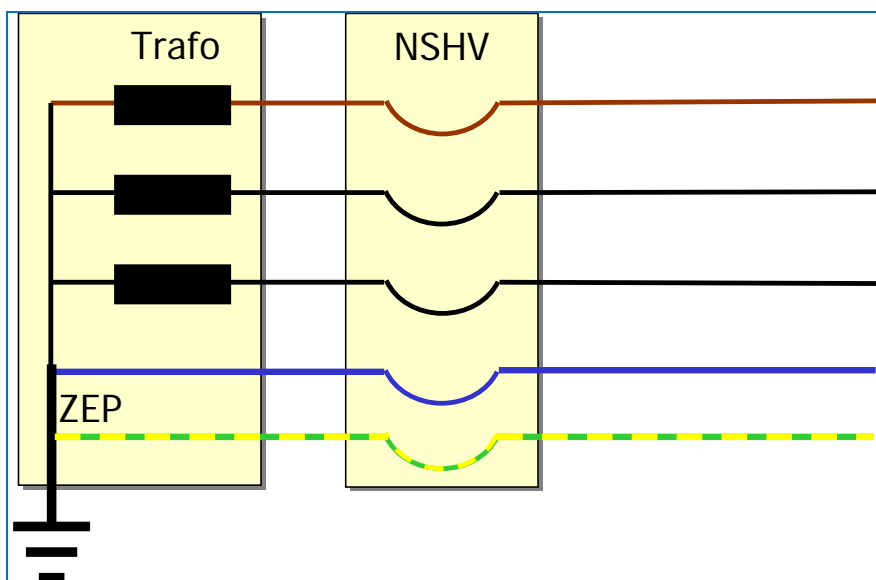
Wenn der Trafo in der Nähe der Hauptverteilung steht, so kann die Verbindung wie folgt geschehen:



Der Sternpunkt des Trafos ist nicht direkt geerdet (anders als der Netzversorger es macht), ab NSHV ist ein reines TN-S-System mit Fünfleiter-Kabel installiert.

Diese Variante hat den Vorteil, dass man an der PE-N-Brücke eine Messeinrichtung problemlos montieren kann, um das Objekt permanent auf PE-Ströme überwachen zu können.

Ist der Trafo nicht in der Nähe der NSHV installiert, empfiehlt sich folgende Verbindung:



Ab Trafo wird eine durchgehende Fünfleiter-Verkabelung eingesetzt, es sind keine weiteren PE-N-Brücken vorhanden.

Im Fehlerfall fließt der Auslösestrom über die PE-N-Verbindung am Trafo.

Weitere Erdungen im PE-Zweig (Vermaschungen) sind sinnvoll und sollten zur insgesamt niederimpedanten (vermaschten) Erdung des Gebäudes führen. Siehe dazu auch die EN50174 und DIN VDE 0100-444.

## 4.6 Mehrfacheinspeisungen

### 4.6.1 Beispiel

Für diese Betrachtung nehmen wir folgendes Beispiel einer größeren Installation mit Notstrom-Versorgung:

Eine Netzversorgung durch den Verteilnetzbetreiber („EVU“) erfolgt mittels 4-Leiter (Phasen und PEN). Zusätzlich müssen ein stationäres und ein mobiles Aggregat zur Notstromversorgung angeschlossen werden.

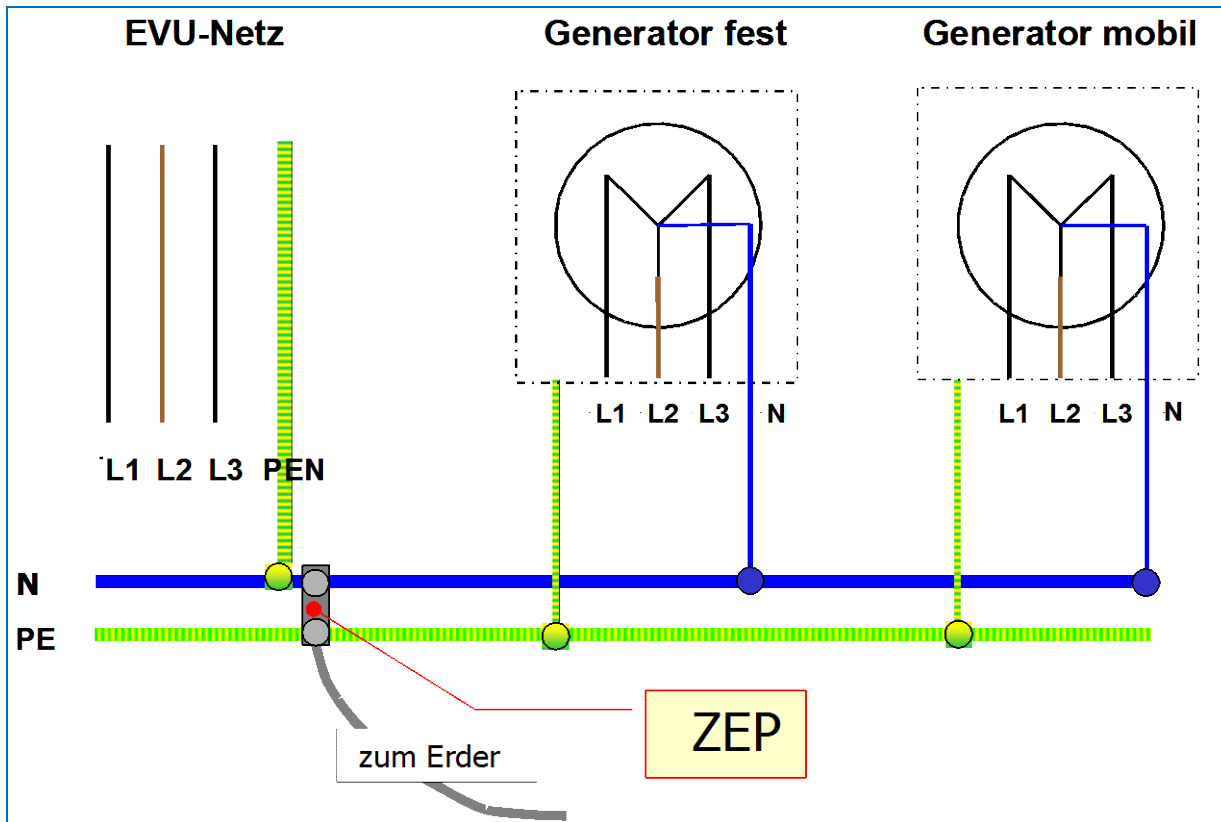
### 4.6.2 Realisierungsvorschlag

Zunächst ist zu bedenken, dass der mobile Generator (LKW) keine richtige Erde besitzt und daher der Berührungsschutz (PE) für die eingebaute Installation auf andere Art sichergestellt werden muss.

Wenn eine Erde vorhanden ist, z. B. durch einen Erdspeiß, so liegt ein TN-S bzw. TT-System vor, eine PE-N-Brücke ist falsch und darf nicht installiert sein. Wenn keine Erde vorhanden ist, muss der Personenschutz über eine externe Erde, z. B. von der stationären Installation, beigebracht werden. Für die reine Stromerzeugung ist die Erde nicht notwendig.

Nun wird sichergestellt, dass über einen zentralen Erdungspunkt in der Hauptverteilung eine definierte Auftrennung des PEN-Leiters zu N und PE erfolgt. Die Ankopplung der weiteren Aggregate darf diesen zentralen Erdungspunkt nicht beeinflussen.

