

NB30 und MV05: Erste praktische Erfahrungen mit Geräten zur Power-Line Communication

H.G. Krauthäuser¹, J. Nitsch¹, M. Thiele², W. Hänsch²

¹ O-v-Guericke Universität Magdeburg, IGET, Postfach 4120, 39106 Magdeburg, hgk@ieee.org;

² ONELINE AG, Steinfeldstr. 3, 39179 Barleben

Zusammenfassung – Seit dem 1. April 2001 ist die Nutzungsbestimmung 30 (NB30) der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung in Kraft. Diese legt unter anderem die Grenzwerte für die Abstrahlung von Power-Line Communication (PLC) Anlagen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz fest. Seit Mitte Mai 2001 gibt es eine rechtsverbindliche Messvorschrift 05 (MV05), die beschreibt, wie an PLC Anlagen bei Überprüfungen oder bei der Störungsbeseitigung die Einhaltung der Grenzwerte messtechnisch nachzuweisen ist. In dieser Arbeit werden Messungen an mehreren PLC-Systemen nach der MV05 vorgestellt und im Hinblick auf die NB30 diskutiert.

1 Einleitung

Die Technologie zur Informationsübertragung über das Stromkabel (Power-Line Communication, PLC) stellt eine der Möglichkeiten dar, kostengünstig eine Breitbandanbindung von Haushalten an das Internet zu realisieren. Stand der Technik ist hierbei eine Übertragung mit bis zu 2 MBit/s. Der offensichtliche Vorteil ist, dass alle Haushalte bereits an das Niederspannungsnetz angebunden sind und somit keine zusätzlichen Kosten für das Verlegen von Kabeln entstehen. Auf der anderen Seite ist das Niederspannungsnetz ursprünglich nicht für die Übertragung von Breitbandsignalen gedacht gewesen. Ein Übertragungssystem muß daher damit zurechtkommen, dass z.B. erhebliche Signaldämpfungen auftreten oder die Netzimpedanz nicht konstant ist. Die hiermit verbundenen Probleme können aber gelöst werden, d.h., dass PLC-Übertragungssysteme technisch realisiert werden können. Für den Betreiber eines PLC-Dienstes ist neben der Frage, ob er es technisch realisieren kann, gleichermaßen wichtig, ob er ein entsprechendes System auch betreiben darf. Der regulative Rahmen hierzu ist neben dem EMV-Gesetz und dem Telekommunikationsgesetz vor allem die NB30, die u.a. Grenzwerte für PLC im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz festschreibt und die MV05 der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) [1].

Die ONELINE AG ist einerseits ein PLC-Serviceanbieter, der zur Zeit PLC-Modems verschiedener Anbieter auf ihre Einsatzfähigkeit im sogenannten Inhouse-Bereich (Kommunikation innerhalb eines Hauses) untersucht und andererseits selbst ein PLC-Modem für den sogenannten Access-Bereich (Kommunikation zwischen einem Haus und dem Telekommunikations-Backbone) entwickelt hat.

In dieser Arbeit werden Messungen an zwei Modem Typen für den Inhouse-Bereich (Modem 1 und Modem 2) vorgestellt und in Bezug auf NB30/MV05 diskutiert. Die Inhouse-Messungen erfolgten einerseits an einem Testaufbau in der Magdeburger Absorberhalle und andererseits

an einer realen Testinstallation. Die Messungen werden im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 30 MHz durchgeführt. Gemessen wird Grundsätzlich das Magnetfeld. Dieses wird mit dem E-Feld Antennenfaktor für die verwendete Rahmenantenne unter der Annahme von Fernfeldbedingungen ($Z=377 \Omega$) in ein E-Feld umgerechnet. Für den betrachteten Frequenzbereich ist die Annahme von Fernfeldbedingungen natürlich falsch, so dass die angegebenen E-Feldstärken als Anzeigewerte eines Messinstruments und nicht als Feldstärken aufgefasst werden müssen.

2 Inhouse-Modems

Es standen zwei Modem Typen für den Inhouse-Bereich zur Verfügung. In beiden Fällen handelt es sich um Geräte zur Demonstration der Technik, d.h. noch nicht einmal um Vorserienmodelle. Aus diesem Grund werden daher hier Hersteller und Typ nicht genannt. Die Geräte werden im folgenden als Modem 1 bzw. Modem 2 bezeichnet.

