

# Störfeldstärken durch Power-line Communication im 230V-Netz

Dr.-Ing. Ralf Vick

EMV- Beratungs- und Planungsbüro Prof. Gonschorek & Dr. Vick, Gostritzer Str. 106,  
01217 Dresden

<http://emc-experts.de>

[info@emc-experts.de](mailto:info@emc-experts.de)

## 1 EINFÜHRUNG

Gegenwärtig arbeiten Energieversorgungsunternehmen zusammen mit der Industrie an der Einführung von Verfahren zur schnellen bidirektionalen Datenübertragung auf den Stromversorgungsleitungen, Power-Line Communication (PLC). Da in einem typischen Niederspannungsnetz mehrere hundert Haushalte sternförmig mit einer Transformatorstation verbunden sind, können durch die Ausnutzung der flächendeckenden Netzstruktur eine Reihe von neuen „energienahen Mehrwertdiensten“ zur Verfügung gestellt werden.

Die Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen ist gegenwärtig für den Frequenzbereich von 3kHz bis 148,5kHz in der Norm EN 50065-1 geregelt. Dabei werden 4 Frequenzbereiche unterschieden. Der Bereich von 3kHz bis 95kHz ist generell den Energieversorgungsunternehmen vorbehalten. Der restliche Frequenzbereich ist in drei Bänder unterteilt, für die teilweise Anforderungen an das Übertragungsprotokoll bestehen. Da der zugewiesene Frequenzbereich die Übertragungsbandbreite einschränkt und die in diesem Bereich vorhandenen Störungen den Betrieb stark beeinträchtigen, werden zur Zeit praktisch nur digitale Daten zur Gebäudeautomatisierung übertragen. Insofern ist es verständlich, daß Anstrengungen unternommen werden, den nutzbaren Frequenzbereich und die Übertragungsbandbreiten zu erhöhen.

Damit stellt sich aber zugleich die Frage, wie die Pegel für eine Einspeisung der PLC-Signale in die Netzleitungen gewählt werden können, ohne durch ungewollte Abstrahlung den Funkempfang zu beeinträchtigen. Zur fundierten Klärung der Zusammenhänge wurde von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) eine Studie zur Untersuchung des Abstrahlverhaltens von Netzleitungen bei Power-line Communication in Auftrag gegeben. Dieser Beitrag gibt einen Überblick die Modellvorstellungen und erste Meßergebnisse.

## 2 STÖRMECHANISMUS

Das prinzipielle Verfahren zur Power-line Communication ist einfach zu beschreiben. Der 230V-Netzspannung wird eine Signalspannung höherer Frequenz überlagert, welche die zu übertragende Information in geeignet modulierter Weise enthält. Problematisch sind die im niederfrequenten Bereich auftretenden Störungen, die durch den verstärkten Einsatz von moderner Leistungselektronik vermehrt auftreten. Die informationstragenden Signale können in vielfältiger Weise und mit unterschiedlichen Modulationstechniken in die Netzleitungen eingekoppelt werden. Überwiegend

wird sicher die Einkopplung zwischen Nulleiter und Phase bzw. zwischen Phase und Phase genutzt.

Prinzipiell können zwei Bereiche für die Übertragung der Nachrichten auf den Stromversorgungsleitungen unterschieden werden:

- vom Mittelspannungstransformator bis zum Hausanschluß,
- innerhalb der Gebäude.

Bei der Annahme, daß diese Bereiche durch den Einsatz von Sperrfiltern ausreichend voneinander und von anderen Netzen entkoppelt sind, ist nicht mit einer gegenseitigen Beeinflussung zu rechnen.

Die Gebäudenetze können bezüglich ihres Abstrahlverhaltens nicht einfach klassifiziert werden. Die Unterschiede in der Art der Leitungsverlegung und der angeschlossenen Verbraucher sind von Haushalt zu Haushalt zu groß. Es können zwei generelle Fälle unterschieden werden:

1. Die Einspeisung erfolgt am Ende oder in der Mitte eines Installationsstrangs (Steckdose). Die Nutz- und Störsignale breiten sich bis zur Unterverteilung zunächst nur innerhalb des Strangs aus. An der Unterverteilung ist das Signal bereits gedämpft und wird auf die anderen Stränge verteilt. Die Nutz- und Störsignale breiten sich dann in allen Strängen gleichzeitig aus.
2. Die Einspeisung erfolgt direkt an der Unterverteilung und das Signal wird mit der zulässigen symmetrischen Amplitude in alle Stränge eingekoppelt. Die Nutz- und Störsignale breiten sich in allen Strängen gleichzeitig aus.