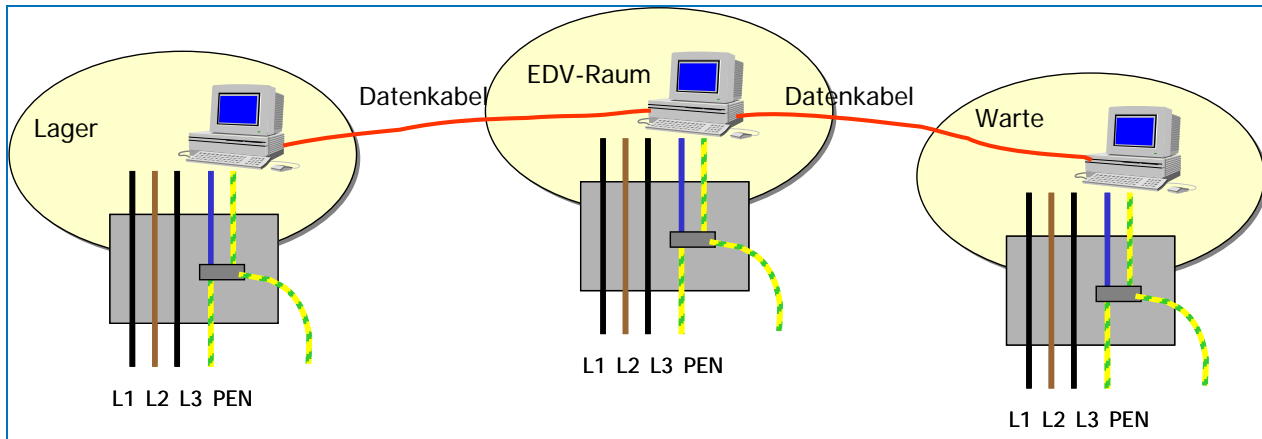
Die folgende Grafik zeigt die Verhältnisse bei einer Mehrfach-Einspeisung. Es ist hier konsequent die Trennung von N und PE durchgeführt:



Der mobile Generator muss zunächst mit seinem PE-Anschluss mit der Festinstallation verbunden werden. Anschließend N und die Phasen.

## 4.7 Verschiedene Unterverteilungen – Erdschleifenbildung

Unterverteilungen müssen von einer zentralen Hauptverteilung über 5-Leiter-Kabel als TN-S-Systeme gespeist werden. Anderenfalls passieren undefinierte Effekte, wenn z. B. IT-Systeme aus verschiedenen Unterverteilungen zusammengeschlossen werden, z. B. über ein LAN auf Kupferbasis (CAT 5/6/7). Diese Problematik verdeutlicht folgende Grafik:



Ausgleichströme zwischen den einzelnen Inseln können nicht ausgeschlossen werden, abhängig von den Verhältnissen in der Hauptverteilung (Potenziale, Erdschleifen). Probleme mit Blitzteilströmen sind nicht in Griff zu bekommen, Schäden quasi vorprogrammiert.

Um derlei Probleme grundsätzlich zu vermeiden, sollten alle Unterverteilungen ab Hauptverteilung mittels TN-S angeschlossen werden. Der ZEP wird in dieser Hauptverteilung optimal ausgeführt. Es gilt der Grundsatz: „Single Point Grounded“. Wenn dieser einzige und gemeinsame Erdungspunkt nicht realisiert werden kann, müssen die sich ergebenden autarken TN-C-S-Inseln über LWL-Kabel gekoppelt werden

Aber Achtung: Die Nutzung von LWL-Kabel führt dann zu Problemen, wenn nach Jahren eine neue Anlage installiert wird und die zuvor gemachten Festlegungen und Entkopplungen über LWL übersehen werden.

### Grundsätzliche Ausnahme:

- Entfernt stehende Einspeisepunkte werden nicht miteinander verbunden. Jeder dieser Punkte ist ein eigenständiges TN-S-System und ist nur an vorhandene gemeinsame PA / Erder angeschlossen.
- Verbindungen der N – Leiter untereinander verschiedener/getrennter Netze sind nicht zulässig.
- Bei Umschalteneinrichtungen muss deshalb 4-polig (also mit N-Leiter) umgeschaltet werden.

## 4.8 Stabilität gegen externe Überspannungen

Die oben beschriebenen vagabundierenden Ströme, die unkontrolliert z. B. über das Erdreich zum Trafo zurückfließen, stellen damit Strom-Beipässe dar. Über diese Wege kann bei einem Gewitter die Energie eines nahen Blitzes in das Gebäude und die Stromversorgungs-Systeme eindringen. Damit sind erhebliche Elektronik-Defekte vorprogrammiert.

Wenn durch eine konsequente TN-S-Verkabelung ab ZEP derartige Bypässe nicht vorhanden sind, kann auch keine Blitzenergie über das Erdungssystem auf die aktiven Leiter (L, N) eindringen. Wenn ein System nur an einer Stelle (ZEP) geerdet ist, wird die ganze

Spannungsversorgung potenzialmäßig angehoben, es kann aber kein Strom fließen und damit wird in praktisch allen Fällen auf diesen Wegen kein Schaden verursacht.

Eine gute TN-S-Verkabelung wirkt daher besser als aufwändige Blitzschutzmaßnahmen und ist in der Regel deutlich preiswerter. Das bedeutet aber nicht, dass grundsätzlich auf Überspannungsschutz-Einrichtungen verzichtet werden kann. Zuleitungen von Daten- und Fernmeldekabel in Gebäude sollten stets abgesichert werden, insbesondere dann, wenn keine enge Bebauung vorliegt.

Ohne ein TN-S-System sind Investitionen in Blitzschutz-Komponenten praktisch nutzlos, da die zerstörerische Energie über nicht zu sichernde Pfade (Beipässe) eindringen kann.

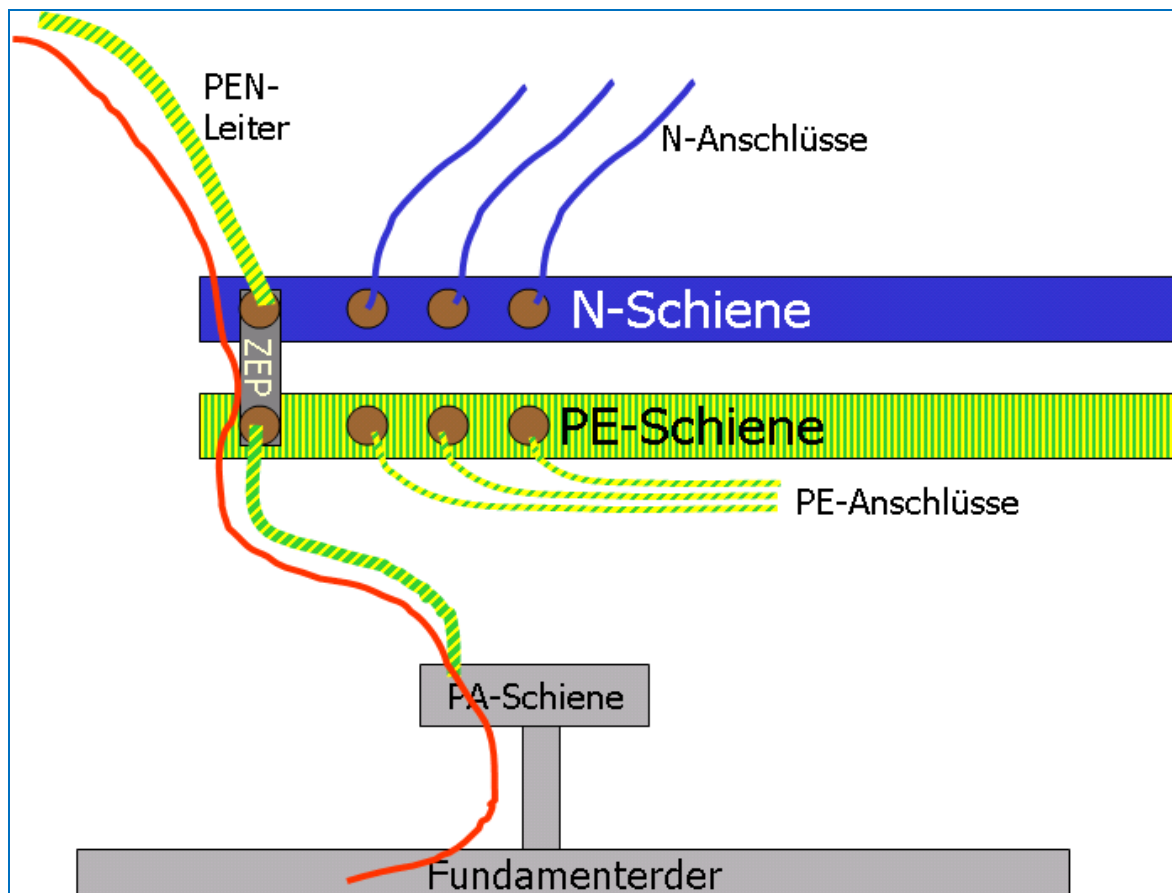
Auch die hohe Beständigkeit von TN-S-Systemen gegen Kurzzeitunterbrechungen seitens des EVU hat sich in der Praxis eindeutig gezeigt.