2.1 Messungen in der Absorberhalle

2.1.1 Messaufbau

Um einen objektiven Vergleich der beiden Inhouse-Modems zu ermöglichen ist es notwendig, unabhängig von Umwelteinflüssen unter reproduzierbaren Bedingungen zu messen. Gut geeignet für vergleichende Messungen ist daher ein großer geschirmter Raum oder eine Absorberhalle.

Die Magdeburger Absorberhalle hat eine Größe (Schirmung) von etwa 13 m X 21 m X 9 m und ist mit etwa 2,20 m langen Pyramidenabsorbern an den Wänden und an der Decke ausgekleidet. Die Absorber wirken ab etwa 30 MHz, so dass ihr Effekt im hier betrachteten Frequenzbereich zu vernachlässigen ist. Die Schirmdämpfung ist bei 10 kHz besser als 75 dB und steigt bis 1 MHz auf mindestens 120 dB an. Ein Abfall ist erst oberhalb von 10 GHz zu verzeichnen.

Der Messaufbau zur Untersuchung der Inhouse-Modems ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Länge der Übertragungsstrecke beträgt etwa 7 m. Das Verbindungskabel wird in einer Höhe von etwa 80 cm über dem Boden geführt. Wenn nicht anders vermerkt, befindet sich die Messposition in der Mitte der Übertragungsstrecke in einem Messabstand von 3 m und in einer Höhe von 1 m (Unterkante Rahmenantenne). Die Messungen wurden durchgeführt mit einer passiven Rahmenantenne (EMCO 6512) von 56 cm Durchmesser. Über ein Koaxialkabel (RG 214) ist die Antenne mit einem Störmessempfänger (Rohde&Schwarz ESCS30) verbunden, der im angrenzenden Mess- und Steuerraum untergebracht ist. In der Regel wurden die Messungen mit einer IF-Bandbreite von 9 kHz und einer Messzeit von 100 ms (Peak-Detektor) bzw. 500 ms (Quasi-Peak Detektor) durchgeführt.

Während der Messungen wurden große Dateien zwischen zwei, an die Modems angeschlossenen Laptops kopiert, so dass die Übertragungsstrecke ständig an der Grenze ihrer Übertragungskapazität betrieben wurde. Der einwandfreie Ablauf dieser Übertragung wurde mittels eines Kamerasystems überwacht.