Der zweite Fall ist eine Teilmenge des ersten Falls.

### **3 STÖRMECHANISMUS**

Es wird davon ausgegangen, daß die Einkopplung der Nutzsignale zwischen Nulleiter und Phase in ausreichender Entfernung zum Hausanschluß erfolgt. In diesem Fall kann aufgrund der Leitungsinduktivität im höheren Frequenzbereich eine ausreichende Entkopplung zum Erdanschluß angesetzt und das Modell der symmetrischen Signaleinkopplung verwendet werden. Dieses ist annähernd auch noch für den Fall der Einkopplung zwischen Schutzleiter und Phase gültig, wenn der Schutzleiter nur an einer Stelle, dem Erdungspunkt des Gebäudes, geerdet ist. Bei der Einkopplung in direkter Nähe zum Erdungspunkt erfolgt die Einspeisung unsymmetrisch. In Abbildung 1 ist die Einkopplung der Nutzsignale in ein Übertragungssystem schematisch dargestellt. Bei der Übertragung muß zwischen symmetrischer und asymmetrischer Signalausbreitung unterschieden werden.

#### **3.1 Symmetrische Signale**

Die differentielle Signalausbreitung kann mit Hilfe der Leitungstheorie beschrieben werden. Das Leitungspaar führt Signale mit gleichem Betrag, die um 180 Grad phasenverschoben sind. Die erzeugten elektromagnetischen Felder löschen sich in größerem Abstand zum Leiterpaar aus. Das eingespeiste Signal wird durch die verlustbehafteten Elemente des Kabels gedämpft und die am Leitungsende ankommende Energie wird im Abschlußwiderstand, an dem die symmetrische Spannung  $U_{12}$  anliegt, umgesetzt.

Es erfolgt eine Nutzsignalausbreitung aber keine Abstrahlung. Andere internationale Begriffe für differentielle Signale sind

*transverse signal, symmetrical signal, metallic signal.*

Das durch symmetrische Signale erzeugte Feld kann meistens vernachlässigt werden, da es mit wachsender Entfernung schnell abnimmt und die symmetrischen Größen im Stromversorgungsnetz wesentlich stärker gedämpft werden als asymmetrische Größen.

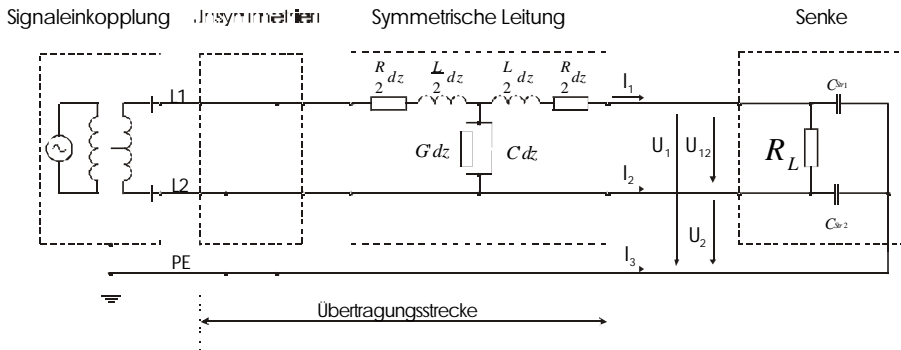


Abbildung 1 Veranschaulichung des Übertragungssystems mit Unsymmetrien

Zur Erläuterung des Phänomens sollen die in Abbildung 1 dargestellten parasitären Steu kapazitäten an der Senke,  $C_{Str1}$  und  $C_{Str2}$ , dienen, die aufgrund des mechanischen Aufbaus im System existieren. Solche parasitäre Kapazitäten besitzen bei höheren Frequenzen eine geringe Impedanz und bilden einen Strompfad für hochfrequente Anteile des Nutzsignals. So kann z.B. ein hochfrequenter Strom über metallische Gehäuse zurückfließen. Die parasitären Elemente der einzelnen Leitungen bzw. der Schaltung sind nicht abgeglichen und es entstehen Unsymmetrien, die bewirken, daß sich die Signale auf den beiden Leitungen vom Betrag unterscheiden. Die resultierenden Felder löschen sich nicht mehr aus und es kommt zu einer asymmetrischen oder auch longitudinalen Signalausbreitung. Die resultierende asymmetrische Spannung,  $U_{as} = 0.5 \cdot (U_1 + U_2)$ , bewirkt einen Strom zwischen der Leitung und Erde.

