

# EMV-Aspekte von Inhome-PLC-Anlagen

## Vergleich des kHz-Bereiches mit dem MHz-Bereich

Harald Dalichau

Theoretische Elektrotechnik  
Universität der Bundeswehr München  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik

*PLC-Systeme für Inhome Anwendungen werden vorgestellt. Ihr Einsatzbereich und die dafür notwendigen Datenraten werden erläutert. Es wird beschrieben, wie die elektromagnetischen Felder in der Umgebung von PLC-Anlagen entstehen. Die zu erwartenden Maximalwerte der Feldstärke werden als Funktion der Frequenz und des Abstands von der Anlage abgeschätzt. Die derzeit vorliegenden, unterschiedlichen nationalen Richtlinien über die Grenzwerte der Störaussendungen von Telekommunikationsanlagen in und längs von Leitern werden miteinander verglichen und diskutiert. Diese Grenzwerte werden den in der Realität zu erwartenden Feldstärken beim Betrieb von PLC-Anlagen gegenübergestellt. Insbesondere wird der beachtliche Unterschied zwischen den PLC-Anlagen, die den kHz-Bereich und denen, die den MHz-Bereich nutzen, herausgearbeitet.*

Die Nutzung des in jedem Haus vorhandenen 230-V-Niederspannungsnetzes zur Übertragung digitaler Daten ist eine sehr kostengünstige Lösung, um den steigenden Bedarf nach Datenkommunikation im privaten Bereich zu decken. In jedem Raum sind ausreichend viele Steckdosen vorhanden, um Signale in das Netz einzuspeisen oder Signale aus dem Netz zu empfangen. Die technische Entwicklung hat heute den Stand erreicht, daß diese Art der Kommunikation über die sogenannte Powerline zuverlässig möglich ist. Die dazu notwendigen PLC-Modems stehen inzwischen zur Verfügung [1].

## **PLC-Systeme für Inhome-Anlagen**

Die Einsatzgebiete von Inhome-PLC-Anlagen lassen sich einteilen in die Kommunikation mit der Außenwelt und das Inhome-LAN. Für beide Aufgaben ist die Nachfrage auf dem Markt vorhanden und für beides wird nach einer zufriedenstellenden Lösung gesucht: Die im Haus ankommenden Daten enden in der Regel an einer Steckdose im Keller bzw. im Flur. Genutzt werden sollen sie allerdings in den anderen Räumen der Wohnung, im Arbeitszimmer, im Wohnzimmer, im Kinderzimmer etc. Damit ist auch bereits die Notwendigkeit des Inhome-LANs ersichtlich: Die Zahl der Haushalte mit mehr als einem PC wächst ständig und eine einfach zu installierende, kostengünstige Vernetzung all dieser PCs und eventuell vorhandener weiterer Datenendgeräte (Drucker, Scanner, MP3-Player, WebCam, Set-Top-Box etc.) wird gefordert.

Die notwendigen Datenraten für die Kommunikation mit der Außenwelt sind 56 kBit/s beim analogen Telefonanschluß, 64 bzw. 128 kBit/s (gebündelt) beim ISDN-Anschluß und bis zu 750 kBit/s beim ADSL-Anschluß. Für das Inhome-LAN sind mindestens 1,5 MBit/s wünschenswert, um auch (komprimierte) Streaming-Video-Übertragungen zu ermöglichen.

Zu den wesentlichen Anwendungen der Inhome-Kommunikation gehören:

- Internetzugang von jedem PC aus,
- Zugriff auf alle PCs und Peripheriegeräte von jedem anderen PC aus,
- Internetzugang zu allen Webserver-Applikationen (Sensoren: Temperatur, WebCam etc., Aktoren: Schalter, Heizungsventil etc.), die über das Internet bzw. Telefon abgefragt und gesteuert werden können,
- Computerspiele im LAN-Verbund,
- Rückkanal für digitales Pay-TV,
- Verteilung von MP3-kodierter Musik.

Da die zur Datenübertragung benutzten Leitungen für die Energieversorgung gedacht sind und nicht zur schnellen Datenkommunikation, ist sehr viel technischer

Aufwand notwendig, um eine zuverlässige Kommunikation zu gewährleisten. Die Erzeugung des Sendesignals, die Modulation und Demodulation, die Adressierung, Synchronisation, Entzerrung und Kanalkodierung erfolgen in einem Rechner-Chip, im allgemeinen in einem DSP [2].

