

Powerline-Anlagen unter der Lupe

Stellt die Überlagerung elektromagnetischer Felder einer großen Zahl von Powerline-Anlagen ein neues EMV-Störszenario dar?

Powerline-Modems befinden sich derzeit in der Phase der Markteinführung. Mit diesen Geräten ist es möglich, das 230-V-Netz für die digitale Datenkommunikation zu nutzen. Dieser Artikel untersucht, welche Summenfeldstärken auftreten, wenn eine große Zahl von Powerline-Anlagen gleichzeitig genutzt wird. HARALD DALICHAU

In Deutschland sind nach der derzeitigen Markeinschätzung im Endausbau etwa 1 Million PLC-Anlagen installiert, die hauptsächlich PCs (Inhome-LAN) vernetzen und Internet-Verbindungen aufbauen. Die Daten werden impulsartig übertragen und sind von langen Sendepausen unterbrochen. Im Folgenden wird deshalb davon ausgegangen, dass in Spitzenzeiten 50 Prozent aller PLC-Anlagen eingeschaltet sind und durchschnittlich 5 Prozent dieser Anlagen (25.000) zur gleichen Zeit Daten übertragen. Dies entspricht 12,5 GB pro Monat für den einzelnen Nutzer bei ADSL mit 768 KBit/s.

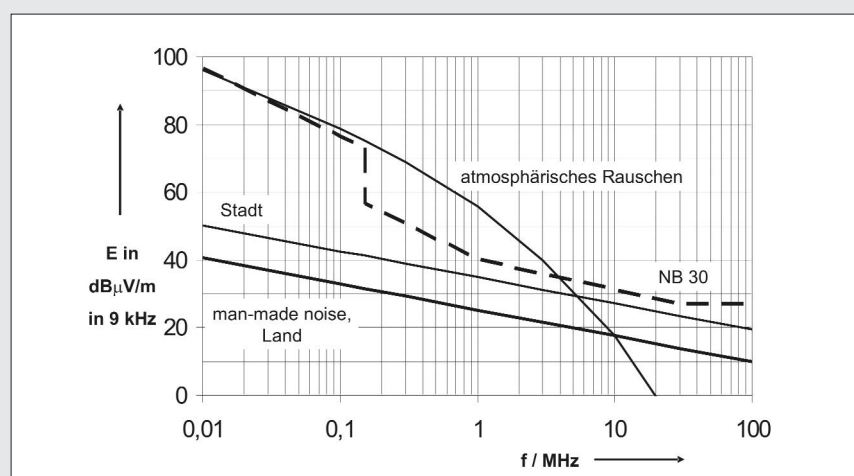


Abb. 1: Vergleich der NB-30-Grenzwerte E_{NB30} mit verschiedenen, umweltbedingten Störfeldstärken (umgerechnet auf Spitzenwerte in 9 kHz Messbandbreite)

B.10

Grenzwerte

Die in Abbildung 1 eingetragene gestrichelte Kurve gibt die in Deutschland gültigen Grenzwerte der Störfeldstärke einer PLC-Anlage an (NB30, [2]). Die obere Kurve zeigt den Maximalwert des atmosphärischen Rauschens [3]. Die beiden darunter liegenden Geraden geben Mittelwerte für „Man-made Noise“ in der Stadt und auf dem Land an [3]. Alle Kurven sind auf den Spitzenwert und auf 9 kHz Messbandbreite umgerechnet. Abbildung 1 zeigt

außerdem, dass in städtischen Gebieten die Kontrolle der NB-30-Grenzwerte nicht möglich ist, da die Umgebungsstörungen deutlich darüber liegen. Die bisherigen Erfahrungen in der Anwendung der NB30 haben dies bestätigt.