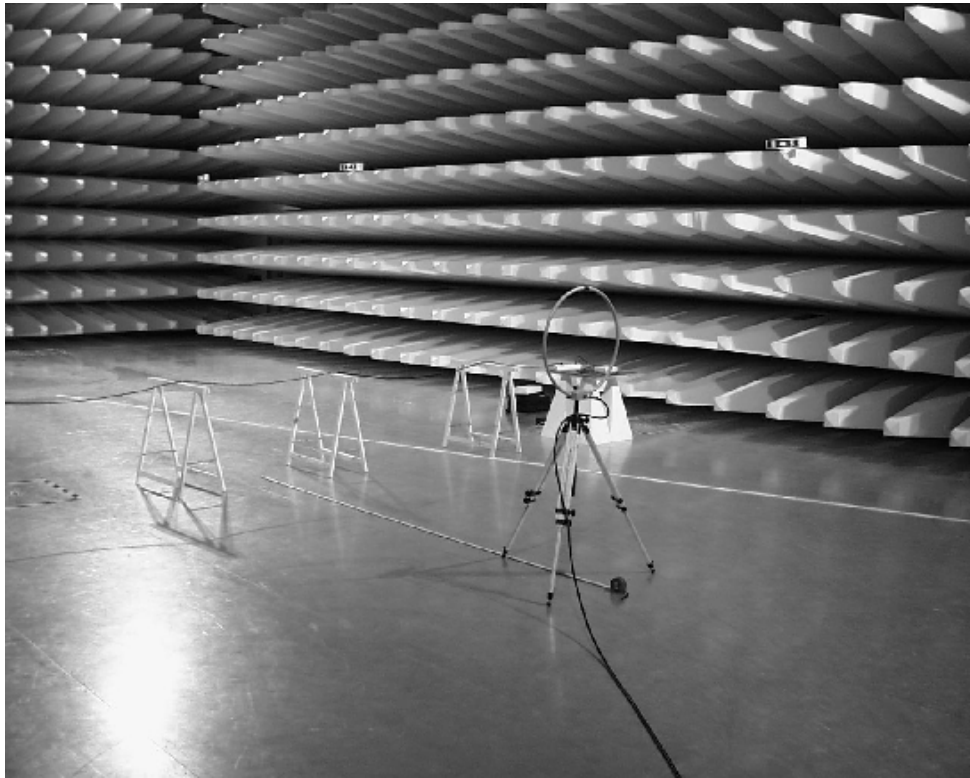


Abbildung 1: Photo des Messaufbaus in der Magdeburger Absorberhalle

2.1.2 Rauschen

Bevor auf die einzelnen Messungen eingegangen wird, ist es sinnvoll, einige Überlegungen zum Rauschen anzustellen.

Die thermische Rauschleistung eines ideal an das Messsystem angepassten Objekts ($50 \, \Omega$ Widerstand) berechnet sich nach

$$P(T) = k_B T B_{\text{IF}} \quad (1)$$

Hierbei ist $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \, \text{J/K}$ die Boltzmannkonstante, T die absolute Temperatur und B_{IF} die Messbandbreite. Für $T = 300 \, \text{K}$ ergibt sich ein Wert von $4.14 \cdot 10^{-21} \cdot B_{\text{IF}} \, \text{J}$ (etwa $-174 \, \text{dBm}$ pro Hertz). Bei einer Messbandbreite von $9 \, \text{kHz}$ ergibt sich somit

$$P(T = 300 \, \text{K}) = 3.7 \cdot 10^{-17} \, \text{W} = -134 \, \text{dBm} \quad (2)$$

Für ein $50 \, \Omega$ System entspricht dem eine Spannung von

$$U(T = 300 \, \text{K}) = 4.3 \cdot 10^{-8} \, \text{V} = -27.3 \, \text{dBuV} \quad (3)$$

Addiert man hierzu den (E-Feld) Antennenfaktor der verwendeten Antenne, so ergibt sich die unterste Kurve der Abbildung 2. Führt man nun mit dem verwendeten Messsystem eine Messung ohne Signal mit den verschiedenen Detektoren durch, so ergeben sich die anderen drei

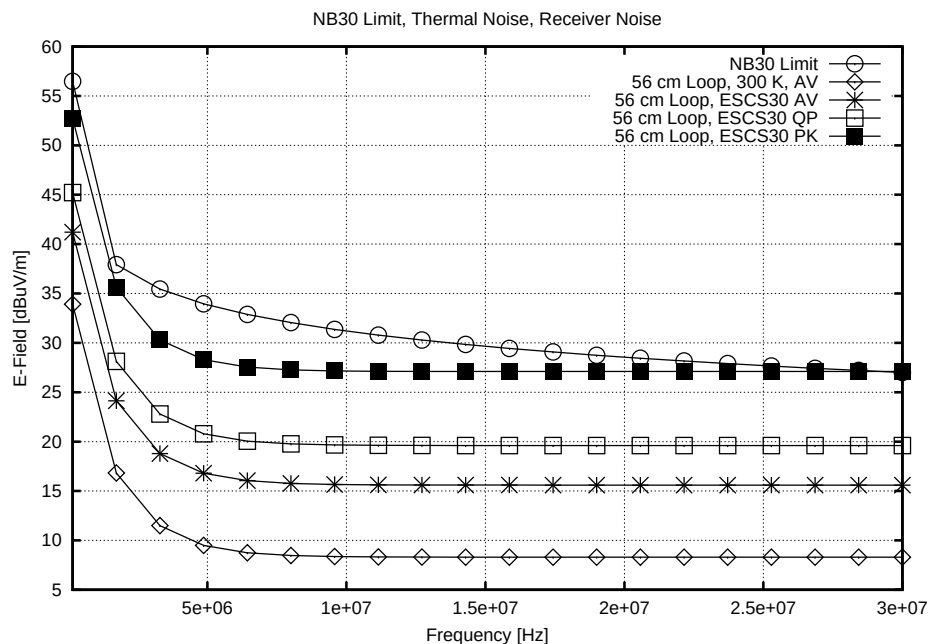


Abbildung 2: Theoretisch erreichbares thermisches Rauschen einer 56 cm Loop Antenne und Rauschen des verwendeten Messsystems (Antenne und Messempfänger im Vergleich zur NB30 Grenzwertlinie