Die Daten werden paketweise übertragen, mit Vorwärtsfehlerkorrektur und einer Protokollsteuerung, die den Mehrfachzugriff auf den Kanal regelt und dafür sorgt, daß Bitfehler und Paketfehler erkannt und korrigiert werden. Ein häufig benutztes Modulationsverfahren ist adaptive OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Dabei werden im nutzbaren Frequenzbereich sehr viele Trägerfrequenzen benutzt, z.B. im Abstand von 1 kHz. Jeder dieser Sinusträger wird rechnergesteuert mit 6Bit, 4 Bit, 2 Bit oder 0 Bit moduliert (Quadratur Amplituden Modulation, QAM), abhängig vom aktuellen, vorab gemessenen Störabstand des jeweiligen Trägers. Sofern 0 Bit beinhaltet, daß kein Träger ausgesendet wird, kann man diese Eigenschaft dazu nutzen, besonders zu schützende Frequenzbereiche freizulassen. Da das gesamte PLC-Modem per Software gesteuert wird, lassen sich nachträgliche Änderungen, z.B. weil die gesetzlichen Bestimmungen sich geändert haben, einfach durch ein entsprechendes Update der Software durchführen.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß ein PLC-System mindestens 70 dB Dämpfung überbrücken können sollte, damit alle Steckdosen in einer typischen Wohnumgebung erreicht werden. Aufgrund der Adaptivität wird es z.B. so sein, daß bis 50 dB Dämpfung die volle Datenrate zur Verfügung steht, und oberhalb von 50 dB die Datenrate zugunsten der Verfügbarkeit absinkt, z.B. auf bis zu 30 % der maximalen Datenrate. Breitbandige hohe Dämpfungen oberhalb von 40 dB treten typischerweise nicht in Apartments oder Wohnungen auf, sondern nur in Häusern mit Drehstromanschluß, wenn PLC-Sender und -Empfänger an unterschiedlichen Phasen angeschlossen sind.

## Elektromagnetische Felder von PLC-Anlagen

Betrachtet man den für PLC-Anwendungen möglichen Frequenzbereich von 0 bis 30 MHz, so kann man aus technischer Sicht zunächst den unteren Frequenzbereich bis etwa 50 kHz nur schlecht nutzen, wegen des dort vorhandenen hohen Störpegels, hervorgerufen durch die Nutzung des Niederspannungsnetzes zur Energieversorgung. Des weiteren erscheint es zweckmäßig, den Bereich des AM-Rundfunks, von etwa 500 kHz bis 1,6 MHz, nicht zu benutzen. Damit verbleiben zunächst zwei Bereiche, der kHz-Bereich von 50 bis 500 kHz und der MHz-Bereich von 1,6 bis 30 MHz.

Da die oben beschriebenen Modulationsverfahren eine sehr hohe Bandbreiten-Effizienz von etwa 4 Bit/Hz haben, kann man im kHz-Bereich bei maximal 450 kHz nutzbarer Bandbreite mittlere Datenraten bis zu 1,8 MBit/s erwarten. Dies ist für die oben beschriebenen Anwendungen im Inhome-Bereich ausreichend. Der MHz-Bereich scheint wegen der mehr als sechzigmal größeren Bandbreite wesentlich höhere Datenraten zu ermöglichen. Dies hat in der Vergangenheit dazu geführt, daß viele Firmen diesen Bereich für Access-PLC-Anwendungen nutzen wollten.

Neben den Schwierigkeiten mit dem Übertragungskanal, der starken Störungen und zeitlichen Schwankungen ausgesetzt ist, sind die externen elektromagnetischen Felder, die in der Umgebung von PLC-Anlagen entstehen, ein wesentlicher Grund für die vielen Verzögerungen, die es bisher bei der Markteinführung von PLC-Anlagen gegeben hat. Im Unterschied zu Telekommunikationsleitungen sind Netzleitungen sowohl vom Aufbau als auch von der Beschaltung her sehr unsymmetrisch. Dadurch sind die externen elektromagnetischen Felder, die beim Betrieb der PLC-Anlage entstehen, wesentlich größer. Die Koexistenz mit den im gleichen Frequenzbereich arbeitenden Funkdiensten ist das wichtigste, zu lösende Problem.

Abb. 1 zeigt schematisch vereinfacht die Ströme, die eine PLC-Anlage erzeugt. Wie in [3] abgeleitet, ist der Gegentaktstrom, die normale, gewollte Betriebsart ( $I_P$  entgegengesetzt gleich groß wie  $I_N$ ), als Quelle der externen Felder zu vernachlässigen. Die unerwünschten Felder werden ausschließlich vom

Gleichtaktstrom erzeugt. Er entsteht durch Unsymmetrien der Leitung und fließt über Streukapazitäten nach Masse ab. Über die Hauserde am Hausanschlußkasten fließt er dann wieder in den PLC-Signalkreis zurück. Wegen der Kapazitäten im Gleichtaktstromkreis nimmt die Amplitude des Gleichtaktstroms proportional zur Frequenz zu.

