

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

**Band:** 93 (2002)

**Heft:** 23

**Artikel:** Frequenzabhängige Impedanz im versorgenden Stromnetz

**Autor:** Weitnauer, Adrian E.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855488>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Frequenzabhängige Impedanz im versorgenden Stromnetz

Bei der Abnahme einer neu ausgeführten Bus-Installation wurden unübliche Störungen festgestellt: das Einschalten des Lichts führte zur kompletten Blockade des Busses. Anhand von Versuchen konnte im versorgenden Stromnetz ein unerwarteter Resonanzeffekt im Langwellenbereich nachgewiesen werden, der vor allem beim Betrieb getakteter Stromversorgungen durch kapazitive Kopplung das Bussystem beeinträchtigen kann. Der Effekt entsteht bei Verwendung von Versorgungskabeln unterschiedlicher Bauart, wie sie in modernen Installationen überall anzutreffen sind.

Im Rahmen der Renovation eines Geschäftsgebäudekomplexes wurde unter anderem die Erschliessung einer Büro- etage mit einer neuen LON-Bus-Installation<sup>1)</sup> vorgenommen, wobei neben den

*Adrian E. Weitnauer*

üblichen Beleuchtungskörpern zusätzlich vier Leuchtenkombinationen aus Fluoreszenz- und Kleinspannungshalogenlampen eingebaut wurden.

Das Einschalten mindestens einer dieser Leuchtenkombinationen blockierte den LON-Bus reproduzierbar, was die Entscheidung nahe legte, die fraglichen Leuchten einfach zu entfernen. Eine Nachprüfung ergab jedoch, dass die Leuchten die EMV-Normen nur geringfügig verletzten; somit hätte eigentlich die abgegebene Leistung nicht ausreichen dürfen, um ein Problem in dieser Größenordnung zu verursachen.

Im Rahmen von Messungen und Versuchen vor Ort und im Labor wurde der Effekt genauer untersucht und wurden Möglichkeiten zu seiner Beseitigung aufgezeigt.

## Modell der Störungseinkopplung

Aus den ersten Messungen konnte geschlossen werden, dass im Gebäudekomplex ein schwingfähiges System existieren muss, das durch eingekoppelte Energie im richtigen Frequenzbereich in Resonanz gebracht werden kann. Da die Leuchten weit vom Buskabel entfernt sind, wurde das in Bild 1 dargestellte Ersatzschaltbild zur Störungseinkopplung verwendet.

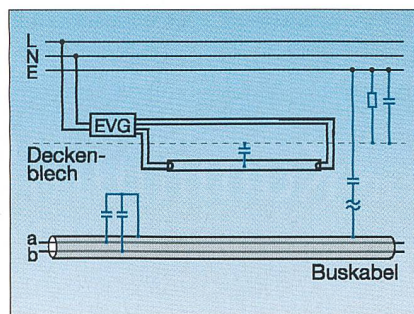


Bild 1 Ersatzschaltbild für die Störungseinkopplung  
EVG: elektronisches Vorschaltgerät

tieren muss, das durch eingekoppelte Energie im richtigen Frequenzbereich in Resonanz gebracht werden kann. Da die Leuchten weit vom Buskabel entfernt sind, wurde das in Bild 1 dargestellte Ersatzschaltbild zur Störungseinkopplung verwendet.

Geht man davon aus, dass das aus Vorschaltgerät und Leuchte bestehende System die Störenergie erzeugt, muss diese zwischen der Parallelschaltung aus Pol- und Neutralleiter und dem Schutzleiter ins Stromnetz eingespeist werden. Damit die entstehenden Spannungen in vertretbarem Rahmen bleiben, muss dort eine möglichst kleine Impedanz vorliegen. Die Störspannung wird auf kapazitivem Wege auf den Bus weitergeleitet. Die einseitige Erdung des Schirms vermag die Kopplung nicht zu verhindern, weil zwi-

schen dem Erdpunkt und dem Kopp- lungspunkt einige Dutzend Meter liegen und immer leichte Unsymmetrien vor- handen sind. Eine induktive Störfeldein- kopplung kann ausser Acht gelassen wer- den, da die wirksamen Induktivitäten in diesem Frequenzbereich bereits eine hohe Impedanz aufweisen.

Diese Erkenntnis legte den Schluss nahe, dass das Stromnetz oder vielmehr dessen frequenzabhängige Quellimpe- danz den Effekt mit verursachte.

## Verfahren zur Bestimmung der Quellimpedanz des Stromnetzes

Da das Messverfahren zur Bestim- mung der frequenzabhängigen Quellim- pedanz des Stromnetzes auch bei in Be- trieb stehenden Versorgungssträngen mit frei durchstimmbarer Messfrequenz funktionieren muss, scheiden herkömmliche Komponententester<sup>2)</sup> aus.