Kurven dieser Abbildung. Es sei angemerkt, dass hierbei — wie auch bei allen Messungen — die internen Abschwächer des Messempfängers abgeschaltet und der Vorverstärker eingeschaltet waren. Es zeigt sich, dass das Rauschen des Messsystems etwa 8 dB über dem thermischen Rauschen liegt (AV-Detektor). Der Abstand AV-QP ist etwa 4 dB und der Abstand QP-PK wiederum etwa 8 dB. Insgesamt kann festgehalten werden, dass das Messsystem relativ zum thermischen Rauschen sehr gut ist. Eine Steigerung der Empfindlichkeit kann somit in erster Linie mittels einer größeren Antenne erfolgen, die dann allerdings eine kleinere obere Grenzfrequenz hätte.

2.1.3 Peak und Quasi-Peak Messungen

Nach der MV05 haben die Messungen mit dem Quasi-Peak-Detektor zu erfolgen. Aufgrund der festgelegten Lade- und Entladezeitkonstanten, ist hierbei eine Messzeit von unter 500 ms pro Frequenzpunkt nicht zu realisieren. Bei etwa 6000 Punkten pro Scan ergibt dies eine Messzeit von etwa 50 Minuten. Neben der Bewertung der Peak und Quasi-Peak Messwerte in Relation zum NB30 Grenzwert, ist somit auch interessant, ob eine Peak-Messung mit anschließender Korrektur durchgeführt werden kann. Die Abbildung 3 zeigt hierzu zunächst typische PK und QP-Messungen an den beiden Modems zusammen mit der Grenzwertkurve. Für beide Modems

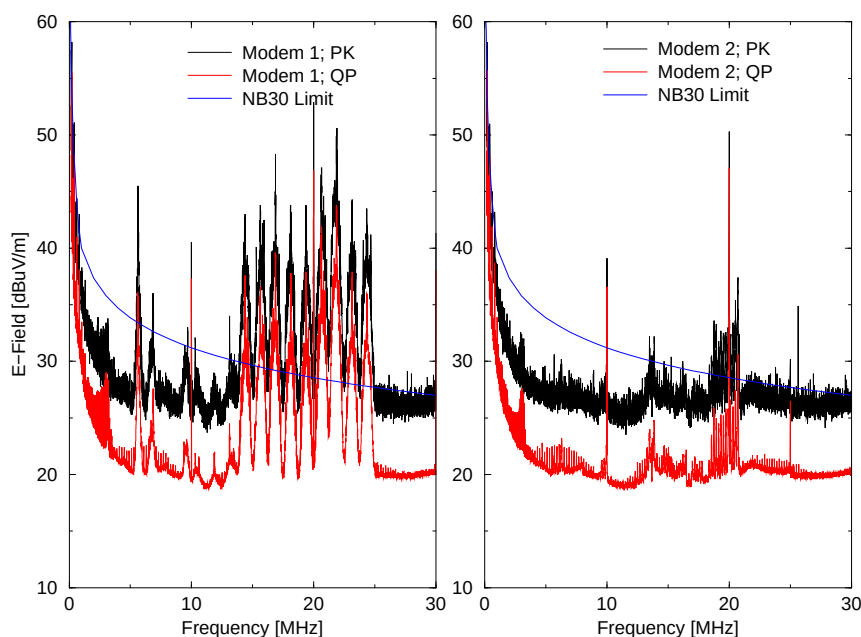


Abbildung 3: Vergleich von Modem 1 und Modem 2: Dargestellt sind jeweils Messungen mit PK und QP Detektor.

gibt es offensichtlich Grenzwertüberschreitungen. Ebenfalls offensichtlich ist, dass Modem 2 deutlich geringere Emissionen aufweist. Auffällig ist, dass beide Modems scharfe Emissionslinien bei 10 MHz, 20 MHz und 30 MHz aufweisen (letztere ist in den Abbildungen nicht mehr zu erkennen). Diese sind wahrscheinlich den Ethernet Transceivern zuzuordnen. In weiteren Messungen soll noch geklärt werden, ob andere Ethernet-Endgeräte ebenfalls vergleichbare Emissionen aufweisen. Ein Weg, diese Linien zu beseitigen, ist natürlich auf den Ethernet-Transceiver ganz zu verzichten und die Anbindung an das Endgerät beispielsweise über USB zu realisieren.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die dargestellten Werte die Messwerte für eine Antennenorientierung sind. Der Normalenvektor der Antennenfläche stand hierbei parallel zur Übertragungsleitung. In dieser Orientierung wurden die höchsten Messwerte beobachtet. Nach MV05 ist aus drei Antennenpositionen der Betrag des E-Feldvektors zu ermitteln. Hierauf wurde verzichtet, da aufgrund des Vorserienstatus der Modems ein Vergleich mit dem NB30 Grenzwert nur begrenzt aussagekräftig ist. Durch Messung an einigen Frequenzpunkten in allen drei Antennenorientierungen kann der Fehler in Bezug auf die korrekte Vorgehensweise nach MV05 zu etwa 2 dB abgeschätzt werden.