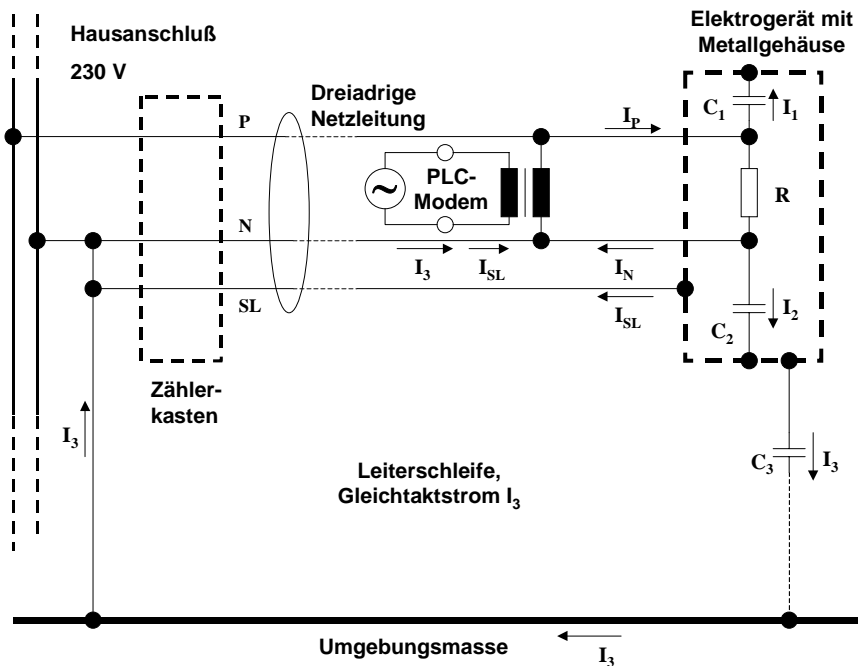


Abb. 1: Ursache der externen elektromagnetischen Felder ist der Gleichtaktstrom

Die externen Felder, die der Gleichtaktstrom erzeugt, kann man in zwei Gruppen einteilen: Das Feld der geführten Welle, deren Magnetfeld den Leiter umschließt und deren Energieausbreitungsrichtung parallel zum Leiter verläuft, und das Feld der abgestrahlten Welle. Deren Energieausbreitungsrichtung zeigt radial weg vom Leiter in die Umgebung. Abb. 2 zeigt die für ein praxisnahes Beispiel berechneten Feldstärkeamplituden beider Feldanteile als Funktion der Entfernung  $r$  vom Leiter [4].

Das Feld der geführten Welle nimmt in unmittelbarer Leiternähe zunächst mit  $1/r$  ab, danach mit  $1/r^2$  und dann, wenn man die gesamte Leiterschleife des Gleichtaktstroms berücksichtigen muß (z.B. für  $r > 10$  m) mit  $1/r^3$ . Man erkennt, daß

es im Vergleich zum Feld der abgestrahlten Welle nur in unmittelbarer Leiternähe existiert. Mit zunehmender Entfernung wird es sehr schnell kleiner. Im Rechenbeispiel kann man es bei 100 kHz für Entfernungen von mehr als 170 m gegenüber dem Strahlungsfeld vernachlässigen.

Die Entfernungsabhängigkeit des Feldes der Leitungswelle ist frequenzunabhängig. Bei 10 MHz ist der Verlauf der gleiche wie bei 100 kHz, allerdings ist die Amplitude um 40 dB größer, da der Gleichtaktstrom bei der hundertfachen Frequenz im Mittel auch hundertmal größer ist. Der Kurvenverlauf wurde in das Diagramm Abb. 2 nicht eingetragen. Die Kurve beginnt im gleichen Punkt wie das abgestrahlte Feld und ist mit zunehmender Entfernung dann immer unterhalb der des abgestrahlten Feldes. Das Feld der abgestrahlten Welle wird für den hier betrachteten Fall frequenzunabhängig mit zunehmender Entfernung mit  $1/r$  kleiner. Bei 10 MHz ist seine Amplitude einmal um 40 dB größer, wegen des größeren Gleichtaktstromes und weitere 40 dB größer, weil das Abstrahlvermögen einer Leitung von im Beispiel 10 m Länge bei einer Wellenlänge von 30 m (10 MHz) hundertmal besser ist als bei einer Wellenlänge von 3000 m (100 kHz).