Das mit dem asymmetrischen Strom verknüpfte Feld wird abgestrahlt. Dieser Effekt ist reziprok, so daß elektromagnetische Felder anderer Systeme Störspannungen in unsymmetrische Übertragungssysteme einkoppeln können (Nebensprechen). Für Unsymmetrien gibt es viele Gründe:

- Unsymmetrien der Ausgangsstufe des Senders gegenüber Erde,
- unsymmetrische Empfänger,
- unsymmetrische Leitung gegenüber Erde.

Die Analyse der Unsymmetrie ist sehr schwierig, da die beeinflussenden Parameter und ihre zufällige Verteilung entlang des Kabels sehr variabel sind. Asymmetrische Störströme sind schwer zu unterdrücken und bilden die Hauptursache für ungewollte Abstrahlung.

Eine Untersuchung der asymmetrischen Signale ist für eine Betrachtung der EMV und des Nebensprechens unerlässlich. Andere internationale Bezeichnungen für asymmetrische Signale sind:

*longitudinal signal, common mode signal, asymmetrical signal.*

### 3.3 Umwandlung symmetrischer in asymmetrische Signale

Die Unsymmetrien im Stromkreis führen zu einer ungewollten Umwandlung des symmetrischen Nutzsignals in eine asymmetrische Störspannung. Da in symmetri-

### 3.2 Asymmetrische Signale

Zur Erläuterung des Phänomens sollen die in Abbildung 1 dargestellten parasitären Steu kapazitäten an der Senke,  $C_{Str1}$  und  $C_{Str2}$ , dienen, die aufgrund des mechanischen Aufbaus im System existieren. Solche parasitäre Kapazitäten besitzen bei höheren Frequenzen eine geringe Impedanz und bilden einen Strompfad für hochfrequente Anteile des Nutzsignals. So kann z.B. ein hochfrequenter Strom über metallische Gehäuse zurückfließen. Die parasitären Elemente der einzelnen Leitungen bzw. der Schaltung sind nicht abgeglichen und es entstehen Unsymmetrien, die bewirken, daß sich die Signale auf den beiden Leitungen vom Betrag unterscheiden. Die resultierenden Felder löschen sich nicht mehr aus und es kommt zu einer asymmetrischen oder auch longitudinalen Signalausbreitung. Die resultierende asymmetrische Spannung,  $U_{as} = 0.5 \cdot (U_1 + U_2)$ , bewirkt einen Strom zwischen der Leitung und Erde.

schen Systemen in der Regel keine niederohmige Verbindung zwischen Signalleitungen und Masse existiert, fließt der asymmetrische Störstrom über die parasitären Koppelkapazitäten nach Erde. Bei kleinen Frequenzen sind diese Impedanzen hochohmig und der Störstrom und damit das abgestrahlte Feld sind gering. Mit zunehmender Frequenz steigt die asymmetrische Störspannung an.

Zur Verdeutlichung wurde ein einfacher Stromkreis nach Abbildung 1 mit  $100\Omega$  Impedanz berechnet. Dieser wird symmetrisch gespeist und ist an der Last über zwei Streukapazitäten  $C_{Str1} = 100\text{pF}$  und  $C_{Str2} = 103\text{pF}$  mit Erde verbunden.

Werden  $120\text{dB}_{\mu\text{V}}$  als symmetrische Spannung eingespeist, so beträgt die asymmetrische Spannung an der Last bei  $100\text{kHz}$  rund  $25\text{dB}_{\mu\text{V}}$ , steigt mit  $20\text{ dB}_{\mu\text{V}}/\text{Dekade}$  bis etwa  $30\text{MHz}$  an und bleibt anschließend auf einem konstantem Niveau. Bei  $30\text{MHz}$  beträgt die asymmetrische Spannung bereits  $75\text{dB}_{\mu\text{V}}$ .