In Abbildung 4 ist das Verhältnis von PK zu QP-Messung dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es durchaus vertretbar ist, von einer Peak-Messung zunächst 5–6 dB abzuziehen

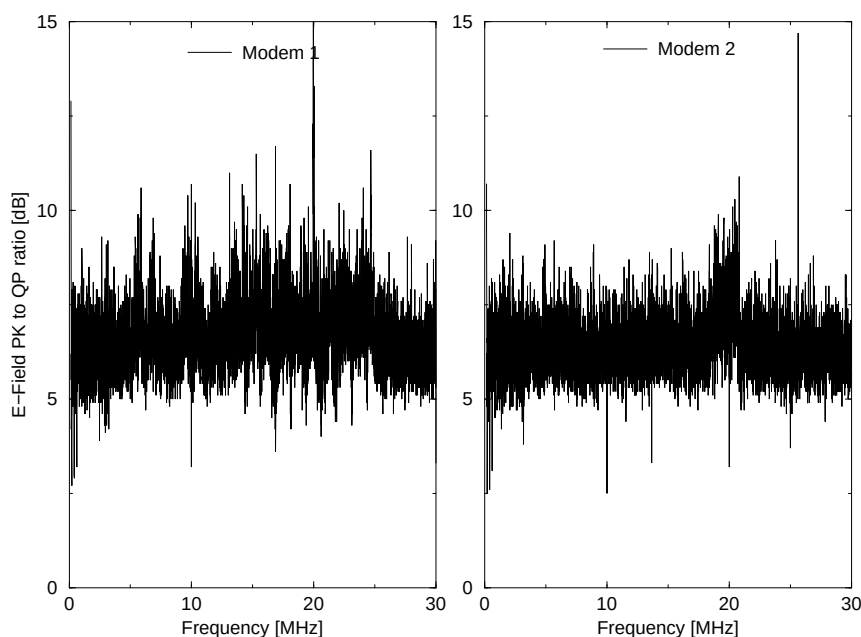


Abbildung 4: Vergleich von Modem 1 und Modem 2: Verhältnis von PK und QP Messwerten.

und anschließend nur bei den Frequenzen eine QP-Nachmessung vorzunehmen, bei denen die korrigierte Kurve den Grenzwert überschreitet. Die Gültigkeit dieser Aussage muss natürlich für jeden Modemtyp nachgewiesen werden. Die in der EMV übliche Vorgehensweise, QP-Nachmessungen dort vorzunehmen, wo eine (unkorrigierte) PK-Messung oberhalb des Grenzwertes liegt, kann hier nicht angewendet werden, da eine PK-Messung ohne Signal in der Regel schon bei sehr vielen Frequenzen den Grenzwert überschreitet (vergleiche auch Abbildung 2).

2.1.4 Abstandsabhängigkeit

In der Praxis ist es oft nicht möglich, in der Normentfernung von 3 m zu messen. Die MV05 erlaubt daher eine Messung in einer anderen Entfernung (mindestens 1 m) und schreibt eine Umrechnung der Messwerte nach der Formel

$$E_{\text{korrigiert}} = E_{\text{gemessen}} + 20 \cdot \log \frac{d_{\text{gemessen}}}{d_{\text{norm}}} \quad (4)$$

vor, falls die Messentfernung d_{gemessen} kleiner als die Normentfernung $d_{\text{norm}} = 3 \text{ m}$ ist.