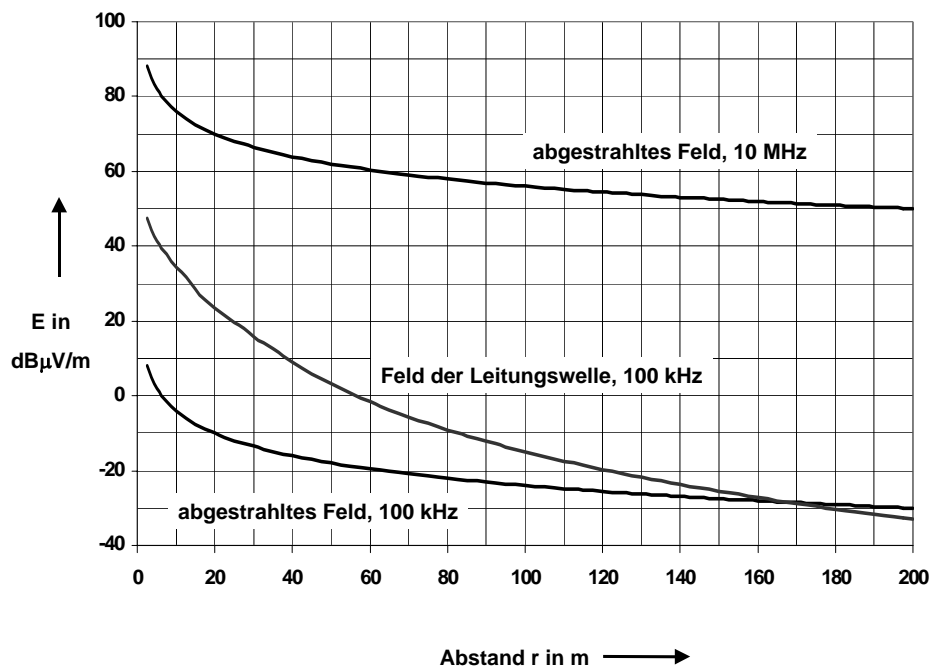


Abb. 2: Aufteilung der Felder in geführte und abgestrahlte Wellenfelder

Damit ist das Strahlungsfeld bei 10 MHz für Entfernungen  $> 2$  m immer größer als das Feld der geführten Welle. Dessen Anteil kann also dort überall unberücksichtigt bleiben.

Das Ergebnis dieser theoretischen Abschätzung, das sich selbstverständlich auch durch Messungen belegen läßt, ist, daß sich die externen Felder von PLC-Anlagen in unmittelbarer Leiternähe um 40 dB und in größerer Entfernung um 80 dB unterscheiden, wenn man die beiden Frequenzen 100 kHz und 10 MHz miteinander vergleicht.

## **Grenzwerte für Störfeldstärken von PLC-Anlagen**

Abb. 3 zeigt die Grenzwerte der Störfeldstärke als Funktion der Frequenz nach der in Deutschland seit dem 1.7.2001 geltenden NB 30. Die Ergebnisse der oben betrachteten Abschätzung sind ebenfalls eingetragen. Man sieht, daß die Grenzwerte mit zunehmender Frequenz sinken, während die vom PLC-Nutzsignal erzeugten Feldstärken mit der Frequenz ansteigen. Betrachtet man den Abstand zwischen beiden Kurven, so erkennt man, daß im kHz -Bereich NB-30-konforme PLC-Lösungen möglich sind, im MHz-Bereich dagegen nicht. 60 dB Unterschied zwischen Realität und Grenzwert sind technisch unüberwindbar.

Die in Abb. 3 eingetragenen externen Feldstärken von PLC-Anlagen haben bei 10 MHz einen Knick und verlaufen anschließend horizontal weiter. Aus Messungen ist bekannt, daß oberhalb einer Grenzfrequenz, die von Fall zu Fall unterschiedlich etwa zwischen 3 und 10 MHz liegt, ein Sättigungsbereich auftritt. Dieser entsteht dadurch, daß zum einen der Gleichtaktstrom seinen Maximalwert erreicht hat und zum anderen dadurch, daß die Abstrahlungsfähigkeit der Powerline trotz kleiner werdender Wellenlänge nicht mehr weiter zunimmt.