#### 4.9 Fremdbestimmte PA-Ströme

Es kann in verschiedenen Fällen dazu kommen, dass trotz aller optimalen Installationen Ströme auf dem PA-Anschluss und auch auf der PE-N-Brücke fließen, die nicht beeinflusst werden können.

Dies resultiert aus der weitläufigen Erdung der PEN-Leiter in den Gebäuden. Damit können vagabundierende Ströme aus Nachbar-Gebäuden in das eigene Objekt eindringen und über den PEN-Leiter zum Verteilnetzbetreiber abfließen.

Die folgende Grafik zeigt den Weg (rote Linie):



Diese Ströme sind von selbstverursachten Strömen zu differenzieren. Die Unterscheidung ist manchmal nicht ganz leicht und erfordert entsprechende Erfahrungen.

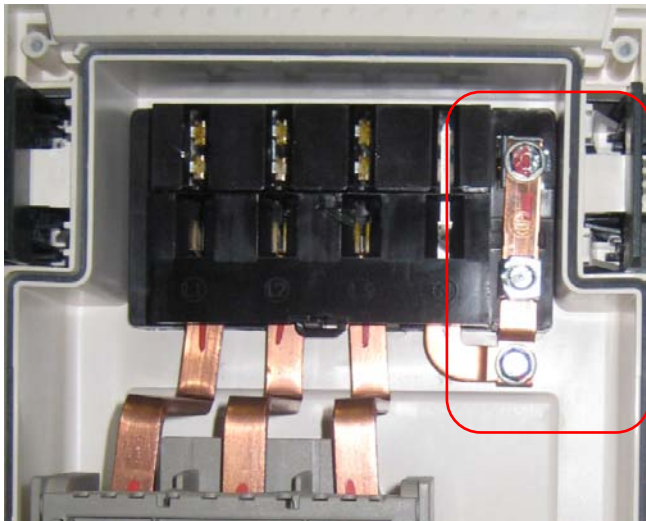
## 5 Mögliche Fehler in der Elektroinstallation

### 5.1 PE-N-Brücke

Im TN-S-System darf nach der PE-N-Brücke am Zentralen Erdungspunkt ZEP keine weitere PE-N-Verbindung bestehen.

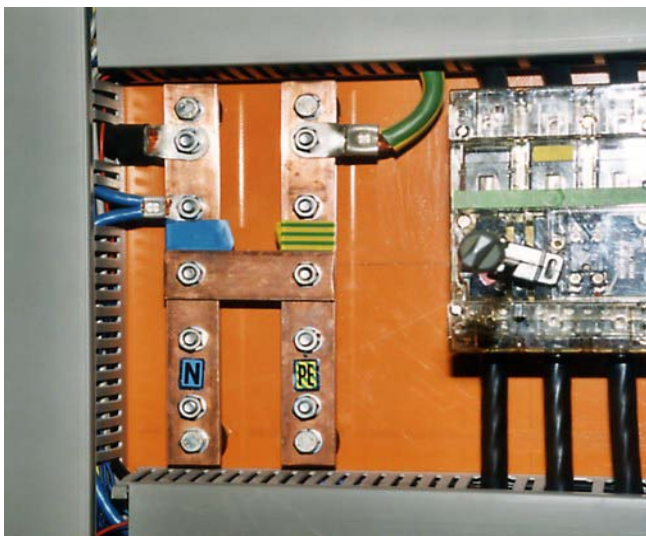
Dies wird von den Elekrounternehmen oftmals nicht beachtet. So konnte beispielsweise an einer nicht benutzten Ankoppeleinheit eines Stromschienensystems eine PE-N-Brücke gefunden werden.

Auffallend war hierbei zunächst die Markierung an der Ankoppeleinheit zum Stromschienensystem, welches nach Typenschild eine PE-N-Brücke (im TN-S-System nicht statthaft) aufweisen soll. Da sich in diesem Raum eine nicht beschaltete Ankoppeleinheit befand, konnte diese ohne Rückwirkungen geöffnet werden. Eine PE-N-Brücke war hier tatsächlich noch vorhanden! In dem Gebäude waren noch mehrere dieser Reserveeinheiten installiert, also auch noch diverse PE-N-Brücken.



PE-N-Brücke

Auch in einer nachgerüsteten Unterverteilung, die so fertig angeliefert wurde, war eine PE-N-Brücke vorhanden und nicht entfernt worden.



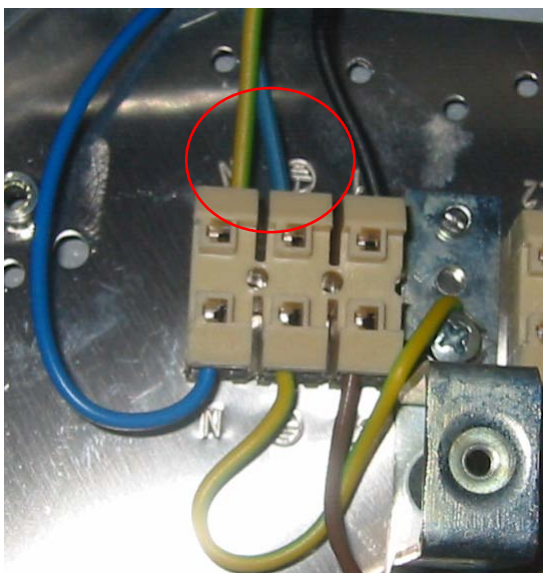
Die Folge war ein massiver Schaden im Gebäude sofort beim ersten Gewitter nach Installation der Verteilung.

## 5.2 Weitere Beispiele

Außer den bekannten und schnell lokalisierten PEN-Brücken in Schaltschränken verbirgt sich in Installationen eine Vielzahl von Fehlerquellen, von denen hier einige angeführt werden, um Impulse zur Suche zu geben:

### 5.2.1 Vertauschung N-PE

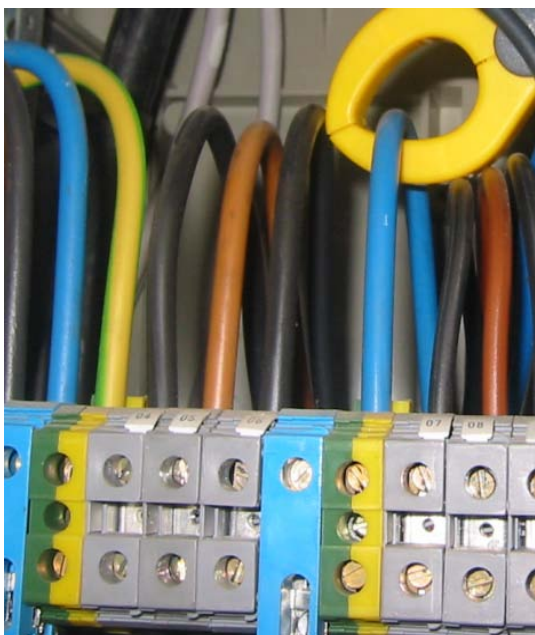
Öfter als man glaubt werden N- und PE-Leiter vertauscht. So wie in dieser Decken-Einbauleuchte:



Sobald die Leuchte in der Decke montiert war, bestand Kontakt zwischen N und der Stahl-Armierung, die (richtigerweise) mit dem PE/PA-System verbunden war. Vagabundierende Ströme waren die Folge – und ein umfangreicher Schaden bei einem Gewitter.