Falls die Messentfernung größer als die Normentfernung ist, soll an mindestens zwei möglichst weit auseinanderliegenden Punkten gemessen, die Werte (in dBuV/m) über dem Logarithmus der Entfernung in ein Diagramm eingetragen und hieraus den Wert für die Normentfernung

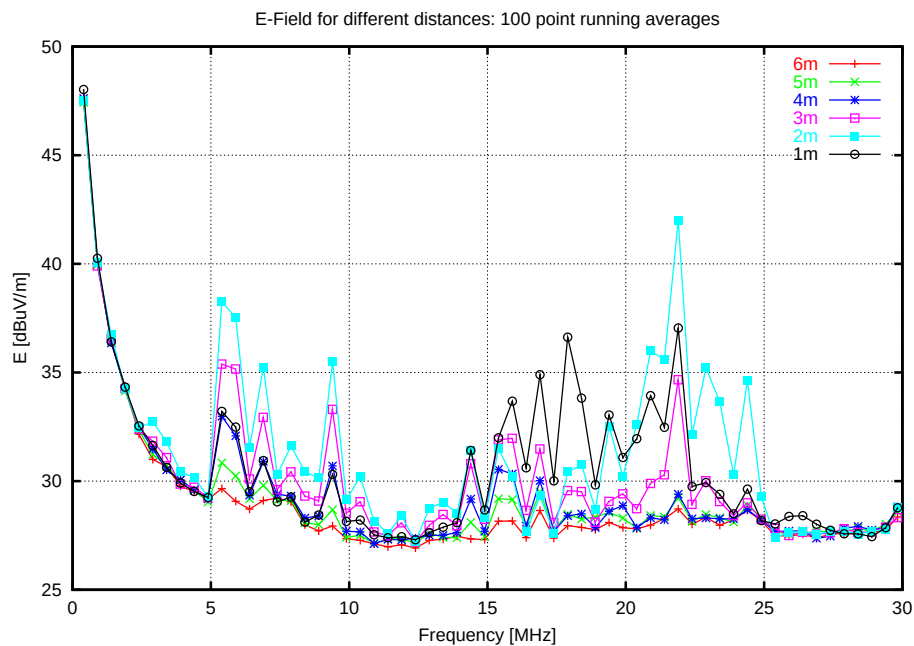


Abbildung 5: E-Feldstärke (PK) für Modem 1 bei unterschiedlichen Messentfernungen.

durch Extrapolation bestimmt werden. In beiden Fällen wird also als Zusammenhang zwischen der E-Feldstärke und der Entfernung ein Potenzgesetz vermutet.

Abbildung 5 zeigt gemessene Feldstärken für Modem 1 für Messdistanzen zwischen 1 m und 6 m als Funktion der Frequenz. Um den Verlauf der Kurven besser zu sehen, wurde hier jeweils über 100 Messpunkte (linear) gemittelt. Man erkennt deutlich, dass es keinen einheitlichen Trend — geschweige denn einen gesetzmäßigen Zusammenhang — gibt. Deutlicher wird dies noch in Abbildung 6. Hier sind die Feldstärken für vier ausgewählte Frequenzen (bei denen ein hoher Pegel auftritt) über dem Messabstand aufgetragen. Gleichzeitig sind auch noch, ausgehend von den Messpunkten in 1 m und 2 m Entfernung, die Extrapolationen auf die Normentfernung (20 dB pro Dekade) eingezeichnet, um den Extrapolationsfehler bei Messung in einem Abstand kleiner als 3 m abzuschätzen. Die Extrapolationsfehler bezogen auf die Messung in 3 m Entfernung sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Bemerkenswert ist, dass nur in einem Fall die gemessene Feldstärke kleiner als die extrapolierte ist. Besser ist offensichtlich die Extrapolation von Messungen in großer Entfernung auf 3 m Messdistanz. Hier ergäbe sich nur im Fall der Frequenz 21.65 MHz eine signifikante Unterschätzung der Feldstärke um etwa 5 dB.