Deshalb wurde für die Prüfung ein Verfahren nach dem Prinzip der Vektor- voltmeter-Methode<sup>3)</sup> angewendet, wel- ches die komplexe Impedanz bei einer beliebigen Frequenz zu bestimmen ver- mag und ihren Betrag jeweils grafisch darstellt.

Ein Funktionsgenerator liefert ein Si- nussignal mit einstellbarer Frequenz und Amplitude über eine Koppelbrücke an die unbekannte komplexe Impedanz  $Z_X$  (Stromnetz) und die bekannte reelle Impedanz  $Z_0$ . Die entsprechenden Spannungen  $Y_X$  und  $Y_0$  werden durch ein compu- tergesteuertes Oszilloskop erfasst und durch eine speziell für diesen Zweck ent- wickelte Software analytisch ausgewertet (Bild 2).

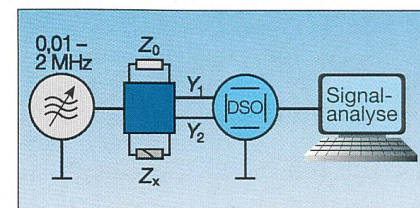


Bild 2 Messanordnung zur Bestimmung der frequenzabhängigen Quellimpedanz des Stromnetzes  
 $Z_0$ : Referenzimpedanz;  $Z_X$ : Quellimpedanz des Stromnetzes;  $Y_1$ : Spannung über  $Z_0$ ;  $Y_2$ : Spannung über  $Z_X$ ; DSO: digitales Speicheroszilloskop

## Quellimpedanzmessungen im Gebäude

Das versuchsweise Einspeisen von geringen Störenergien zeigte recht bald, dass tatsächlich Überhöhungen der Quellimpedanz durch Resonanzeffekte im Stromnetz vorhanden sein müssen. Daraufhin wurde an einigen Punkten der Etage die Quellimpedanz über den gesamten interessierenden Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 1,5 MHz bestimmt (Bild 3).

Mit einer ersten Messung wurde der Impedanzverlauf nahe der Hauptverteilung ermittelt. Diese ist völlig unproblematisch: ihre Impedanzen liegen im ganzen Messbereich unterhalb von 10 Ω (Kurve a in Bild 3).

Rund 40 m von der Hauptverteilung entfernt konnten jedoch Impedanzen zwischen Neutral- und Schutzleiter im Langwellenbereich bei etwa 360 kHz gemessen werden (Kurve b in Bild 3). Diese müssten sich auch zwischen Pol- und Neutralleiter zeigen; allerdings steht das Gebäude in Vollbetrieb und weist entsprechend viele Lasten auf, welche den Impedanzverlauf selbst bei hohen Frequenzen bereits stark beeinflussen.

Auch an einer anderen Stelle in der Etage lässt sich zwischen Neutral- und Schutzleiter eine Resonanz im unteren Langwellenbereich ermitteln, diesmal liegt diese bei 280 kHz deutlich nahe bei einer Oberwelle, die die Leuchten ausstrahlt (Kurve c in Bild 3).

## Immunitätsprüfungen

Um die Störung auf dem Bus nachträglich zu reproduzieren, wurde eine Messreihe mit direkter Störeinkopplung ins Stromnetz bei Resonanzfrequenz durchgeführt. Dabei wurde an einem ersten Punkt zwischen Neutral- und Schutzleiter über eine Ankopplung hochfrequente Störenergie eingekoppelt. Der Messort war rund 40 m entfernt und wurde zudem durch einen getrennten Starkstromstrang versorgt. Trotzdem liess sich die Störung über diese verhältnismässig grosse Distanz sowohl auf dem Bus als auch auf dem Stromnetz nachweisen (Bild 4).

Zur Signalaufbereitung wurde ein Funktionsgenerator mit nachgeschaltetem Linearverstärker verwendet. Interessant ist der strenge Zusammenhang zwischen den beim Messort gemessenen Spannungen einerseits auf dem Bus und andererseits zwischen Neutral- und Schutzleiter (Erde). Aus Bild 4 ist ersichtlich, dass die Störspannung auf dem Bus rund ein Drittel der Spannung zwischen Neutral- und Schutzleiter be-