### 5.2.2 Falsche Klemme

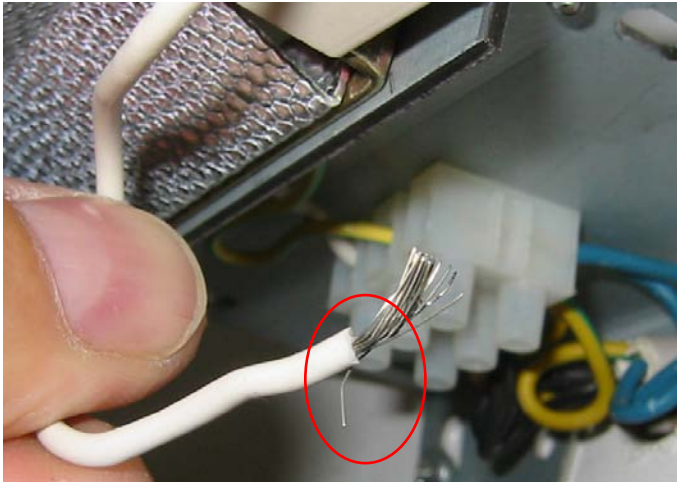
Wie im nachfolgenden Bild zu sehen, war hier der N-Leiter des Abgangs auf die PE-Klemme gelegt:



über 300 mA gingen ins PE-System

### 5.2.3 Andere Kopplungen

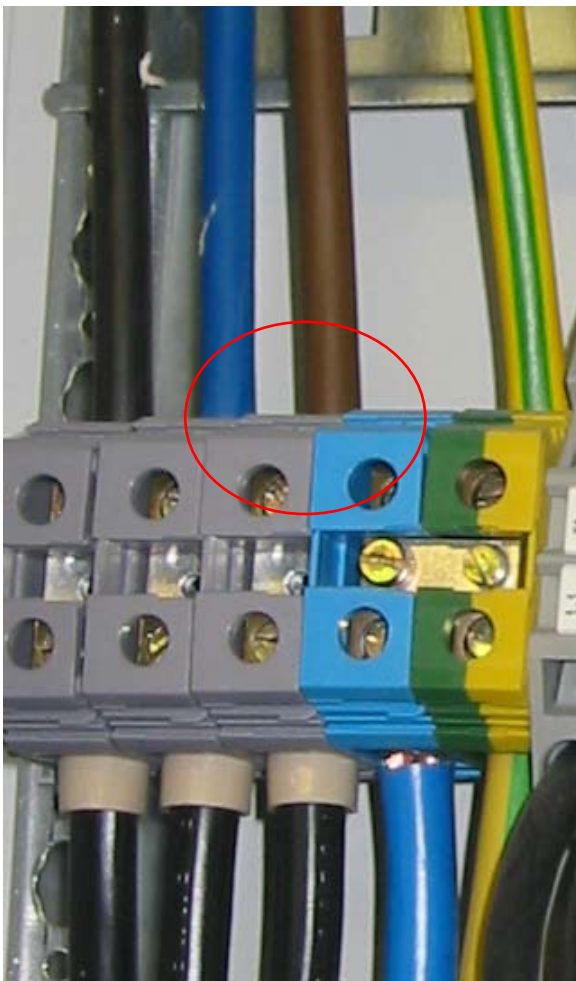
Ganz hinterlistige Kopplungen sind teilweise nur mittels Lupe zu erkennen:



Dieser kleine Draht eines Anschlusses in einer Designerleuchte verband N-Leiter mit dem Gehäuse. Da kein FI-Schutzschalter installiert war, wurde der Fehler nicht bemerkt.

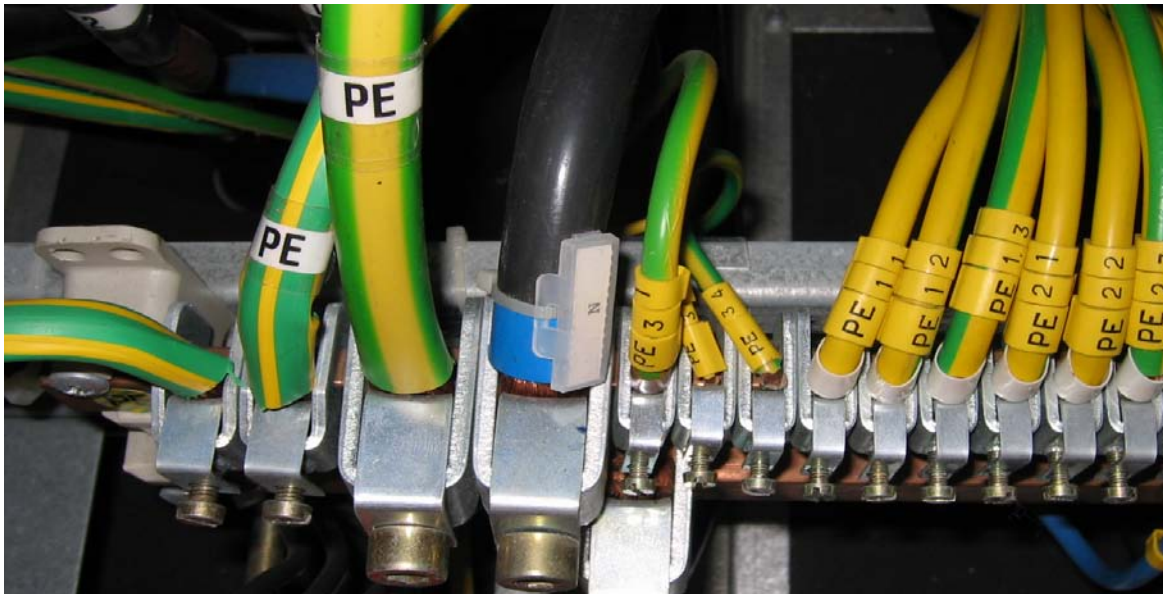
### 5.2.4 Die „aus 4 mach' 5-Technik“

Immer wieder findet man den undefinierten Übergang von 4-Leiter auf 5-Leiter-Technik. Ob der Strom weiß, dass es nach der Klemme ein PE-Leiter geben soll, der keinen Strom mehr führen darf?



## 5.2.5 Gewachsene Installationen

Ganz häufig treten Fehler in gewachsenen Elektroinstallationen auf. Dort haben dann viele „Elektriker“ herumgewerkelt.



PE- und N-Leiter

Derartige Fehler sind dann nicht „mal eben“ zu bereinigen.

Von obigen falschen Beschaltungen könnte man aus der Praxis hunderte von Beispielen aufführen, die stets auf die gleiche Problematik der nicht ordnungsgemäßen Stromflussverhältnisse aufweisen.

## 6 Verursachung der Störungen in elektronischen Systemen

Bisher wurden die richtigen elektrotechnischen Installationen dargestellt.

Betrachten wir nun, WIE sich die vagabundierenden Ströme auf dem PE/PA-System auf die elektronischen Systeme auswirken.

Auch hier gibt es wieder die drei physikalisch möglichen Kopplungsarten, galvanisch, kapazitiv und induktiv.

### 6.1 Galvanische Kopplungen

Wenn in einem Objekt vagabundierende Ströme vorliegen, fließen diese auch über die Schirme von Netzwerkverbindungen. Der Schirm des Netzkabels ist über die Netzwerkbuchse auch mit der Masse eines Rechner-Motherboards verbunden. Ein 50Hz-Strom wird kaum Auswirkungen zeigen. Aber hochfrequente Störimpulse, die z. B. bei Schaltheandlungen entstehen oder von Frequenzumrichtern (Aufzüge, Klimasysteme) verursacht werden, führen schließlich zu Störungen im Betrieb der Rechner.

Galvanische Kopplungen sind relativ leicht zu messen und somit auch zu lokalisieren. Problematisch ist die Verbreitung von Störsignalen über das gesamte PA-System und damit zu breit gestreuter Störbeeinflussung.

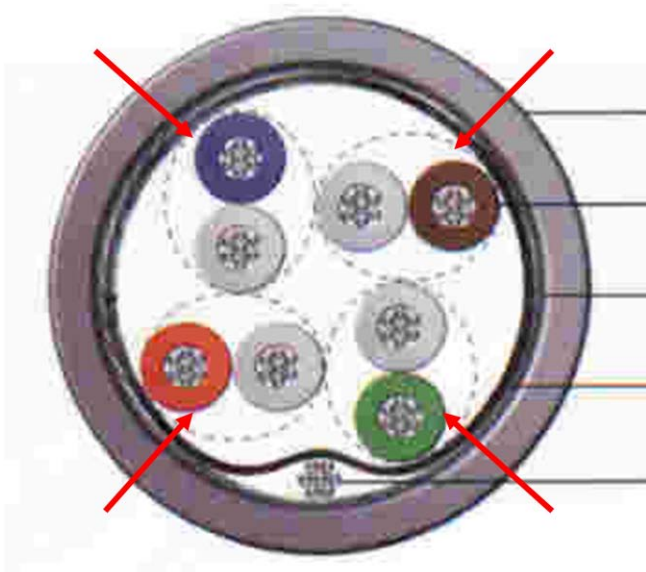
### 6.2 Induktive und kapazitive Kopplungen

Zur Vereinfachung kann man diese beiden Kopplungsarten zusammenfassen.