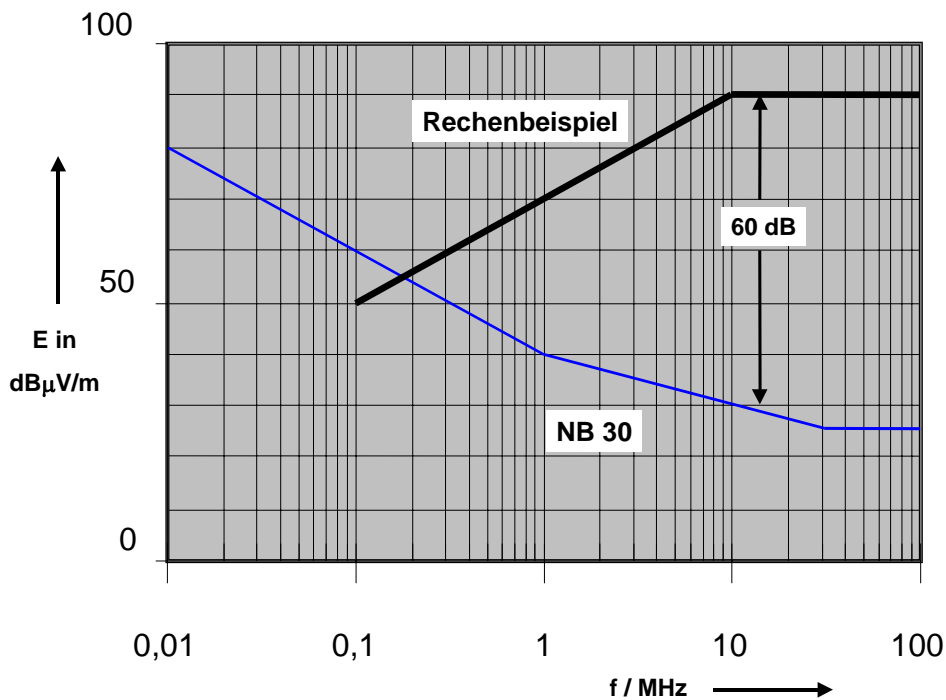


Abb. 3: Grenzwerte der NB 30 und maximal zu erwartende, reale Feldstärkewerte

Die in Abb. 3 eingetragene horizontale Linie gibt den zu erwartenden Maximalwert der externen Feldstärke an. Meßwerte an realen PLC-Installationen werden in diesem Bereich immer starke Schwankungen zeigen. Dadurch, daß die Leitungslänge hier in der gleichen Größenordnung wie die Wellenlänge ist, sind Nullstellen und Maxima der Feldstärke sowohl örtlich als auch über der Frequenz dicht benachbart und wechseln sich ab. Gemessene Feldstärkeverläufe werden also nur in wenigen Punkten die in Abb. 3 eingetragene horizontale Linie berühren. Es wird ebenfalls sehr einfach möglich sein, an ausgesuchten Installationen Feldstärkeverläufe zu messen, die in allen Punkten weit unter der Grenzlinie in Abb. 3 bleiben. Diese Kurve wurde abgeleitet, um die infolge der physikalischen Zusammenhänge zu erwartenden Maximalwerte der Feldstärke abschätzen zu können.

Parallel zur NB 30 entstand in Großbritannien die MPT 1570. Die hier festgelegten Grenzwerte sind in Abb. 4 zusammen mit denen der NB 30 (dünne Linie) eingetragen. Die Grenzwertlinie der MPT 1570 (durchgehende, kräftige Linie) springt bei 150 kHz um 16,5 dB nach oben, weil bei dieser Frequenz die Meßbandbreite von 200 Hz auf 9 kHz umgeschaltet wird: Bei konstanter spektraler Leistungsdichte mißt



man beim Umschalten von 200 Hz auf 9 kHz einen um 16,5 dB höheren Pegel. Um beide Grenzwerte miteinander vergleichen zu können, muß die Entfernung von 1 m (MPT 1570) auf 3 m (NB 30) umgerechnet werden. Da in solch extremer Nähe zum Leiter alle Feldstärken mit  $1/r$  abnehmen, bedingt dies eine Absenkung der MPT-1570-Grenzwerte um 9,5 dB. Die auf 3-m-Meßentfernung umgerechneten MPT-1570-Grenzwerte sind als gestrichelte Linie in das Diagramm eingetragen. Unterhalb von 150 kHz liegen die MPT-1570-Grenzwerte um 16,5 dB unter denen der NB 30. Im Bereich 150 kHz bis 1 MHz sind NB 30 und MPT 1570 identisch.

Die gestrichelt eingetragenen MPT-1570-Grenzwerte oberhalb von 1,6 MHz gelten bereits für 3 m Meßentfernung. Sie entsprechen der Fassung vom Februar 2001, sind allerdings, im Unterschied zu den Grenzwerten unterhalb von 1,6 MHz noch nicht endgültig festgelegt. Ein weiterer Unterschied zwischen dem britischen Lösungsansatz und dem deutschen ist der, daß die Grenzwerte der NB 30 zur aktiven Überwachung des Marktes durch die RegTP dienen, während die MPT 1570 nur im Falle einer Beschwerde als Meßvorschrift und Grenzwertvorgabe zum Einsatz kommt.

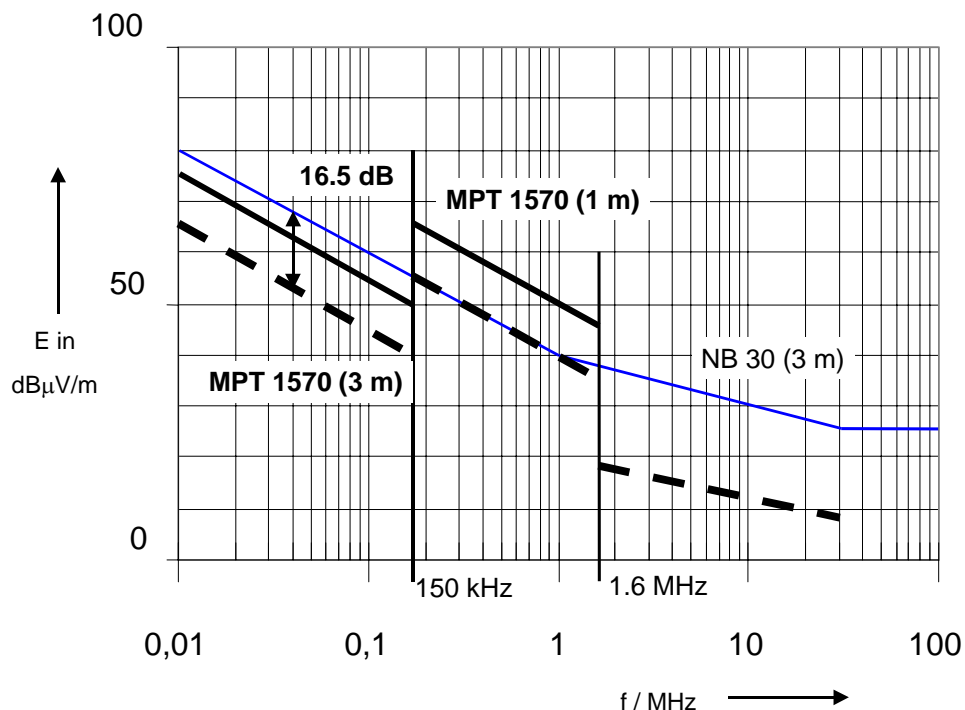


Abb. 4: Vergleich von MPT 1570 (UK) und NB 30 (D)