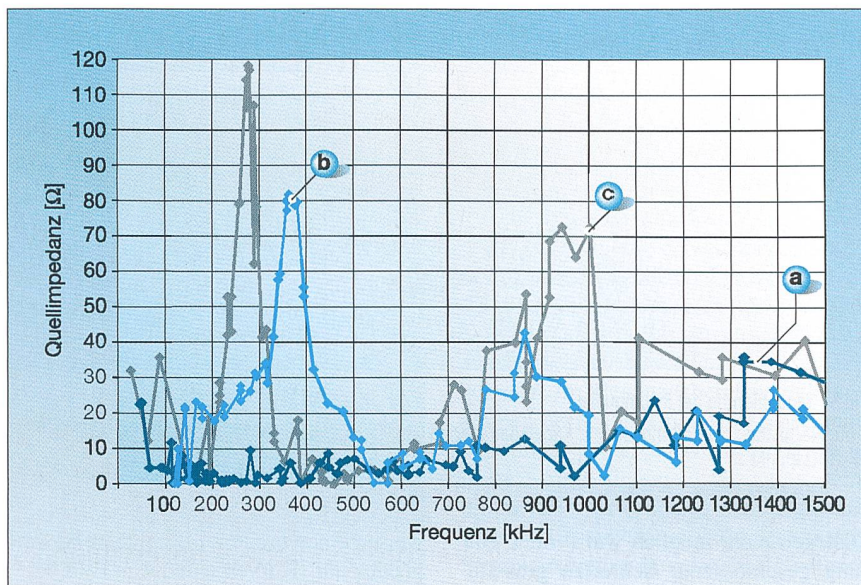


Bild 3 Quellimpedanz in Abhängigkeit der Frequenz

a: Messort «Hauptverteilung», Neutralleiter gegen Erde; b: Messort «Empfang», Neutralleiter gegen Erde; c: Messort «Garderobe», Neutralleiter gegen Erde

trägt, was auf eine starke Kopplung hinweist.

Es zeigt sich, dass der Bus reproduzierbar gestört werden kann, wenn in das Stromnetz Störenergie bei Resonanzfrequenz eingespeist wird. Am Ort der Einkopplung wurde eine Impedanz bei Resonanz ebenfalls von weit über 100 Ω gemessen. Daher treten schon bei geringen Leistungen Störeffekte auf.

## Laborversuche: Übersicht

Die ungewöhnlichen Impedanzverläufe mussten unter Laborbedingungen nachprüfbar sein. Dazu wurde ein zu den

im untersuchten Stockwerk installierten Versorgungssträngen identischer Kabelstrang konstruiert. Jeder Strang besteht dabei aus einem Rundkabel zur Einspeisung und einem Flachkabel zur Erschließung der Dosen im Hohlboden. Die Einspeisung erfolgt bei den Flachkabelsträngen jeweils an einem Ende; im Gegensatz dazu gibt es Stockwerke, in denen die Einspeisung in der Mitte erfolgt, wobei dort allerdings keine wesentlich anderen Impedanzverläufe ermittelt wurden.

Für die Laborversuche wurden ein Rundkabel sowie ein Flachkabel (beide 33 m) samt den üblichen Systemklemmen verwendet, die – wo gestrecktes

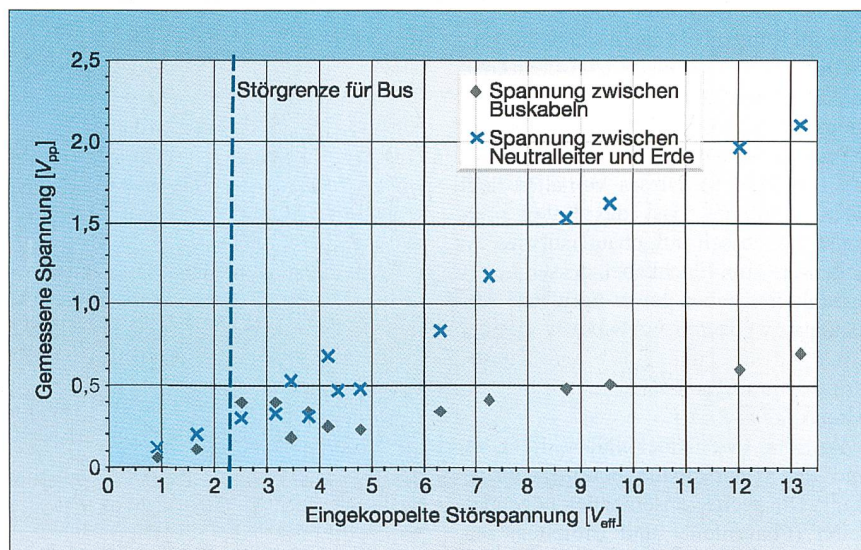
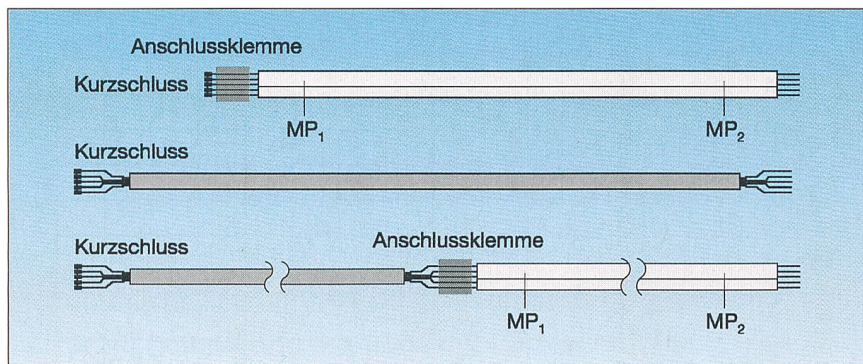