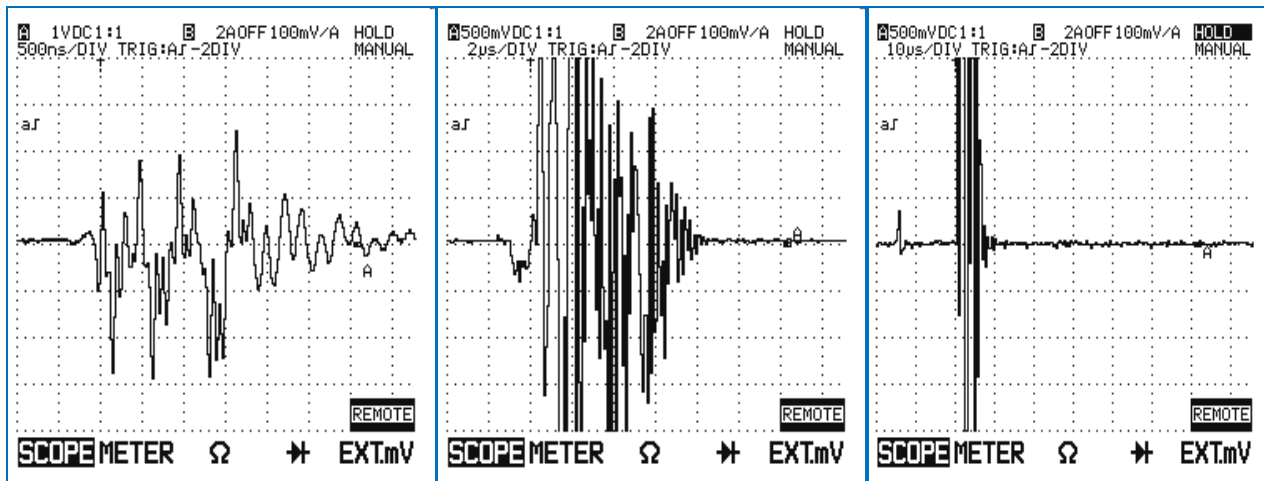
Diese Kopplungsarten sind deshalb so tückisch, weil sie in Objekten meistens zu sporadischen und messtechnisch schwer nachzuweisenden Effekten führen, da man zunächst kaum Erkenntnisse über die Art der Störbeeinflussung hat.

#### 6.2.1 Messungen im Labor

Die Auswirkungen von Strömen auf dem Schirm eines Datenkabels sind auch labormäßig reproduzierbar. Der Schirmstrom mit hochfrequentem Anteil verursacht Einkopplungen auf die verdrehten Signalleitungen.



Die auf einem nicht für die Fast-Ethernet-Übertragung benötigten Adernpaar (niederohmig abgeschlossen) gemessenen Einkopplungen waren enorm:



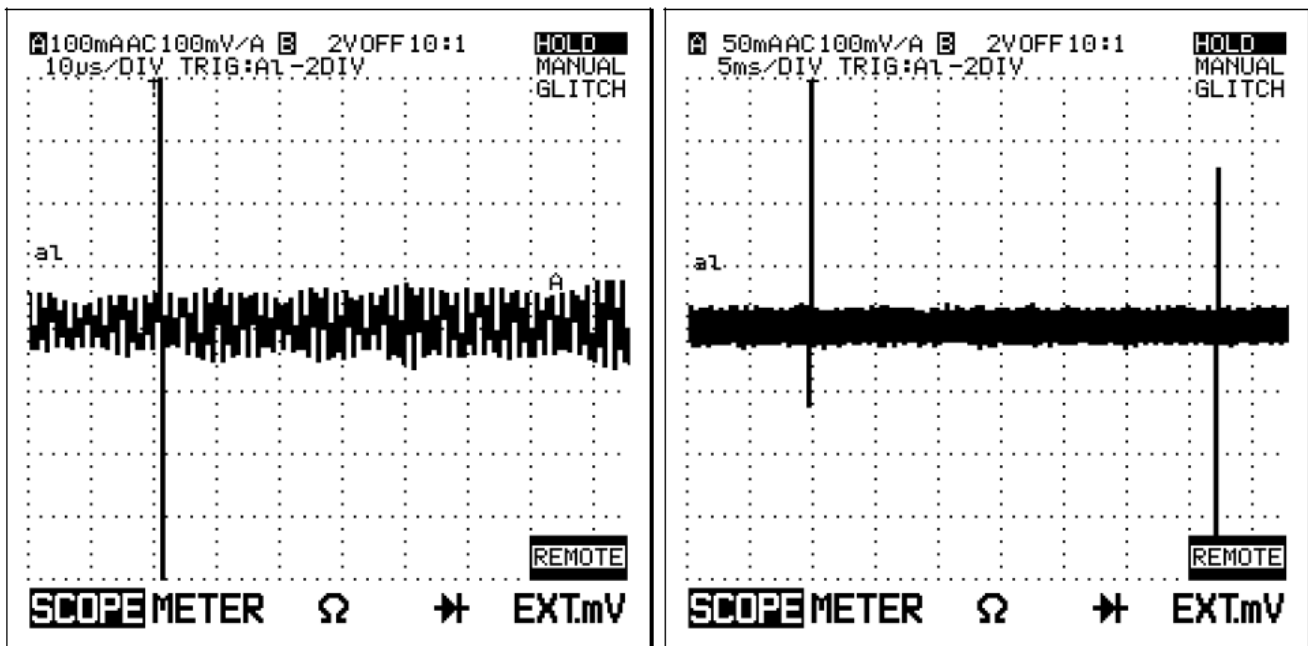
Bei der Ethernet-Übertragung auf den dafür aktiven Signalleitungen im Kabel kommt es zu gleichartigen Einkopplungen, die wiederum zur Störung in der Übertragung der Datenpakete führen. Diese können vom Empfänger nicht mehr fehlerfrei erkannt werden. Die Übertragung kommt ins Stocken, nur über die Wiederholungsverfahren der höherwertigen Protokolle (TCP/IP) werden in der Regel Datenverluste vermieden.

### 6.2.2 Auftreten in Objekten

In komplexen Installationen mit vagabundierenden Strömen und damit nicht ausgeglichenen Stromflussverhältnissen in einem Kabel kommt es um dieses Kabel herum zu einem starken Magnetfeld. Wenn – wie es oft passiert – derartig mit Magnetfeldern beaufschlagte Starkstromkabel zusammen mit oder in der Nähe von Schwachstromkabeln verlegt werden, ist schon klar was passiert.

Kommt es zu Störspitzen auf Grund von Schaltvorgängen, sind diese auf den Schwachstromkabeln zu messen.

In einem Krankenhaus waren diese Störungen auf dem Lichttrufsystem nachzuweisen.





Hier war es immer wieder zu nicht reproduzierbaren Fehlereffekten gekommen.

Die Einkopplung auf ISDN, EIB und LON-Systeme tritt ebenfalls immer wieder auf und führt zu undefiniertem Systemverhalten.

## 7 Messverfahren

### 7.1 Stromzange

Die erste Messung in einer Elektroinstallation erfolgt mit der Strommesszange im Bereich der PE-Abgänge an der Haupterdungsschiene.



Weiter können Messungen an jedem leicht erreichbaren PE/PA-Leiter (gelb-grüne Kennzeichnung) außerhalb von Verteilungen erfolgen:



Alle übrigen in das PE/PA-System eingebundenen leitfähigen Systeme, z. B. Heizungen, können ebenfalls messtechnisch untersucht werden:



Wie oben ausgeführt darf hier kein signifikanter Strom fließen.

Im nachfolgenden Beispiel wurde ein Strom am Erdungsanschluss einer Potenzialausgleichschiene von über 3A gemessen.