Die in den USA für PLC-Anlagen gültigen Grenzwerte werden mit FCC (Federal Communications Commission) Part 15 bezeichnet. In Abb. 5 ist der von 1,705 bis 30 MHz gültige, konstante Grenzwert zusammen mit der NB 30 Grenzkurve eingetragen. Um beide miteinander vergleichen zu können, wird der NB-30-Grenzwert auf die in den USA vorgeschriebene Meßentfernung 30 m und den dort benutzten Quasi-Peak-Detektor umgerechnet. Der Wechsel des Detektors verschiebt die NB-30-Grenze um 8 dB nach unten. Da im MHz-Bereich das abgestrahlte Feld überwiegt, ist die Entfernungsabhängigkeit  $1/r$ , was eine weitere Verschiebung um 20 dB bewirkt. Damit sind die US-Grenzwerte bei 1,7 MHz um 19,5 dB und bei 30 MHz um 30,5 dB höher als die deutschen.

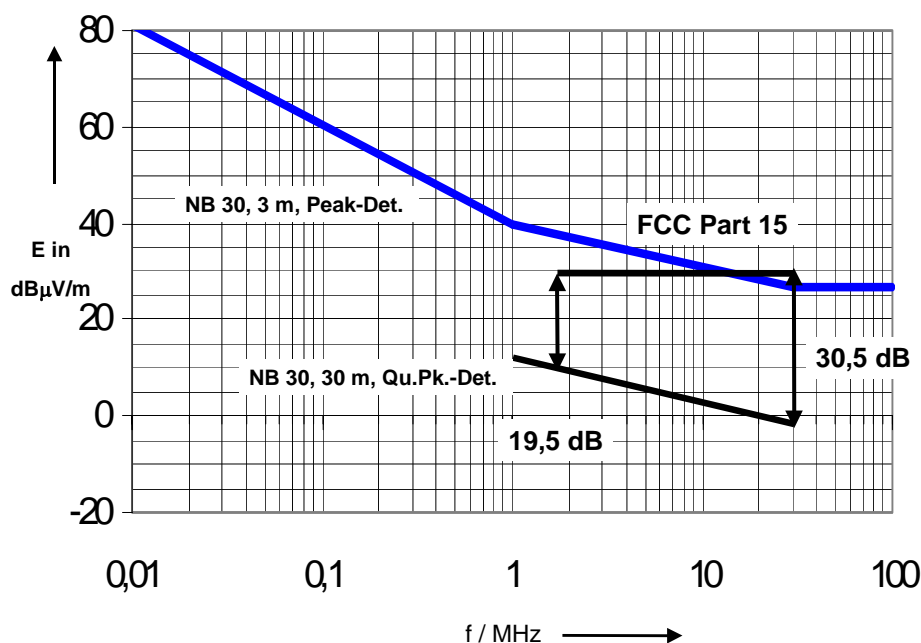


Abb. 5: Vergleich von FCC Part 15 (USA) und NB 30 (D) im MHz-Bereich

Abb. 6 zeigt die Verhältnisse im kHz-Bereich. Von 9 bis 490 kHz wird in den USA in 300 m Entfernung mit dem Average-Detektor gemessen. Die Bandbreite wird, wie weltweit üblich, bei 150 kHz von 200 Hz auf 9 kHz umgeschaltet. Rechnet man nun wieder die NB-30-Werte auf dieses Meßverfahren um, so ergibt sich eine Absenkung um 11 dB für den Wechsel vom Peak-Detektor zum Average-Detektor. Die Entfernungserhöhung von 3 m auf 300 m wird aus Abb. 2 zu 80 dB abgelesen. Damit sind die amerikanischen Grenzwerte bei 100 kHz um 59 dB höher als die deutschen.

Die US-Grenzwerte gestatten im kHz-Bereich eine im logarithmischen Maß rund 60 dB höhere Sendeleistung für PLC-Anlagen als die deutschen. Im linearen Maß ist dies der Faktor eine Million. Wenn man sich näher mit dem ausführlichen Text der FCC Part 15 beschäftigt, kommt man zu dem Schluß, daß diese Bestimmungen von qualifizierten Ingenieuren gemacht wurden, die auf fundiertes Wissen im Bereich der elektromagnetischen Felder und ihrer Störwirkungen zurückgreifen konnten und die eine technisch differenzierte, sinnvolle Lösung gesucht und gefunden haben. Woraus resultiert nun diese eklatante Differenz zwischen der deutschen und der amerikanischen Regulierungsbestrebung?