Bild 4 Direkte Störeinkopplung ins Stromnetz bei Resonanzfrequenz

V<sub>pp</sub>: Voltage Peak to Peak (Spitzenspannung)



**Bild 5 Modellierung der Stromquelle**

a: nur Flachkabel; b: nur Rundkabel; c: Kabelkombination von Flachkabel und Rundkabel; MP<sub>1</sub>: Messpunkt 1; MP<sub>2</sub>: Messpunkt 2

Auslegen nicht möglich war – ohne Bildung geschlossener Schleifen grossflächig ausgelegt wurden. Damit eine Abschätzung der Unterschiede bezüglich der Umgebungsbedingungen möglich war, wurden alle Versuche auf trockenem Asphalt – zur Modellierung eines schwach leitfähigen, nicht metallischen Untergrundes – sowie auf einer grossflächigen Blechplatte – zur Modellierung einer leitfähigen ferromagnetischen Umgebung zur Nachbildung der Armierung und der Deckenbleche – durchgeführt. Die Modellierung der Stromquelle (Hauptverteilung, ideale Spannungsquelle mit 0 Volt Quellenspannung) am Ende des Kabels ist ein einfacher Kurzschluss aller fünf Leiter (Bild 5).

### Laborversuche auf trockenem Asphalt

Die nachfolgend beschriebenen Messungen wurden jeweils am Ende des Kabels bei kurzgeschlossenem Eingang durchgeführt.

#### Messung am Rundkabel

Beim Rundkabel zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Leitern. Die Resonanzfrequenzen liegen bei 1,2 MHz und – weniger ausgeprägt – bei 1,45 MHz (Kurven a und b in Bild 6). Dieses Verhalten liegt darin begründet, dass das Kabel rotationsymmetrisch aufgebaut ist; dies im Gegensatz zum Flachkabel, dessen Leiter verschiedene, aber genau definierte Abstände aufweisen.

#### Messung am Flachkabel (Phase gegen Erde)

Wird das Flachkabel allein verwendet, sind die Unterschiede deutlich ausgeprägt. Die weiter auseinander liegenden Leiter (Phasenleiter und Erdleiter) zeigen zwei recht scharfe Resonanzen bei 900 kHz und bei 1300 kHz. Die benachbarten Leiter (Neutralleiter und Erdleiter)

weisen einen breiteren Bereich hoher Impedanz auf (Kurven c und d in Bild 6).

#### Messungen an der Kombination von Rundkabel und Flachkabel

Diese Versuchsreihe bei einem unbelasteten Kabelstrang zeigt deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Beschaltungsarten (Bild 7). Die bei allen Beschaltungsarten auftretende ausgeprägte Resonanzstelle bei 550 kHz weist allerdings jeweils eine deutlich erkennbare unterschiedliche Güte<sup>4)</sup> auf. Selbst direkt an der Koppelstelle (MP<sub>1</sub> in Bild 5c) lässt sich diese Resonanzstelle im oberen Langwellenbereich nachweisen, wenn auch mit deutlich niedrigerer Impedanz.

Der in Bild 7 dargestellte Effekt zeigt sich, sobald Kabelstränge verschiedener Bauart miteinander gekoppelt werden.

Mit den weiter unten erläuterten Messreihen zur Reproduktion des Effekts in anderen Stockwerken im selben Gebäude wird diese Laborhypothese auch bei praktisch ausgeführten Installationen nachgewiesen.

### Laborversuche auf Blechplatte

Für die Messungen wurde eine Blechplatte von 10 m × 5 m verwendet.

#### Messungen an der Kombination von Rundkabel und Flachkabel

Auf der Blechplatte zeigt die Kabelkombination zwei Resonanzstellen bei 540 kHz und bei 750 kHz, die beide im unteren Mittelwellenbereich liegen (Kurve a in Bild 8).