Auch wenn dieses Beispiel von einer idealen Leitung ausgeht und keine Dämpfung berücksichtigt, erkennt man deutlich, daß die asymmetrische Spannung mit steigender Frequenz schnell zunimmt. Sie kann bei hohen Frequenzen mit nicht mehr zu vernachlässigbaren Störfeldstärken verbunden sein. Um die Gefahr von ungewollter elektromagnetischer Abstrahlung zu reduzieren, sind deshalb schon seit Jahrzehnten Grenzwerte für Funkstörspannungen gültig. Diese Grenzwerte werden in einer definierten Meßumgebung nachgewiesen.

Um das Risiko von asymmetrischen Störspannungen an Leitungssystemen abschätzen zu können, ist es nötig, ein Maß für die Unsymmetrie gegen Erde zu definieren. Zwei Größen zur Charakterisierung der Unsymmetrie an einer Einkoppelstelle sind der Transverse Conversion Loss (TCL) und der Longitudinal Conversion Loss (LCL). Bei der Messung des LCL wird an der Meßstelle eine asymmetrische Spannung  $E_L$  in das Netz eingespeist und die resultierende symmetrische Spannung  $V_T$  gemessen. Der LCL ist das logarithmische Verhältnis der gemessenen symmetrischen Spannung  $V_T$  zur eingekoppelten asymmetrischen Spannung  $E_L$  in dB.

$$LCL = 20 * \log_{10} \left( \frac{V_T}{E_L} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Der LCL gibt somit den Zusammenhang zwischen symmetrischer und asymmetrischer Spannung an der Einkoppelstelle an. Er kann sehr gut zur Abschätzung der zu erwartenden asymmetrischen Störspannungen bei einer symmetrischen Einkopplung des Nutzsymbols in die Netzleitungen verwendet werden.

### 3.4 Elektromagnetische Abstrahlung

Aufgrund der Umwandlung symmetrischer in asymmetrische Signale und der resultierenden asymmetrischen Stromverteilung auf der Leitung kommt es zur ungewollten Abstrahlung.

In [1] wurde das Abstrahlverhalten von zwei Typen einer verdrehten Leitung und von mehreren verdrehten Leitungen meßtechnisch untersucht. Es wurde festgestellt, daß die Abstrahlung einer symmetrisch eingekoppelten Störung nahezu proportional zum Longitudinal Conversion Loss ist. Wird das Signal gleichphasig auf mehrere parallele Leitungen aufgeprägt, steigt die Abstrahlung proportional mit der Anzahl der Leitungen. Somit ist der Parameter LCL gut zur Charakterisierung der zu erwartenden Abstrahlung geeignet.

Die Nutzung der Abstrahlcharakteristik eines  $\lambda/2$ -Dipolstrahlers ist ein geeigneter Ansatz, um die zu erwartenden Störfeldstärken bei komplizierten Leitungsstrukturen abzuschätzen. Nachdem der LCL an der Einkoppelstelle des 230V-Netzes bestimmt wurde, kann die resultierende asymmetrische Spannung an der Einspeisestelle aus der um den LCL reduzierten symmetrischen Spannung berechnet werden. Regt diese asymmetrische Spannung einen  $\lambda/2$ -Dipol an, erhält man eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Feldstärken.

Genauer kann die Abschätzung erfolgen, wenn die reale Anordnung durch eine Ein drahtanordnung ersetzt wird und mit einem numerischen Simulationsprogramm die Feldstärke an bestimmten Orten oder die Feldstärkeverteilung berechnet wird. Als Quelle für die asymmetrische Anregung wird erneut die um den LCL reduzierte, symmetrische Signalspannung verwendet. Durch diese Modelle können die Störfeldstärken gut abgeschätzt werden, auch wenn die Dämpfung der Struktur noch nicht mit einbezogen wurde. Wenn es erforderlich ist, kann die Dämpfung durch die Modellierung der Wände als verlustbehaftetes Dielektrikum oder über Korrekturfaktoren berücksichtigt werden.

#### **4 BESONDERHEITEN BEI PLC SYSTEMEN**

Der Aufbau des 230V-Stromversorgungsnetzes schwankt stark und ist unter anderem abhängig vom Installationsjahr und der ausführenden Firma. Eine Systematik ist nicht einfach herzustellen.