Diese 3A entstanden aus der Differenz der hier über die Zuleitungen fließenden Ströme:



Diese Werte sind um Dimensionen zu hoch.

Es gibt auch bedeutend extremere Fälle, wo auf dem PE-System Ströme von 50A und mehr gemessen wurden:



Selbst an einer Blitzableitinrichtung sind dann vagabundierende Ströme zu messen (hier mit einem Scope):



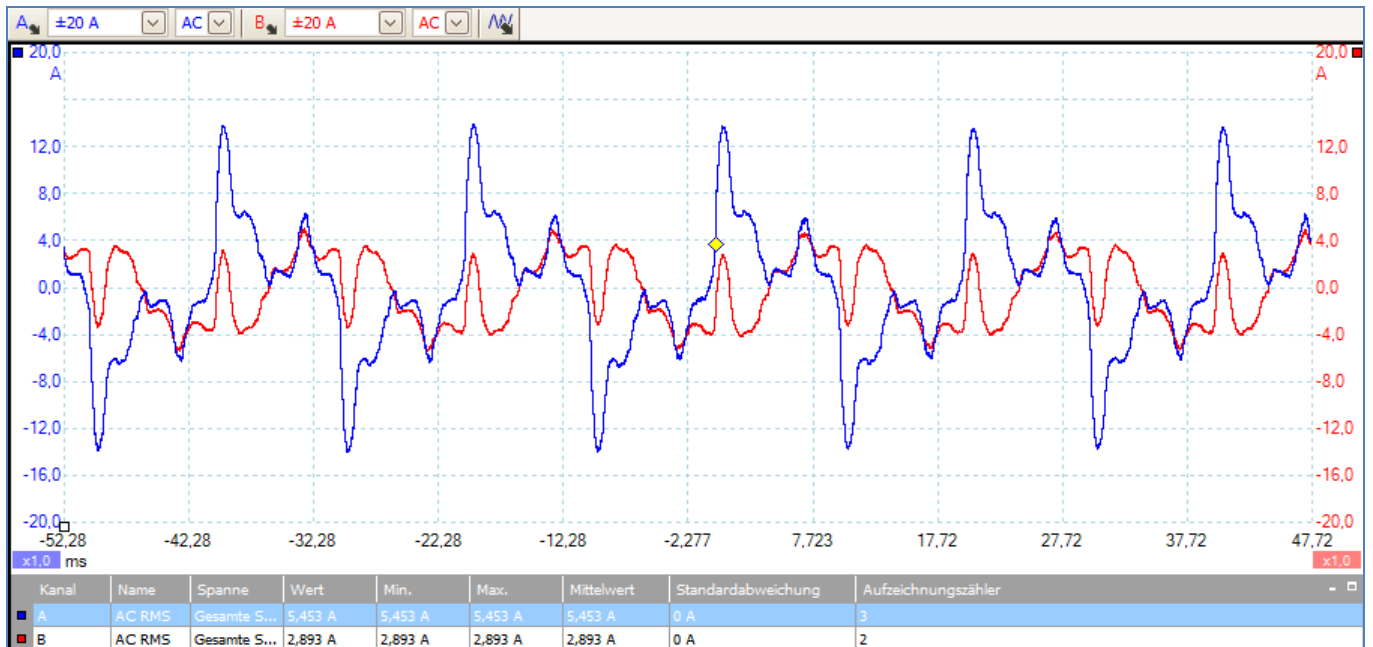
~0,8A

Für eine schnelle Überprüfung des EMV-Status sind klassische Strommesszangen unerlässlich. Wenn es aber um genauere Analysen geht, müssen die Ströme visualisiert werden. Dies erfolgt dann mit einem Oszilloskop.

## 7.2 Oszilloskop

Mit einer Strommesszange am Oszilloskop angeschlossen lassen sich die Zusammenhänge eines nicht ordnungsgemäßen Stromflusses sehr deutlich nachweisen.

Im vorliegenden Fall wurde mit einer Flex-Zange der über die Außenleiter und den N-Leiter nicht ausgeglichenen Ströme gemessen (blaue Kurve), dazu der Strom über den zugehörigen PE-Leiter (rote Kurve).



5,4 A auf Außenleitern und N-Leiter nicht ausgeglichen (blaue Kurve), 2,9 A auf PE-Leiter (rote Kurve)

Die zu den Verbrauchern fließenden Ströme gelangen also über andere Wege zum Trafo zurück (geschlossener Stromkreis). Das geht nur mit PE-N-Brücken, die außer am zentralen Erdungspunkt im Objekt noch unerlaubter Weise vorhanden sein MÜSSEN (TN-S-System).

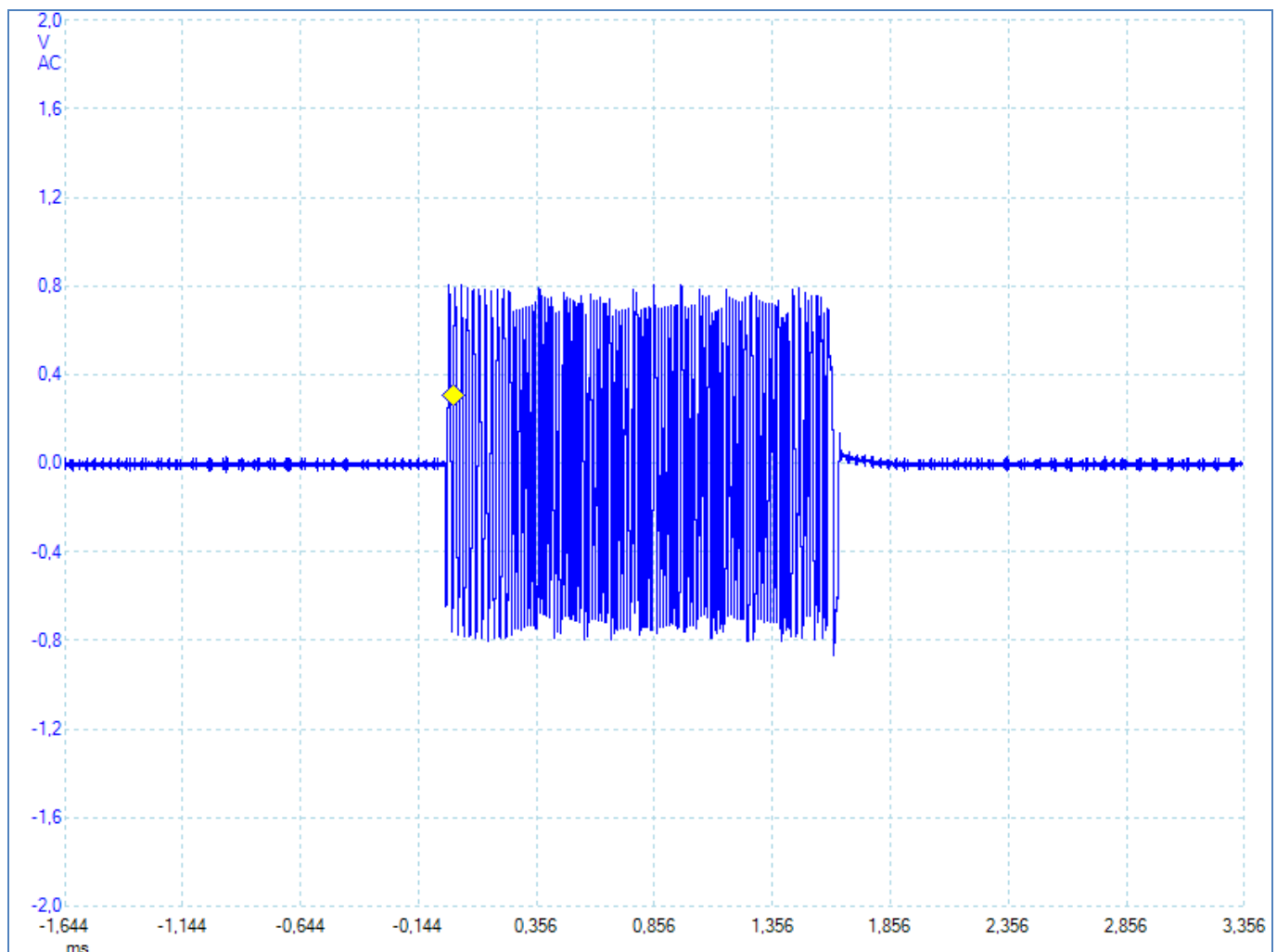
## 8 Auswirkungen auf den LON-Bus

Die Auswirkungen eines schlechten EMV-Status auf einen installierten LON-Bus sind wie folgt zusammen zu fassen.