Abstrahlverhalten einer Vielzahl von Inhome-PLC-Anlagen

Die unterschiedliche Strahlungsintensität einer Einzelanlage in den einzelnen Raumrich-

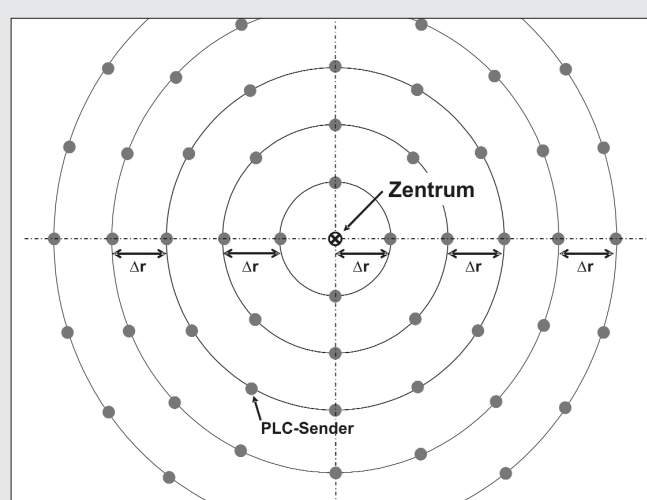


Abb. 2: Ringförmige Anordnung der PLC-Sender in Deutschland

A U T O R

Prof. Dr.-Ing. habil. HARALD DALICHAU
Theoretische Elektrotechnik,
Institut für Hoch- und
Höchstfrequenztechnik,
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik
harald.dalichau@unibw.de
Universität der Bundeswehr München
85577 Neubiberg
T +49/89/6004-3771/3623
F +49/89/6004-3592

tungen mittelt sich bei der Überlagerung vieler Anlagen heraus. Das Summendiagramm ist das eines isotropen Strahlers, der in alle Raumrichtungen des oberen Halbraums die gleiche Strahlungsdichte abstrahlt. Für die folgenden Abschätzungen wird ein Antennengewinn durch Mittelwertbildung von $G_M = -10$ dB angesetzt. Andere Autoren benutzen Werte zwischen -20 und -60 dB.

Summenfeldstärke der Bodenwelle

Da die Sendesignale nicht miteinander korrelieren, werden die Leistungen und nicht die Feldstärken addiert. Derjenige Anteil einer abgestrahlten Welle, der sich parallel zur Erdoberfläche ausbreitet, wird als Bodenwelle bezeichnet. Im hier betrachteten Frequenzbereich ist der Erdboden (in Europa) ziemlich gut leitend. Elektrische Felder, die parallel zur Erdoberfläche verlaufen, werden kurzgeschlossen. Damit geht der von PLC-Anlagen erzeugten Bodenwelle die Hälfte der abgestrahlten Leistung verloren ($a_{\text{pol}} = -3$ dB). Die größte Summenfeldstärke stellt sich im Zentrum des Gebiets ein, in dem PLC-Sen-

der aktiv sind. Bei einer Grundfläche von 357.000 km² wird Deutschland approximiert durch einen flächengleichen Kreis mit dem Radius 337 km. Nimmt man an, dass die 25.000 aktiven PLC-Anlagen gleichmäßig auf N konzentrischen Ringen verteilt sind (Abbildung 2), so ergibt sich die Gesamtzahl M der PLC-Sender zu:

$$M = 4 \sum_{n=1}^N n = 2N^2. \quad (1)$$

Es werden N = 112 Ringe gebraucht mit dem Abstand $\Delta r = 3$ km. Im Zentrum befindet sich kein PLC-Sender. Dort wird die sich einstellende Summenfeldstärke $E_{\Sigma N}(r)$ berechnet. Die Strahlungsdichte eines Senders in der Entfernung r ist $S(r) = E(r)^2/Z_0$. Da die NB30 die maximal zulässige elektrische Feldstärke E_{NB30} in $r_0 = 3$ m Entfernung festlegt, ist die Feldstärke einer NB-30-konformen PLC-Anlage in der Entfernung r: $E(r) = E_{\text{NB30}} r_0 / r$. Die ersten vier PLC-Anlagen liefern im Zentrum einen Beitrag von $S_1(r) = 4(E_{\text{NB30}} r_0 / \Delta r)^2 / Z_0$ und der n-te Ring $S_n(r) = 4n \{E_{\text{NB30}} r_0 / (n \Delta r)\}^2 / Z_0 = S_1(r) / n$. Alle Strahlungsdichten sind außerdem noch um $G_M = -10$ dB und

um $a_{\text{pol}} = -3$ dB zu dämpfen (Faktor 1/20). Zur Berechnung der Summenenergiedichte werden alle Anteile $S_n(r)$ addiert:

$$S_{\Sigma N(r)} = \frac{S_1(r)}{20} \sum_{n=1}^N \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Die Summenfeldstärke wird zu:

$$E_{\Sigma N(r)} = \frac{2E_{\text{NB30}} r_0}{\Delta r} \sqrt{\frac{1}{20} \sum_{n=1}^N \frac{1}{n}}. \quad (3)$$