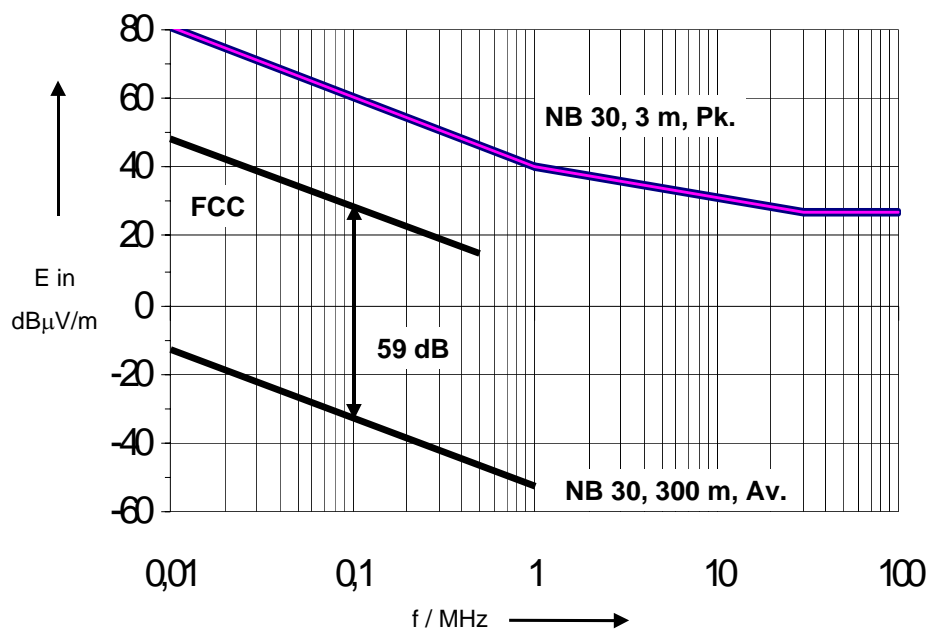


Abb. 6: Vergleich von FCC Part 15 (USA) und NB 30 (D) im kHz-Bereich

Hauptursache ist die viel zu klein gewählte Meßentfernung bei der NB 30. Verglichen mit der Gesamtausdehnung des Leitungsnetzes, das als Sendeantenne wirkt, befindet man sich in 3 m Entfernung im absoluten Nahfeld. Aus der Antennentechnik ist bekannt, daß man aus Nahfeldmessungen an Drahtstrukturen nicht auf die Feldstärke im Fernfeld schließen kann. Abb. 2 (mittlere Kurve) zeigt, daß PLC-Anlagen im kHz-Bereich ein relativ großes Nahfeld (das Feld der Leitungswelle) haben, das allerdings mit zunehmender Entfernung rasch verschwindet. Die Regulierungsbehörde geht davon aus (wie schon vor 50 Jahren) daß der typische Deutsche, der in der Wohnung nebenan wohnt ( $\Rightarrow$  Entfernung 3 m), während der

Nutzer der PLC-Anlage per PLC-Verbindung im Internet surft, mit seinem Rundfunkempfänger mittels Ferrit-Zimmerantenne Langwelle hört. Dieses Tun wird als schützenswert anerkannt.

Die Realität ist jedoch, daß der typische Nachbar seine Rundfunksignale entweder über eine Dachantenne, über das TV-Kabel oder aus dem Internet erhält. Weiterhin ist die Akzeptanz des Hörrundfunks via Rundfunkempfänger nur noch im UKW-Bereich gegeben. Unbeachtet dessen sind Funkfrequenzen kostbare Ressourcen, die ohne Aktualitätsverlust auch in der heutigen Zeit in vielfältigster Weise genutzt werden. Allerdings nicht 3 Meter neben einer Privatwohnung mit Inhome-PLC-Anlage. Entscheidend für den Störeffekt einer Inhome-PLC-Anlage ist nicht die Feldstärke im unmittelbaren Nahfeld sondern die Auswirkung auf die weiter entfernte Umgebung. Entscheidend ist das in die Umgebung abgestrahlte Feld und nicht das fest an den Leiter gebundene, geführte Wellenfeld. Durch den Abfall der Feldstärke der Leitungswelle mit  $1/r^3$  entstehen durch Inhome-PLC-Anlagen anschaulich betrachtet singuläre Leuchtpunkte, deren Lichtintensität mit zunehmender Entfernung rasch abnimmt. Somit entspricht eine große Anzahl von PLC-Anlagen, bildlich gesprochen, einer Vielzahl von Glühwürmchen, deren Leuchten bei Nacht aus der Nähe gut zu erkennen ist, deren Leuchtkraft jedoch nicht ausreicht, das ganze Land zu erhellen.

Weiterhin ist der in der NB 30 vorgeschriebene Peak-Detektor eine im EMV-Bereich ungewöhnliche Maßnahme. Um das subjektive Empfinden von Störungen beim analogen Rundfunk besser bewerten zu können, hat man den Quasipeak-Detektor eingeführt.