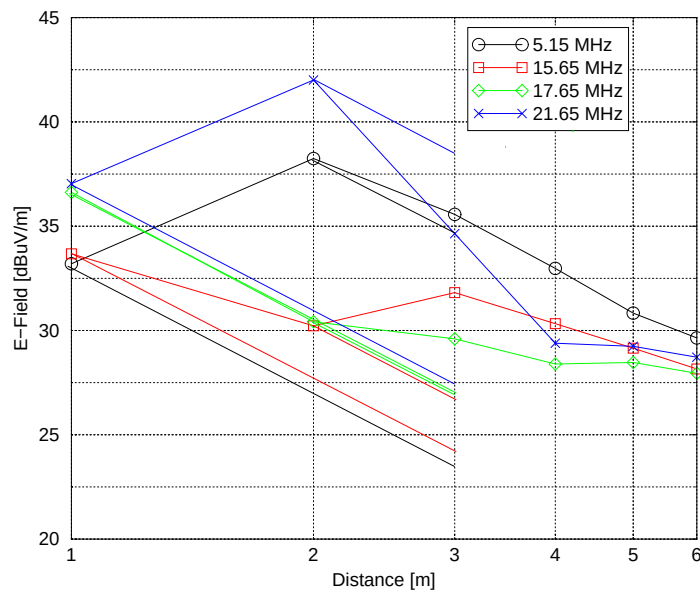


Abbildung 6: E-Feldstärke (PK) für Modem 1 als Funktion des Abstands für ausgewählte Frequenzen.

Frequenz [MHz]	Messentfernung [m]	Messwert - extr. Wert [dB]
5.15	1	12
5.15	2	1
15.65	1	7.6
15.65	2	5.1
17.65	1	2.5
17.65	2	2.5
21.65	1	7.1
21.65	2	-3.9

Tabelle 1: Extrapolationsfehler für Messungen in Entfernungen kleiner als 3 m.

2.2 Messungen an Testinstallationen

Das Hauptproblem bei Messungen an tatsächlichen PLC-Installationen ist der hohe Umgebungspegel, der zuverlässige Aussagen über die dem PLC-System zuzuordnenden Feldstärken erheblich erschwert.

Die Messungen an Testinstallationen wurden von der ONELINE AG durchgeführt, die zu diesem

Zweck einen Messbus mit autarker Stromversorgung verwendet. Als Messempfänger dient auch hier ein ESCS30 der Firma Rohde&Schwarz. Anders als für die Messungen in der Magdeburger Absorberhalle, verwendet die ONELINE AG als Antenne eine aktive (eingebauter Vorverstärker) Rahmenantenne Rohde&Schwarz HFH 2-Z2 (Durchmesser 59 cm).

Zur Darstellung der Problematik ist in Abbildung 7 eine Messung an einer Testinstallation für den Modemtyp 1 dargestellt.