Im logarithmischen Maß wird damit die Dämpfung $a_{\Sigma N}(r)$ der Summenfeldstärke im Zentrum Deutschlands bezogen auf den Grenzwert E_{NB30} zu:

$$a_{\Sigma N(r)} = 20 \log \frac{E_{\Sigma N(r)}}{E_{\text{NB30}}} = 6 \text{ dB} + a(r) + a(N) + G_M + a_{\text{pol}}, \quad (4)$$

mit

$$a(r) = 20 \log \frac{r_0}{\Delta r} \quad (5)$$

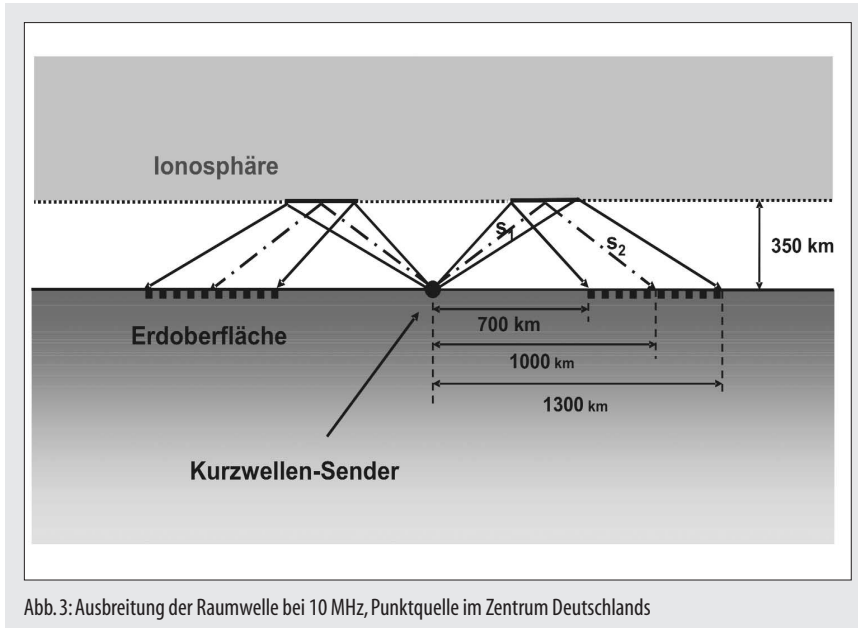


Abb. 3: Ausbreitung der Raumwelle bei 10 MHz, Punktquelle im Zentrum Deutschlands

und

$$a(N) = 10 \log \sum_{n=1}^N \frac{1}{n} \tag{6}$$

Damit wird $a_{\Sigma N}(r)$ zu -60 dB. Für die 5-fache PLC-Senderdichte wird $\Delta r = 1,35$ km, $N = 250$ und $a_{\Sigma N}(r) = -52$ dB.

MHz-Bereich. Daraus ergibt sich für einen mittleren Gebäudeabstand von 30 m eine Zusatzdämpfung von 100 dB/km bei 50 kHz und von 267 dB/km bei 30 MHz. Die auftretenden Summenfeldstärken liegen dadurch weit unter den Ergebnissen des vorherigen Abschnitts. Insofern verursachen Ballungszentren keine verstärkte Störstrahlung in ihrem Fernfeld, sondern wirken eher wie Absorber für elektromagnetische Wellen. Nur ihre Ränder erzeugen eine in die Umgebung abgestrahlte Feldstärke.

PLC-Anlagen außerhalb Deutschlands

Da die Erde kugelförmig ist, löst sich die Bodenwelle nach einer kurzen Wegstrecke von der Erdoberfläche ab. Die entlang der Erdoberfläche messbare Feldstärke der Bodenwelle nimmt deshalb nach einer gewissen Entfer-

nung vom Sender nicht mehr mit $1/r$ sondern zunehmend stärker ab. Diese Änderung des Ausbreitungsgesetzes beginnt in Mitteleuropa bei 500 kHz ab etwa 50 km Entfernung vom Sender und bei 10 MHz schon weit unterhalb von 1 km [3]. Insofern müssen die Terme $a(N)$ und $a(r)$ noch einmal korrigiert werden. Außerdem folgt daraus, dass PLC-Anlagen außerhalb Deutschlands keine Störungen im Zentrum erzeugen. Das Ablösen der Bodenwelle hat zur Folge, dass weit entfernte Ringe keinen Anteil mehr liefern: $a(N)$ wird unabhängig von N gleich 6 dB. Für 10 MHz wird

$$a(r) = 30 \log \frac{r_0}{\Delta r} \tag{7}$$

Als genaueren Wert für die Summenfeldstärke erhält man 91 dB.