Einen Einfluß auf das Abstrahlverhalten bei Power-line Communication haben die Unsymmetrie mit der resultierenden asymmetrischen Spannung, die Leitungsanordnung, die Dämpfung, die Verbraucher und weitere Einflußgrößen. Hier soll nur auf die beiden wichtigsten Faktoren, die Unsymmetrie des Netzes und die Leitungsführung eingegangen werden.

##### **4.1 Symmetrien im Stromversorgungsnetz**

Der LCL wurde bereits als Maß zur Charakterisierung der Unsymmetrie des 230V-Stromversorgungsnetzes eingeführt. Bei praktischen Messungen im 230V-Netz ergaben sich recht unterschiedliche LCL-Werte, die zudem eine zeitliche Abhängigkeit aufwiesen. Hervorzuheben ist, daß der Schaltzustand von Lampen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf die Symmetrie des Netzes hat.

Lampen werden mit einphasigen Schaltern ein- und ausgeschaltet, wobei der Schalter die Phase trennt. Im ausgeschalteten Zustand ist deshalb die Leitung N von der Verteilerdose über die Lampe zum Schalter geführt und liegt an einem Schaltkontakt an. Im eingeschalteten Zustand hingegen ist die Phase über den Schalter bis zur Lampe geschaltet.

Ein Rückleiter existiert demzufolge nur im eingeschalteten Zustand. Im ausgeschalteten Zustand liegt eine quasi einphasige Leitungsführung vor, die mit einer großen Unsymmetrie einher geht.

Bei Messungen an einem Versuchsnetz wurden bei ausgeschalteten Lampen um bis zu 30dB schlechtere LCL-Werte gemessen.

In anderen Messungen wurde eine starke zeitliche Abhängigkeit des LCL festgestellt. Diese Abhängigkeit läßt sich auf das nutzerabhängige Zu- oder Abgeschalten von Geräten und die interne Funktionsweise von Geräten zurückführen. Bei Messungen

konnte sogar nachgewiesen werden, daß Schaltnetzteile zu Schwankungen des LCL von  $\pm 10\text{dB}$  führen können.

Schon der Umstand, daß ein ausgeschaltetes Gerät in eine Steckdose gesteckt wird, hat bedingt durch die parasitären Impedanzen des Kabels und der geräteinternen Schutzelemente einen nicht zu vernachlässigbaren Einfluß auf den LCL.

## 4.2 Leitungsführung

Eine gute Symmetrie des 230V-Stromversorgungsnetzes ist jedoch nicht mit einem geringeren Risiko für elektromagnetische Abstrahlungen gleichzusetzen. Negativ wirkt sich erneut die einphasige Leitungsführung bei Lampen und Geräten aus.

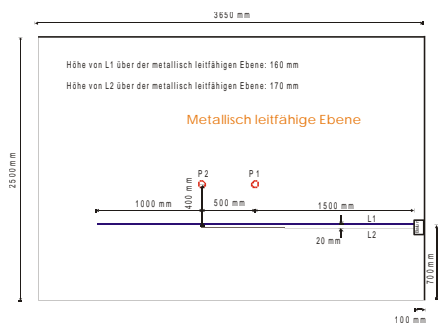


Abbildung 2 Versuchsaufbau

Der Einfluß dieser auf das Abstrahlverhalten wurde an einem Versuchsaufbau praktisch gemessen und numerisch analysiert. Die untersuchte Anordnung bestand aus zwei parallel geführten Drähten eines NYM-J 3G\*1,5mm<sup>2</sup> Kabels mit je 1,4mm Durchmesser. Ein Draht von 2m Länge wurde in 170 mm Höhe und ein Draht von 3m Länge in 160 mm Höhe über einer 9m<sup>2</sup> großen Bezugsebene installiert. Die beiden Drähte wurden an der Einspeisestelle mit einem Balun an das Meßequipment angeschlossen und symmetrisch gespeist. Zunächst wurde der LCL der Anordnung bestimmt. Danach wurde an den Punkten P1 und P2 die elektrische Feldstärke  $E_z$  (repräsentiert durch die Antennenfußspannung) mit einer Stabantenne von 150mm Länge und 1,5mm Radius gemessen.