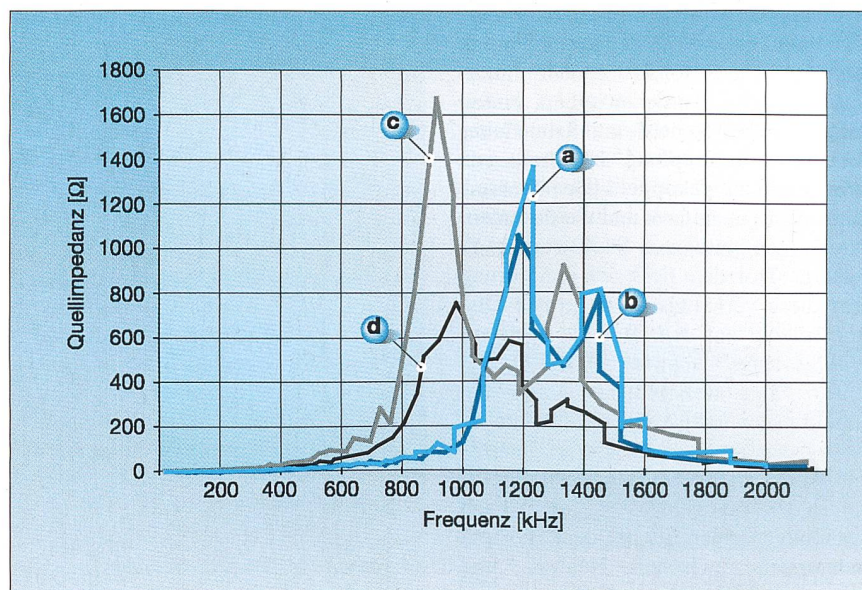
Der Vergleich zu den Messreihen auf dem trockenen Asphalt zeigt deutliche Unterschiede bei den Frequenzen im Mittelwellenbereich und höher. Aber die bereits vorher gemessene erste Resonanzstelle bei etwa 550 kHz tritt ebenfalls deutlich hervor. Sie scheint unabhängig von der Umgebung zu sein.

#### Messung am ungeerdeten Flachkabel

Auf der Blechplatte ändert sich beim Flachkabel (Kurve b in Bild 8) nur die Lage der Resonanzstelle geringfügig gegenüber der Messreihe auf trockenem Asphalt (Kurve d in Bild 6).

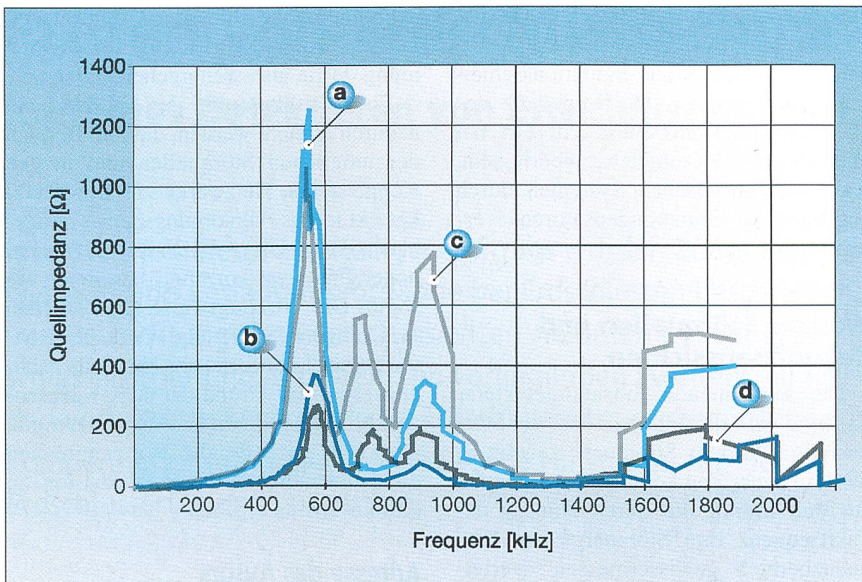
### Reproduktionsversuche im Gebäude

Diese letzte Messreihe dient der Reproduktion des eingangs erwähnten Ef-



**Bild 6 Quellimpedanz für Rund- und Flachkabel: trockener Asphalt**

a: Rundkabel mit Phase gegen Erde; b: Rundkabel mit Neutralleiter gegen Erde; c: Flachkabel mit Phase gegen Erde; d: Flachkabel mit Neutralleiter gegen Erde



**Bild 7** Quellimpedanz für Kombination von Rund- und Flachkabel: trockener Asphalt  
 a: Neutralleiter gegen Erde, Messung bei MP<sub>1</sub>; b: Neutralleiter gegen Erde, Messung bei MP<sub>2</sub>; c: Phase gegen Erde, Messung bei MP<sub>1</sub>; d: Phase gegen Erde, Messung bei MP<sub>2</sub>

fektes in anderen Stockwerken mit zum Teil anderen Bussystemen. Dieser Effekt lässt sich immer dann nachweisen, wenn die wirksame Kabellänge mehrere Meter beträgt und zwei verschiedene Kabeltypen (z.B. Rund- und Flachkabel) miteinander gekoppelt sind.