Summenfeldstärke der Raumwelle

Die im Luftraum über Deutschland befindlichen Flugzeuge benutzen ebenfalls den MHz-Bereich für Funkdienste. Aus diesem Grund muss abgeschätzt werden, wie sich PLC-Störungen dort auswirken. Der Maximalwert tritt wiederum oberhalb des Zentrums von Deutschland auf. Gegenüber der Bodenwelle in Gleichung (3) ändert sich nur die Entfernung s_n und damit

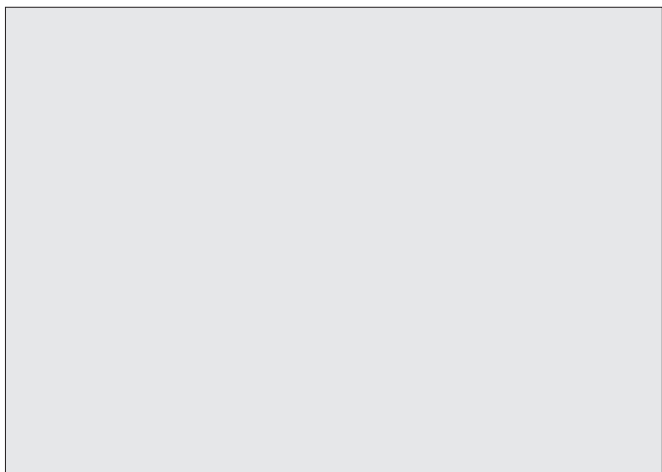
$$a(N) = 10 \log \sum_{n=1}^N \frac{1}{n + (h/\Delta r)^2 / n} \tag{8}$$

Die Summenfeldstärke nimmt mit zunehmender Höhe h langsam ab, da die Entfernungen s_n größer werden. Mit $N = 112$ und $h = \Delta r = 3$ km ergibt sich eine Dämpfung der Summenfeldstärke von 60 dB bezogen auf E_{NB30} .

Feldstärke der Raumwelle nach Reflexion an der Ionosphäre

Der Kurzwellenbereich zwischen 1,6 und 30 MHz bietet als einziger Frequenzbereich die Möglichkeit zu weltumspannenden Funkverbindungen. Möglich wird dies durch die einmalige oder mehrfache Reflexion der Funkwellen an der Ionosphäre. Diese ionisierten Schichten reflektieren elektromagnetische Wellen in einem bestimmten Frequenzbereich, die innerhalb eines bestimmten Winkelbereichs einfallen. Höhere Frequenzen und Wellen, die andere Einfallswinkel haben, durchdringen die Ionosphäre und verlassen die Erde.

Mit Hilfe von Rechnerprogrammen für Weiterverkehrsverbindungen wurde für den



Ballungszentren

In Ballungszentren und Großstädten ist die PLC-Dichte wesentlich höher als in weniger dicht besiedelten Gebieten. Allerdings muss die Bodenwelle dort entlang ihrer Ausbreitungsrichtung durch sehr viele andere Häuser hindurch. Sie wird dabei im Mittel bei 50 kHz um etwa 3 dB pro Gebäude gedämpft, bis hinauf zu 8 dB und mehr pro Gebäude im

hier betrachteten Fall das ungünstigste Ergebnis ermittelt. Abbildung 3 zeigt stark vereinfacht die Verhältnisse bei 10 MHz. Von den von einem punktförmigen Sender in alle Raumrichtungen abgestrahlten Wellen wird ein Teilbereich an der Ionosphäre reflektiert. Der Sender erreicht so ein kreisringförmiges Versorgungsgebiet. Um die Feldstärke am Empfangsort zu berechnen, benötigt man die Länge $s = s_1 + s_2$ des Übertragungsweges, den Raumwinkel der reflektierten Strahlung und die Ionosphärendämpfung a_{io} (a_{io} beträgt einmal jährlich für eine Stunde mindestens 6 dB und im Mittel 17 bis 20 dB):

$$a_{ionrefl}(r) = 20 \log \frac{E_{E(r)}}{E_{NB30}} = a_{RW} + a(r) + a_{io} \quad (9)$$

mit $a(r) = 20 \log(r_0/s)$. Mit einem Raumwinkel von $RW = 1/3$, $a_{io} = 6$ dB und $s = 1221$ km erhält man -123 dB.