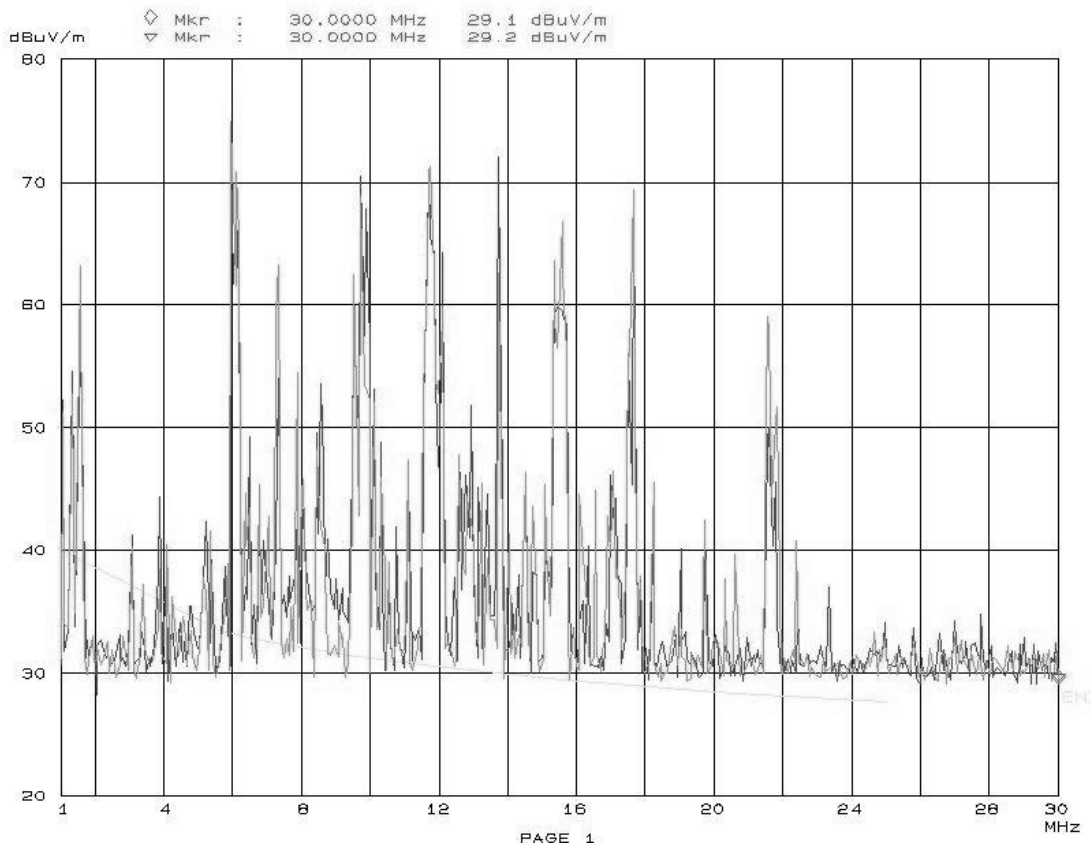


Abbildung 7: Messung an einer Testinstallation für Modem 1.

Zunächst fällt auf, dass der Rauschpegel mit aktiver Antenne um einige Dezibel über dem bei Verwendung der passiven Antenne (und dem internen Vorverstärker) liegt. Dies dürfte in erster Linie daran liegen, dass sich die internen Dämpfungsglieder nicht völlig abschalten lassen, wenn die aktive Rahmenantenne (mit codiertem Stecker) am Messempfänger betrieben wird. Bereits ab etwa 10 MHz liegt der Rauschpegel (PK) oberhalb der NB30 Grenzwertlinie (QP). Diese Messausrüstung ist somit etwas schlechter geeignet als die zur Messung in der Absorberhalle verwendete. Die von der ONELINE AG verwendete Messausrüstung entspricht der Ausrüstung der RegTP.

Die Spitzenpegel liegen für die dargestellte Messung an einer Testinstallation bei bis zu 75 dBuV/m. In der Absorberhalle wurden maximal ca 53 dBuV/m gemessen. Die Aufklärung dieser erheblichen Differenzen ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Zu vermuten ist, dass

die wesentlich komplexere Verkabelung einer realen Installation ein wesentlicher Einflussfaktor ist.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Beide Messaufbauten — Messempfänger mit passiver oder aktiver Rahmenantenne — können für Messungen nach MV05 verwendet werden. Das Messsystem mit der passiven Antenne ist hierbei sogar noch etwas sensibler.

Die in dieser Arbeit untersuchten Modem-Typen überschreiten beide den NB30 Grenzwert. Sehr vielversprechend sind jedoch die Messergebnisse für den Modemtyp 2: Abgesehen von den diskreten Emissionen bei Vielfachen von 10 MHz (Ethernet-Transceiver), wird der Grenzwert nur bei wenigen Frequenzen um wenige Dezibel überschritten. Es ist anzunehmen, dass dieser Typ bis zur Serienproduktion noch soweit verbessert werden kann, dass der Grenzwert eingehalten wird. Das Vorangesagte bezieht sich jedoch zunächst nur auf eine Konfiguration, wie sie in der Absorberhalle vermessen wurde. Der Vergleich mit den Messungen an einer realen Testinstallation zeigt noch erhebliche Unterschiede, deren Ursachen noch analysiert werden müssen.

Die Messungen in der Absorberhalle bei unterschiedlichen Messentfernungen zeigen, dass Messungen bei Distanzen kleiner als 3 m nicht einfach auf eine Distanz von 3 m umgerechnet werden können. Dass in diesem Bereich nicht die Abstandsabhängigkeit des Fernfeldes gilt, ist klar: Erstaunlicher ist, dass Messpegel für die 1 m Entfernung teilweise kleiner als die für 2 m und 3 m sind. Eine Ursache hierfür könnten Resonanzeffekte auf der Leitung sein. Dies soll in künftigen Untersuchungen noch genauer analysiert werden. Die Extrapolation von großen Messdistanzen auf die 3 m Entfernung, wie sie in der MV05 vorgeschlagen wird, funktioniert für die Messungen in der Absorberhalle relativ gut. Allerdings treten auch hier teilweise Fehler in der Größenordnung von 5 dB auf und es kann nicht das gleiche Potenzgesetz für alle Frequenzen benutzt werden.

Literatur

[1] EMVG, TKG, Frequenzbereichszuweisungen: <http://www.regtp.de>