Falls Resonanzfrequenzen festgestellt werden können, liegen diese immer im Bereich der Langwelle oder unteren Mittelwelle. Dann lässt sich jedes Bussystem durch Einspeisung genügend hoher Störenergie reproduzierbar beeinträchtigen. Die dazu notwendige Störleistung betrug in jedem Fall weniger als ein Watt.

Bild 9 zeigt die gegenseitige Abhängigkeit von Quellimpedanz und Einkopplung in das Buskabel bei konstanter Störspannung. Die Versuchsergebnisse stützen die Hypothese erneut: nur bei kurzen Kabelsträngen, wo die Impedanzüberhöhungen noch nicht sehr deutlich ausgeprägt sind, liegt die Einkopplung in einem vertretbaren Rahmen.

## Ergebnisse und Diskussion

### Reproduzierbarkeit des Effektes

Weitere Messungen bestätigten die Vermutung, dass die Störung von der Impedanz des Stromnetzes abhängt. Die Resonanzen – jedes Kabel zeigt ein bestimmtes Resonanzverhalten, das unter anderem von der Länge und der Verlegeart abhängt – sind üblicherweise im Grenzwellenbereich, also im Bereich von 1 bis 2 MHz, festzustellen. Werden Kabel verschiedener Bauart miteinander gekoppelt, führen die unterschiedlichen Para-

meter der Kabel zu Resonanzerscheinungen im Langwellenbereich. Dieses Verhalten lässt sich sowohl im Labor als auch bei praktisch ausgeführten Installationen reproduzieren. Die so entstandenen Resonanzen sind sowohl stark abhängig von den Längen der einzelnen Kabel als auch von der aktuellen Belastung, so dass der Effekt in einem unbenutzten Stockwerk ausgeprägter ist als bei Normalbetrieb.

### Kopplung über Streukapazitäten

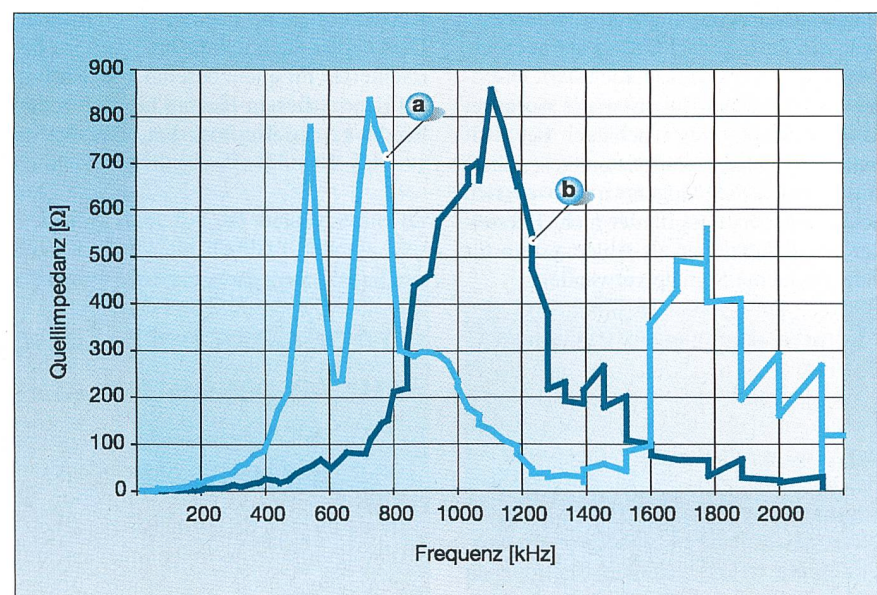
Die Buskabel sind Kommunikationsleitungen mit normierten Hochfrequenz-

eigenschaften; sie besitzen also einen definierten Wellenwiderstand und sind geprüft für den spezifizierten Frequenzbereich. Obwohl die Leiter paarverdrillt und überdies abgeschirmt sind, lassen sich kleine Unsymmetrien nicht vermeiden.