Die europaweit einheitlich gültigen EMV-Richtlinien haben sowohl für leitungsgeführte als auch für gestrahlte Störgrößen höhere Grenzwerte als die NB 30. In allen diesen Fällen (z.B. bei Leuchtstoffröhren) handelt es sich um wirkliche Störungen, die von diesen Geräten ausgehen, die also für die eigentliche Funktion nicht notwendig sind. Eine Leuchtstoffröhre darf z.B. bei 150 kHz oder bei 3 MHz eine Störfeldstärke von 98 dB $\mu$ V/m erzeugen (EN 55015). Dabei kann man eine Leuchtstoffröhre problemlos so bauen, daß sie entscheidend weniger Funkstörungen

erzeugt. Sie wird dann nur etwas teurer. Im Unterschied zu diesen nicht notwendigen Störungen werden die elektromagnetischen Felder von PLC-Anlagen von Nutzsignalen erzeugt. Hier ist der Fall eingetreten, daß Nutzsignalen strengere Grenzwerte auferlegt werden als Störsignalen. Dies hat zur Folge, daß NB-30-Konformitätsmessungen in der Regel gar nicht durchgeführt werden können, da die bei ausgeschalteter PLC-Anlage gemessenen Störfeldstärken bereits deutlich über den NB-30-Grenzwerten liegen.

Es ist außerdem die Frage zu klären, ob die NB 30 überhaupt auf Inhome-PLC-Modems anzuwenden ist. Die NB 30 ist eine Folge des Telekommunikationsgesetzes (TKG). Dieses ist aber ausdrücklich nicht für Telekommunikationsendgeräte zuständig. Die Anwendung der NB 30 auf Inhome-PLC-Modems führt dazu, daß ein z.B. in Österreich gekauftes PLC-Modem in einer Privatwohnung in Deutschland nicht betrieben werden darf. Damit werden nationale Handelsbarrieren innerhalb der EU wieder eingeführt, die man im Bereich der Telekommunikationsendgeräte bereits seit langem überwunden zu haben glaubte.

## **Zusammenfassung**

Feldberechnungen und Messungen ergeben, daß im kHz-Bereich eine Koexistenz zwischen PLC-Anlagen und Funkdiensten möglich ist. Die Einhaltung der in diesem Bereich vorhandenen Grenzwerte der Störfeldstärke ist ebenfalls machbar. Insofern sind erste Produkte auf dem Markt, die zuverlässig arbeiten [1]. Im MHz-Bereich, wo die Störfeldstärkegrenzwerte niedriger und die abgestrahlten Felder größer sind, können breitbandig arbeitende PLC-Anlagen nicht verwendet werden. Nur solche PLC-Systeme, die in der Lage sind ausschließlich freie, nicht von Funkdiensten belegte Kanäle zu benutzen, können hier eingesetzt werden. Dazu ist es notwendig, daß diese freien Kanäle von den nationalen Regulierungsbehörden für die Nutzung zur Powerline Kommunikation zugeteilt werden. Derartige freie Frequenzbänder sind vorhanden. Insgesamt steht heute bereits eine Bandbreite von etwas über 7 MHz, allerdings aufgeteilt auf viele schmale Kanäle, zur Verfügung.

Um keinerlei Mißverständnisse aufkommen zu lassen, sei darauf hingewiesen, daß es sich bei den elektromagnetischen Feldern, die von PLC-Anlagen erzeugt werden,

um äußerst niedrige Feldstärken handelt. Diese Feldstärken sind so gering, daß sie mit einem empfindlichen, modernen Funkempfänger gerade nachgewiesen werden können. Sie haben nichts zu tun mit den Feldstärken, die im Bereich des Personenschutzes diskutiert werden. Die NB-30-Grenzwerte liegen bei 100 kHz um 100 dB und bei 30 MHz um 122 dB unter den derzeit gültigen Personenschutz-Grenzwerten für Dauerbelastung (87 V/m bzw. 27,5 V/m).

## Literatur

[1] [www.polytrax.com](http://www.polytrax.com)

[2] Dalichau, H.; Täger, W.: Description of the technology and comparison of the performance of two different approaches for a powerline modem in the Cenelec-band. 4<sup>th</sup> International Symposium on Powerline Communications, University of Limerick, Ireland, 5<sup>th</sup> - 7<sup>th</sup> April 2000.

[3] Dalichau, H.: Elektromagnetische Felder von Powerline-Anlagen; Teil 1: Theoretische Grundlagen für die Störstrahlungsberechnung. Elektronik 2001, H. 9, S. 77 bis 81.

[4] Dalichau, H.: Elektromagnetische Felder von Powerline-Anlagen; Teil 2: Ableitung von Näherungsformeln und praktische Ergebnisse. Elektronik 2001, H. 10, S. 84 bis 91.

## English Summary

### EMC-Aspects of Inhome PLC Systems

#### Comparison of the kHz-Region and the MHz-Region

*PLC-systems for inhome applications are introduced. Their fields of utilisation and the necessary data rates for each specific application are given. It is described, how electromagnetic fields in the vicinity of PLC-installations are generated. The maximum fieldstrength values, which are most likely to be found, are estimated as a function of frequency and of distance from the powerline. The currently existing differing national limits for telecommunication systems using wires are compared and critically discussed. The limits are correlated to the fieldstrength values of real PLC-systems. Particularly the differences between those PLC-systems using kHz-frequencies and those in the MHz-range are pointed out.*