- Im ersten Schritt der geringsten EMV-Störbeaufschlagung zeigen LON-Komponenten nicht definierbares Verhalten. Wenn man das bei einer bewegungsabhängigen Beleuchtungssteuerung betrachtet, so hat man nachts den Eindruck, dass das Gebäude permanent „lebt“. Es wird eine nicht zutreffende Anwesenheit erkannt.
- Wenn die Störbeaufschlagung stärker wird, verlieren LON-Komponenten ihre Applikation und müssen neu programmiert werden.
- Bei weiter steigendem Störpegel muss auch die Firmware neu programmiert werden.
- Im extremsten Fall ist das Modul nicht mehr ansprechbar und hardwaretechnisch defekt.

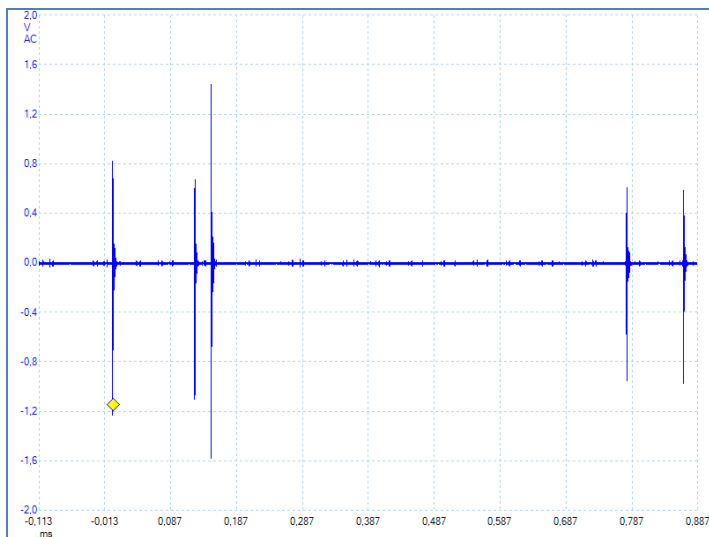
Die Störungen konnten messtechnisch auf dem LON-Bus nachgewiesen werden.

Betrachten wir zunächst das typische Signal auf dem LON-Bus, hier in einem großen Bürogebäude:

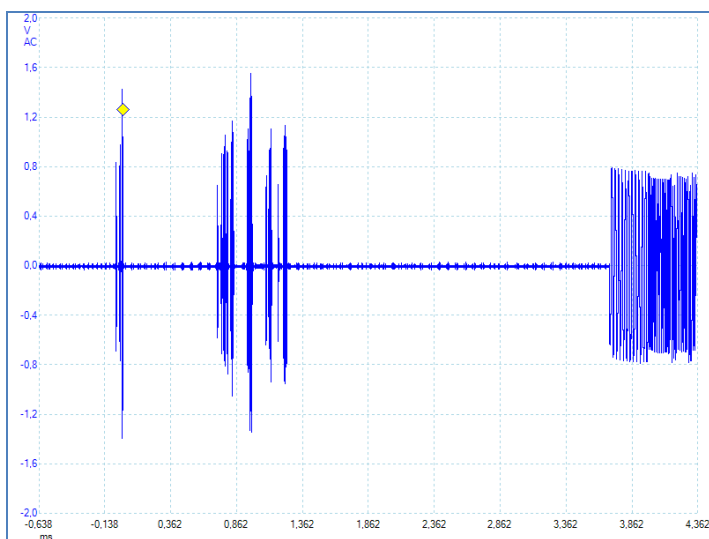


Standard-LON-Bustelegamm

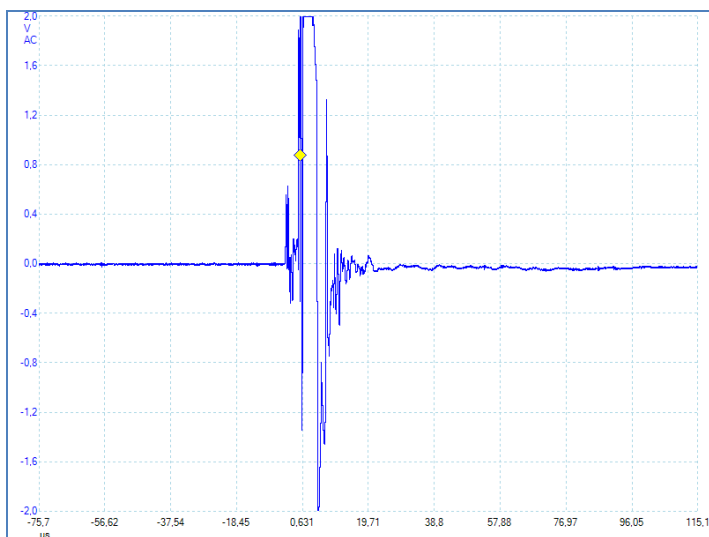
Im beeinflussten Objekt waren erhebliche Störimpulse auf dem LON-Bus zu messen, die beispielweise von Schaltvorgängen im Objekt verursacht werden können. Durch das starke Magnetfeld um ein Starkstromkabel mit nicht ausgeglichenen Stromflussverhältnissen können sich die Störimpulse in benachbart verlegte Signalkabel einkoppeln.



Störimpulse durch im Raum aktivierte Jalousie



Störimpulse vor Datentelegramm



Störimpuls ~ 20 µs lang

Mit jeder Verbesserung des EMV-Status durch Entfernen von PE-N-Brücken reduzierte sich der Störbelag auf dem LON-Bus.

Schließlich war der Status eines störungsfrei funktionierenden LON-Bussystems gegeben.

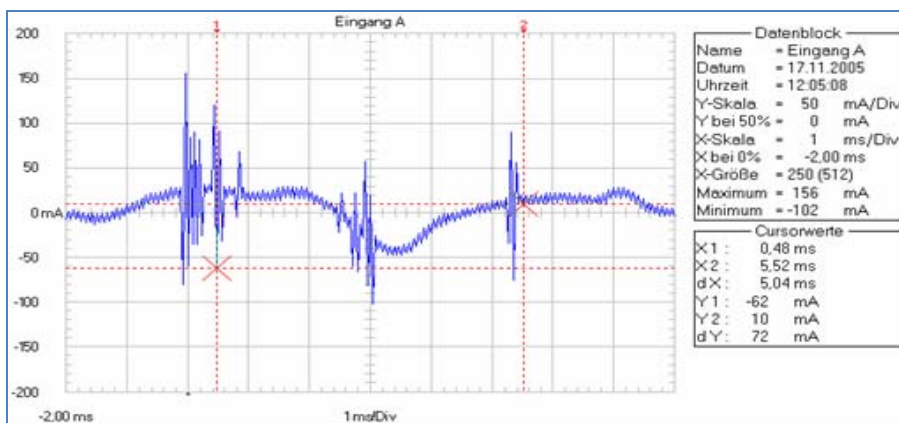
## 9 Auswirkungen auf eine LAN-Infrastruktur



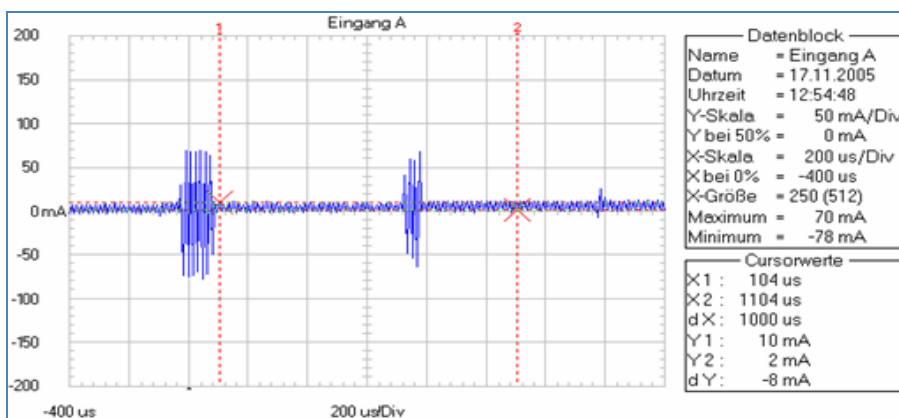
Bei einer umfangreichen LAN-Infrastruktur kam es zu Störungen und Defekten, die man sich nicht erklären konnte.