Die gemessene Antennenfußspannung ist in Abbildung 3 graphisch über der Frequenz dargestellt. Die Meßergebnisse wurden anschließend mit den Resultaten von numerischen Berechnungen verglichen.

Als Modell der Anordnung diente in einem ersten Schritt ein 3m langer Einzeldraht, der am Anfang mit 1V asymmetrisch gespeist wurde. Nach der Berechnung mit CONCEPT wurden die Antennenfußspannungen um den gemessenen LCL reduziert und dienen so als Modellschätzung für die realen Meßergebnisse.

Die Abweichung zwischen den Berechnungsergebnissen und den Meßwerten betrug bis zu 47dB<sub>µV</sub>, so daß eine derartige Modellierung der Anordnung nicht zulässig war. Das Modell mußte verfeinert werden, um den Einfluß des 1m längeren Teilstücks besser zu berücksichtigen.

Bei der erdbezogenen, symmetrischen Einspeisung eines Nutzsymbols in die Doppelleitung wird jeder Draht der Anordnung mit der halben symmetrischen Signalspannung gegen Erde beaufschlagt. Das führt dazu, daß das 1m lange, unsymmetri-

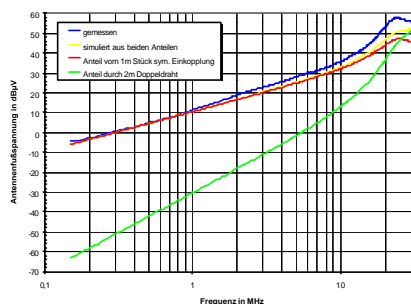
sche Teilstück<sup>1</sup> bereits bei tiefen Frequenzen mit  $0.5 \cdot U_{\text{Signal}}$  asymmetrisch gespeist wird. Es wirkt im unteren Frequenzbereich als elektrischer Dipol und trägt so zu nicht zu vernachlässigbaren Feldanteilen bei.

In einem zweiten Schritt wurde die Anordnung durch zwei Stäbe simuliert. Ein Stab von 2m Länge wurde asymmetrisch mit der durch die Unsymmetrie hervorgerufenen asymmetrischen Spannung angeregt und simulierte den Feldanteil, der durch die beiden parallelen Drähte hervorgerufen wird. Ein zweiter Stab, mit einer Länge von 1m, wurde an der Position des 1m langen, überstehenden Teilstücks angeordnet und mit der halben symmetrischen Spannung gespeist.

In Abbildung 3 sind die Anteile dieser beiden Teilstücke an der resultierenden Antennenfußspannung und die simulierte Gesamtspannung, die sich aus der Überlagerung der beiden Teilspannungen ergibt, dargestellt. Es ist eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den simulierten Werten und den Meßwerten zu erkennen. Im unteren Frequenzbereich mit einem ausreichend großem LCL (d.h. hohe Symmetrie) trägt das 1m lange Teilstück den Hauptanteil zum resultierenden Feld bei. Im oberen Frequenzbereich, wenn die asymmetrische Spannung aufgrund eines geringen LCL hoch ist, überwiegt der durch die asymmetrische Spannung bedingte Anteil des Feldes.

Eine reine Beachtung der asymmetrischen Komponente führt im unteren Frequenzbereich zu einer Unterschätzung der Feldstärke.

Dieses Experiment weist nach, daß in einem Frequenzbereich, in dem eigentlich noch ein ausreichender LCL vorhanden ist, überstehende Leitungsenden einen entscheidenden Anteil zum elektrischen Feld liefern.



**Abbildung 3 Vergleich der Antennenfußspannung**

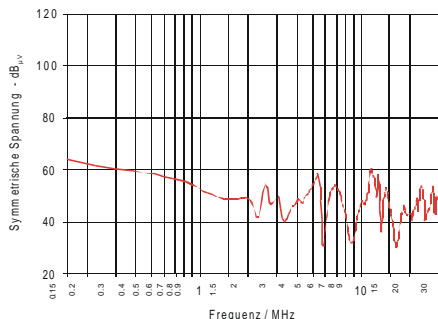
### 4.3 Störfeldstärke eines künstlichen Netzes

Es wurde ein künstliches Netz auf den Zusammenhang von LCL, TCL, symmetrischer und asymmetrischer Spannung, Stromverteilung und Verteilung der elektrischen und magnetischen Feldstärken untersucht. Das Netz wurde entsprechend den Installationsvorschriften entworfen und in der EMV-Meßhalle der RegTP in Kolberg aufgebaut. Aufgrund der sehr guten Bezugsmasse und der geringen Höhe, in der die Kabel verlegt wurden, können die Meßergebnisse nicht direkt auf reale Anordnungen übertragen werden.