Summenfeldstärke der Raumwelle nach Reflexion an der Ionosphäre

Berücksichtigt man alle PLC-Sender, wird die ausgeleuchtete Fläche ein Kreisring mit einem Innendurchmesser von 680 km und einem Außendurchmesser von 2.000 km. Jedoch werden an keiner Stelle in diesem Kreisring die Signale aller PLC-Sender in Deutschland empfangen. Dennoch wird für die Abschätzung der Summenfeldstärke die Gesamtzahl M aller PLC-Sender benutzt: Zu Gleichung (9) wird $a(M) = 10 \log M$ addiert. Die Maximalwerte der auftretenden Feldstärken sind um 89 dB kleiner als E_{NB30} (82 dB für 125.000 PLC-Sender).

Zusammenfassung

Für die Abschätzung der möglichen Maximalwerte der Störfeldstärke wurden im Text grundsätzlich Annahmen für ein möglichst ungünstiges Ergebnis gewählt. Dennoch sind die damit berechneten Summenfeldstärken so niedrig, dass eine weitere Verfeinerung der Abschätzung nicht notwendig ist. Die ermittelten Werte $a_{\Sigma}(r)$ für die Dämpfung der Summenfeldstärke verglichen mit dem Grenzwert E_{NB30} liegen zwischen 52 und 91 dB. Aus den großen Dämpfungswerten folgt, dass der Einfluss der vielen anderen PLC-Sender generell vernachlässigt werden kann.

Die NB30 wurde mit der Begründung geschaffen, dass aufgrund der großen Zahl der zu erwartenden neuartigen Anlagen zur leitergebundenen Telekommunikation (DSL, PLC, Ethernet, CATV) ein völlig neues

EMV-Störszenario auf unsere Gesellschaft zukommt, welches mit allem bisher da Gewesenen nicht vergleichbar ist. Diese Befürchtungen sind unbegründet. Dennoch wurde aufgrund dieser vermeintlichen Bedrohung eine Verordnung erlassen, die weit über das Ziel des Schutzes von Funkdiensten hinausgeht. Das früher ebenfalls einmal geäußerte Ziel, die Entwicklung innovativer Technologien in Deutschland fördern zu wollen, ist mit der NB30 ins Gegenteil verkehrt worden. Viele Firmen haben ihre erfolgreichen Aktivitäten im Bereich Powerline-Kommunikation inzwischen eingestellt. Der deutschen Volkswirtschaft ist damit ein Schaden in Höhe von mehreren hundert Millionen Euro entstanden. Zudem ist der Wissensvorsprung Deutschlands auf diesem Gebiet verloren gegangen. In den USA, wo Grenzwerte gültig sind, die etwa 20 bis 30 dB über denen der NB30 liegen [4], ist die Powerline-Kommunikation ein wirtschaftlicher Erfolg: So hat z.B. die Firma Intellon bis Ende 2004 zwei Millionen PLC-ICs ausgelie-

fert. Die damit hergestellten Powerline-Modems werden weltweit vertrieben, auch in Deutschland.

Literatur

- [1] Dalichau, H.: Elektromagnetische Felder von Powerline-Anlagen; Teil 1: Elektronik 2001, H. 9, S. 77-81. Teil 2: Elektronik 2001, H. 10, S. 84-91.
- [2] http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/freqbz-pv_2004/gesamt.pdf
- [3] Recommendations and Reports of the CCIR, Vol.V, Genf: ITU 1990.
- [4] Dalichau, H.: EMV-Aspekte von Inhome-PLC-Anlagen. EMC Kompendium 2002, S. 30-34.

Dieser Beitrag als PDF und weiterführende Informationen (ähnliche Beiträge, technische Daten, Direktlinks zum Hersteller etc.) sind online verfügbar auf www.EuE24.net.

more @ click EE5B1009 >