Auf den Netzkabeln waren sporadisch Störimpulse zu messen, die sofortige Auswirkungen auf die IT-Komponenten hatten.

Messaufbau, Messzange um Datenkabel



sporadische Bursts < 1ms



Die Ursache lag in dem Lichtbogen eines Leistungsschützes, dessen Hochfrequenz-Signale sich über das PE/PA-System des Objektes verteilen konnten und durch eine fehlerhafte Beschaltung am Gebäude-eigenen Transformator in das Objekt einkoppelten.

Die fehlerhafte Beschaltung am Transformator (doppelte Erdung, Erdschleife) wurde entfernt, die Störungen traten nicht mehr auf.

## 10 Schadenrisiko bei Gewitter

Durch einen schlechten EMV-Status und vagabundierende Ströme auf dem PE/PA-System eines Objektes steigt das Risiko von Defekten im Zusammenhang mit einem Gewitter stark an.

Dieses Thema ist selbst sehr umfangreich, daher können hier nur die wichtigsten Aspekte erwähnt werden.

Treten vagabundierende Ströme im Normalbetrieb auf, so können Blitzteilströme ungehindert in die Objekte fließen und verursachen dann massive Defekte. Die üblichen Überspannungsschutzkomponenten helfen hier nicht weiter, weil die zerstörerischen Blitzenergien quasi über die Hintertür eindringen.

## 11 Checkliste

Eine komplette Checkliste würde viele Seiten füllen. Wichtig ist das Verständnis der EMV-Problematik und auf welche Aspekte man achten muss. Daher hier nur die wichtigsten Punkte.

### 11.1 Hauptverteilung

Auf folgende Punkte ist grundsätzlich zu achten.

- Ist eine durchgehende Fünfleitertechnik vorhanden, also ein TN-S-System realisiert?
- Ist die Stromfreiheit des PE/PA-Systems beispielsweise an den Abgängen der Haupterdungsschiene gemessen?
- Bestehen vagabundierende Ströme im PE/PA-System?

Wenn ein Punkt nicht soll-konform vorliegt, kann man das Risiko von EMV-bedingten Störeinflüssen als deutlich erhöht ansehen.

### 11.2 Elektrotechnische Infrastruktur im Gebäude

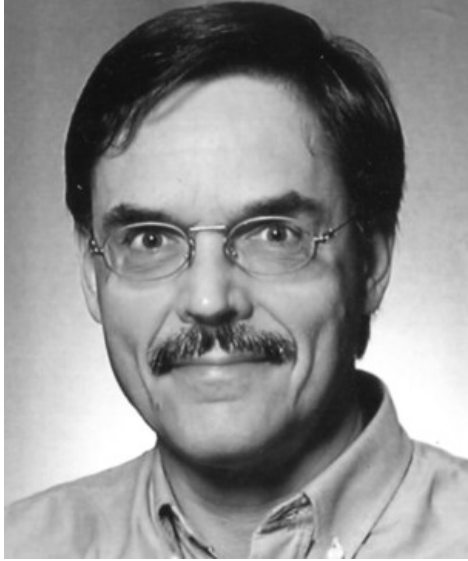
- Sind Abstände zwischen energieführenden Leitungen und Datenleitungen eingehalten?
- Blitzschutz: Bestehen Näherungen zwischen äußeren Ableiteinrichtungen und innerer Infrastruktur?
- Sind Ausgleichsströme über dem Schirm von Datenleitungen vorhanden (vagabundierende Ströme)?
- Gibt es PE – N – Brücken außerhalb der Hauptverteilung?
- Sind die Ströme über die Zuleitungen zur Verteilung ausgeglichen?
- Sind hochfrequente Störquellen (Frequenzumformer & Co.) im Objekt vorhanden und werden deren Störsignale richtig abgeleitet?
- Ist die Photovoltaik auf dem Dach entsprechend installiert?

## 12 Literatur

Weiterführende Literatur zu diesem sehr umfangreichen Thema sei hier – zumindest auszugsweise – aufgeführt:

- Sachverständiger Karl-Heinz Otto - „Die verPENnte Elektroinstallation“ (mehrere Ausgaben seit 1999)
- Peter Gabler - „Ihr Computer läuft nicht an jeder Steckdose“
- DIN VDE 0100-444 -EMV in Gebäuden, EN50174 und andere aktuelle Normen

## Autor



**Hans-Joachim Otto**, Dipl.-Elektroingenieur, ist von der Industrie- und Handelskammer Essen öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Technik und Systeme der Informationsverarbeitung, insbesondere Telekommunikation Verbindungspreisberechnung

**Zur Person:** Jahrgang 1956, seit 2001 ausschließlich als Sachverständiger tätig (weitere Details: siehe Website)

**Bestellungstonor:** Technik und Systeme der Informationsverarbeitung (insbesondere Telekommunikation), Verbindungspreisberechnung, Überprüfung von Geldspielgeräten

**Mitgliedschaft:** VSE – Vereinigung öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der Industrie- u.

Handelskammer Essen, Mülheim, Oberhausen – Sitz Essen [www.v-s-e.de](http://www.v-s-e.de), Fachgruppe Elektronik und EDV im BVS

### **Tätigkeitsschwerpunkte:**

Begutachtung und Schadensbewertung von IT- und TK-Infrastruktur und sonstigen elektronischen Systemen, insbesondere für Versicherungen (Überspannung, Wasser, Brand)

Störungsanalysen an elektronischen Systemen, besonders unter Berücksichtigung von EMV-Einflüssen

Beratung: Ganzheitliche Beratung zur Infrastruktur von IT-Systemen insbesondere unter EMV-Gesichtspunkten

Optimierung von Kommunikations-Strukturen, Projektbegleitungen

### **Adresse:**

Nussbaumweg 16

45259 Essen

Tel.: 0201 8606520

Mobil: 0172 2745476

Fax: 0201 8606529

E-Mail: [sv@sv2020.de](mailto:sv@sv2020.de)

Web: [www.sv2020.de](http://www.sv2020.de)

## Über LON®

Die LON Technologie – mit ANSI/CEA-709.x und CEA-852 standardisiert sowie als EN14908 in das europäische und als ISO/IEC14908 in das internationale Normenwerk übernommen – ermöglicht den neutralen Informationsaustausch zwischen Anlagen und Geräten von verschiedensten Herstellern und unabhängig von den Anwendungen. Die LON Technologie ermöglicht somit eine einheitliche Betrachtung der unterschiedlichsten Anwendungen und das Ausnutzen von Synergieeffekten zwischen diesen.

## Über LONMARK® Deutschland e.V.



LONMARK Deutschland e.V. versteht sich als Interessenvereinigung aller Anwender und Entwickler rund um LON im deutschsprachigen Raum. Ziele sind die Durchsetzung der LON Technologie in der Automatisierungs-, Gebäude-, Gastronomie-, Prozess- und Umwelttechnik, der Informationsaustausch über Produkte und Entwicklungen, gemeinsames Marketing und Interessenvertretung in Politik und Verbänden.

LONMARK Deutschland e.V. ist aus der 1993 gegründeten LON Nutzer Organisation e.V. (LNO) hervorgegangen, die 2006 ihren Namen in L LONMARK Deutschland e.V. geändert hat. Mitglieder sind u. a. Großunternehmen, Mittelständler, Ingenieurbüros und Forschungsinstitute.

Weitere Informationen erhalten Sie bei LONMARK Deutschland e.V., Theaterstr. 74, 52062 Aachen, Tel.: 0241-88970-36, Fax: 0241-88970-42, E-Mail [office@lonmark.de](mailto:office@lonmark.de), [www.lonmark.de](http://www.lonmark.de).