Das Netz simulierte die Elektroinstallation von zwei Wohnräumen, wobei insgesamt rund 61m Kabel vom Typ NYM-J 3G 3\*1,5m<sup>2</sup> verlegt wurden.

<sup>1</sup> Für das Teilstück existiert kein symmetrisches Gegenstück. Dieser Fall tritt zum Beispiel auf, wenn Lampen, die in der Regel einphasig geschaltet werden, ausgeschaltet sind.

Die Räume waren entsprechend ihrer Größe mit 4 bzw. 5 Steckdosen bestückt und es befand sich in jedem Raum ein Lampenauslaß. Die Leitungen wurden in Kunststoffrohren ca. 0,33 m über dem Boden der Absorberhalle (Groundplane) verlegt. Bei symmetrischer Einspeisung wurde die elektrische und magnetische Feldstärke gemessen. In Abbildung 4 sind die Werte der eingespeisten symmetrischen Spannung dargestellt, die bei diesem Aufbau bereits zu einer Überschreitung der Grenzwerte nach der NB 30 der RegTP führte.



**Abbildung 4 Symmetrische Spannung, die zur Überschreitung der Grenzwerte nach NB 30 führen würde**

Es wurde zudem bestätigt, daß entlang der Leitungen mit den größten Störungen zu rechnen ist. In Räumen mit verzweigten Leitungsstrukturen können bei entsprechender Lage der asymmetrischen Spannungsmaxima auf der Leitung ausgedehnte Feldstärkemaxima auftreten und es können sich teilweise konstante Feldverteilungen ergeben.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Beitrag wurden einige Zusammenhänge zur Beurteilung des Abstrahlverhaltens des 230V-Versorgungsnetzes bei Power-line Communication dargestellt. Es wurde verdeutlicht, daß aufgrund der undefinierten Verhältnisse und der vielfältigen Möglichkeiten bei der Kabelverlegung nicht von einer guten Symmetrie des Netzes ausgegangen werden kann. Einphasige Leitungsführungen, wie z.B. bei ausgeschalteten Lampen, verschlechtern die Symmetrie des Netzes entscheidend. Die Unsymmetrien verursachen eine Umwandlung der symmetrischen Signale in asymmetrische Signale und sind mit dem Risiko einer ungewollten elektromagnetischen Abstrahlung verbunden.

Es ist wichtig festzuhalten, daß aufgrund einer einphasiger Leitungsführung auch bei einer guten Symmetrie, relativ hohe elektrische Feldstärken erzeugt werden können. Um einerseits unzulässig hohe Abstrahlungen zu vermeiden und andererseits die Entwicklung neuer Techniken nicht durch grenzwertbedingte Einschränkungen zu blockieren, sollten etwaige Grenzwerte für die Störfeldstärken bzw. die Nutzsignalspannungen gut ausgewogen werden.

Bis Dezember sind im Auftrag der RegTP noch weitere Untersuchungen vorgesehen, die eine bessere Beurteilung des Störpotentials von Power-line Applikationen ermöglichen sollen.

## 6 LITERATUR

- [1] Kuwabara, N.; Makino, H.; Tajima, K.; Tokuda, M.: Characteristics of Emission from Twisted Pair Cables Used for High Speed LANs. in EMC 96, International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 296-300
- [2] Macfarlane, I.P.: A Probe for the Measurement of Electrical Unbalance of Networks and Devices. IEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, Vo. 41, No. 1, February 1999, pp. 3-14
- [3] Low Frequency Interference Due to Unbalance About Earth of Telecommunication Equipment. ITU-T Recommendation K.10
- [4] Dostert, K.: EMV bei der Nutzung elektrischer Energieverteilnetze als Kommunikationsmedium. in Elektromagnetische Verträglichkeit, DFG Antrag auf die Finanzierung des Sonderforschungsbereichs 1684 für die Jahre 1999-2000-2001, Universität Karlsruhe