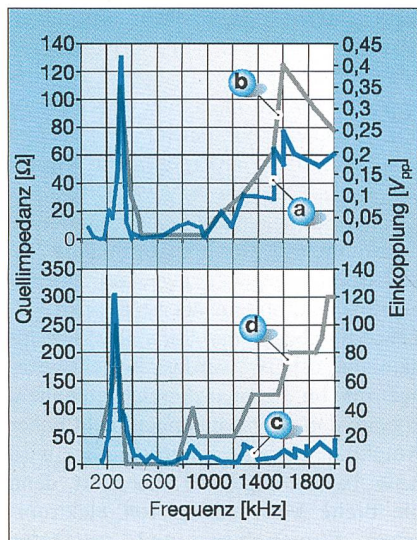
Alle Bauteile sind zudem üblicherweise durch kleine Streukapazitäten, die physikalisch gegeben und damit unvermeidbar sind, miteinander gekoppelt.

Sobald aber in das Stromnetz Störsignale eingespeist werden, welche Frequenzen im Resonanzbereich enthalten, können dort Störspannungen recht hoher Amplitude gemessen werden. Dies wird heute bereits allgemein akzeptiert, denn die breite Verwendung von elektronischen Stromrichtern und getakteten Stromversorgungen oder Vorschaltgeräten bedeutet eine zunehmende Belastung des Stromnetzes durch Verzerrungsblindleistung. Üblicherweise liegen die Taktfrequenzen mit rund 50 kHz noch in einem tiefen Bereich, wo sie noch keine Funktionsprobleme verursachen. Die Wechselwirkungen entstehen bei eher höheren Frequenzen, da die Streukapazitäten mit zunehmender Frequenz niederohmiger werden und dadurch besser koppeln.

Das beschriebene Resonanzverhalten gilt ausnahmslos für jede Installation; und jedes System lässt sich durch Einkopplung von Energie in seiner Funktion beeinträchtigen. Während der durchgeführten Versuche wurde beispielsweise ein Systembus dauerhaft lahm gelegt, so dass er durch einen Reset neu gestartet werden musste; oder eine Zugangstüre



**Bild 8** Quellimpedanz für Kombination von Rund- und Flachkabel und Flachkabel alleine: Blechplatte  
 Messungen jeweils an MP<sub>2</sub>; a: Kabelkombination von Flachkabel und Rundkabel, Phase gegen Erde; b: Flachkabel alleine, Neutralleiter gegen Erde



**Bild 9 Quellimpedanz und Einkopplung**  
 Versuch in einem leer stehenden Stockwerk, Phase gegen Erde; a: Quellimpedanz; b: Einkopplung; Versuch in einem belegten Stockwerk, Neutralleiter gegen Erde; c: Quellimpedanz; d: Einkopplung

blieb nach den Versuchen verriegelt. Dies wirft die Frage auf, wie stark die Automatisierung in einem Gebäude, in dem sich Menschen aufhalten, gehen darf. Ein Gebäude sollte in erster Linie Sicherheit bieten – sowohl im Störfall als auch bei mutwilligem Vandalismus.

### Richtlinien in der Elektroinstallation

Es gibt keine Aspekte in den Netzinstallationsvorschriften, die die Problematik der Hochfrequenz ansprechen, somit gibt es auch keine Vorschriften zur Quellimpedanz im Stromnetz jenseits der niedrigen Frequenzen. Die Netzinstallation dient zur Übertragung von Energie und war nie dazu gedacht, dass sie auch als Störquelle verwendet werden darf. Insbesondere der Schutzleiter hat die Aufgabe, den Schutz vor Stromschlägen bei Erdschlüssen oder Isolationsmangel sicherzustellen. In der Gegenwart hat es sich leider ergeben, dass immer mehr Hersteller den Schutzleiter als Ableitungsleiter für hochfrequente Signale verwenden.

### Stromversorgung in elektronischen Systemen

Ein Gebäude stellt mit seinen Leitsystemen ein elektronisches System dar. In der Vergangenheit war die Elektronik auf einzelne Geräte beschränkt, deren Versorgung vom Stromnetz entkoppelt über Netztransformatoren sichergestellt wurde. Heute treten getaktete Netzteile an deren Stelle.

Es liegt somit nahe, die Richtlinien bezüglich Stromversorgung und Erdung für elektronische Systeme auch für Gebäude

anzuwenden und zu übernehmen. Analoge Systeme werden sternförmig geerdet, so dass sich keine Induktionsschleifen bilden können. Die Impedanz des Versorgungssystems muss vor Ort bei allen Frequenzen möglichst niedrig sein, was in elektronischen Systemen durch sogenannte «Stützkondensatoren» erreicht wird.

### Weitere Störquellen und Zukunftsaussichten

Der zunehmende Einsatz getakteter Systeme wird dazu führen, dass die Störleistung auf dem Stromnetz zunehmen wird. In neuer Zeit kommen sogar Geräte auf den Markt, die durch Ändern der Taktfrequenz ihre Störenergie im Frequenzbereich gewissermassen «verteilen», damit die EMV-Normen leichter eingehalten werden. Auf dem Bauteilmarkt lassen sich bereits Powermanager-IC finden, die neben der Leistungsregelung auch eine gewobbelte<sup>5)</sup> Taktfrequenz für geschaltete Netzteile bereitstellen. In umgekehrter Weise macht sich die «Powerline Communication»<sup>6)</sup> die unklaren Impedanzverhältnisse des Stromnetzes sogar zu Nutze<sup>7)</sup>.

Getaktete Netzteile verursachen auf Grund der hohen Flankensteilheit Oberwellen, die im Langwellenbereich liegen. Die üblichen Filtermassnahmen mit Ferritkernen und vergleichsweise kleinen Kapazitäten bewirken erst im Kurzwellenbereich einen deutlichen Effekt. Der Langwellenbereich scheint vergessen gegangen zu sein.

Die vielen Versuche zeigten überdies keinen wesentlichen Unterschied, ob der Kurzschlusspunkt geerdet ist oder nicht. Dies deutet auch darauf hin, dass im betrachteten Frequenzbereich die Erdung auf den in diesem Beitrag beschriebenen Effekt keinen Einfluss hat. Die immer

noch nicht abgeschlossene Grundsatzdiskussion bezüglich Erdung und Schirmung dürfte also weitergehen.

Eine Verminderung des Effekts kann dadurch erreicht werden, dass im Bereich der möglichen Störquellen und in den Koppelstellen Netzwerke zur Impedanzkorrektur des Versorgungsnetzes eingebaut werden. Diese schliessen die Signale hoher Frequenz kurz und beseitigen sie somit. Die Wirkungsweise einer solchen «einseitigen» Sanierung wurde im Rahmen eines Laborversuchs ebenfalls nachgewiesen. Auf Grund der stets wachsenden Anwendung von Leistungselektronik wird sich auch für die Normengremien die Notwendigkeit einer Diskussion zu diesem Thema ergeben.

### Adresse des Autors

Adrian E. Weitnauer, Dipl. El.-Ing. ETH/SIA, Weitnauer Messtechnik, CH-8752 Näfels, adrian.weitnauer@weitnauer-messtechnik.ch

<sup>1</sup> LON: Local Operating Network  
<sup>2</sup> Komponententester: automatische Messbrücke zur Bestimmung von komplexen Impedanzen (RLC). Sie benutzen üblicherweise fixe Messfrequenzen im Bereich bis 100 kHz.  
<sup>3</sup> Vektorvoltmeter-Methode: an die Stelle des Abgleichvorgangs bei der Messbrücke mit Nullinstrument treten zwei Vektorvoltmeter, welche die Spannungen und deren Phasenwinkel an den Mittelpunkten der beiden Brückenarme messen. Die gesuchte komplexe Impedanz ergibt sich durch eine Rechenvorschrift im komplexen Zahlenraum.  
<sup>4</sup> Güte: Mass für die Impedanzüberhöhung bei Resonanz.  
<sup>5</sup> Wobbeln: von englisch to wobble (wackeln, hin- und herschwanken). Automatisches Hin- und Herbewegen der Abstimmung zwischen zwei Festfrequenzen (Abstand zwischen diesen Frequenzen: Wobbelhub; Geschwindigkeit der Hin- und Herbewegung: Wobbelfrequenz).  
<sup>6</sup> Beispielsweise Internet über das Stromnetz, Kleinkindüberwachung, Powernet.  
<sup>7</sup> Ein ideales Netz würde bei allen Frequenzen eine verschwindend kleine Impedanz besitzen. Da dies in der Realität nicht der Fall ist, kann das Stromnetz in bestimmten Frequenzbereichen zur Übertragung von Information benutzt werden. Die in der Praxis eingeführten Systeme verwenden dazu parallel mehrere Frequenzbänder, damit die Übertragungsqualität sichergestellt werden kann.

## Impédance en fonction de la fréquence sur le réseau d'alimentation électrique

Lors de la réception technique d'une nouvelle installation de bus, on a constaté des perturbations peu courantes: dès qu'on allumait la lumière, le bus était totalement bloqué. Des essais ont permis de déceler sur le réseau d'alimentation électrique un effet de résonance inattendu dans la gamme des ondes longues, susceptible d'entraver le fonctionnement du système de bus par couplage capacitif, en particulier en cas d'utilisation d'alimentations à découpage. L'effet se produit lorsqu'il est fait usage de câbles d'alimentation de divers types tels qu'on en trouve partout dans les installations modernes.