



Störungen des Funkempfangs durch ein großflächig installiertes PLC- System Messungen von einem installierten PLC-System mit Hörbeispielen von betroffenem Kurzwellenempfang

1. Einführung

Da seit längerer Zeit über funkverträgliche Grenzwerte für Störaussendungen aus leitungsgebundener Telekommunikation diskutiert wird, sollte durch eine Messaktion am Ort eines installierten PLC-Systems mehr Klarheit über die Auswirkungen dieses Systems auf den Rundfunkempfang gewonnen werden. Besonders die in diesem Zusammenhang neu definierten „Breitband-Aussendungen“, früher nur gelegentlich von kurzen, steilen Einzelpulsen aus Schaltvorgängen erzeugt, sollten in ihrer Wirkung auf den Funkempfang studiert werden. Die Messergebnisse und sowie überraschende Erkenntnisse werden nachfolgend beschrieben. Die Messungen erfolgten mit einer Rahmenantenne (Schwarzbeck FMZB 1517), Tastkopf (Rohde+Schwarz ESH2-Z3), Spektrumanalysator (Advantest R3131) sowie mehreren Standard-Empfängern z.B. Sony ICF-SW100 für Abhörzwecke. Die Hörproben wurden vom Empfänger mit MD-Recorder aufgenommen und sind als mp3-komprimierte Dateien diesem Bericht in der Anlage beigelegt.

2. Phänomenologie: Erste akustische Eindrücke

Bei Stand-by-Betrieb bzw. geringem Datenverkehr hört man ca. alle 1 – 3 sec kurze scharfe Spratzer durch kurze Datenpakete, deren Absendung vermutlich durch einen Zufallsgenerator getaktet wird. Für Ungeübte sind diese Aussendungen des PLC-Systems bei Radioempfang daher nur schwer von anderen gelegentlich auftretenden, störenden Schaltvorgängen zu unterscheiden. Das Störgeräusch ist, anders als bei echten Funkenstörungen, die spektral meist sehr begrenzt sind und nur gelegentlich auftreten, gleichartig auf allen Kanälen im gesamten Frequenzbereich zwischen 1 MHz und ca. 18 MHz aufzunehmen. Hinzu kommt die Gelegentliches Laden eines Web-Cam-Bildes (5 – 50 kBit) dagegen verursacht etwas häufigere Spratzer-Bursts in Minutenabständen gemäß der Cam-Bild-auffrischungssequenz, also mit längeren Ruhepausen. Mit zunehmenden Datenraten z.B. bei mehr Teilnehmern wird die „Spratzer-Rate“ höher, bei Rundfunksendungen geht dann sogar die Sprachverständlichkeit verloren. Künftige digitale Rundfunkübertragung wie z.B. DRM wären spätestens unter diesen Bedingungen ebenfalls völlig gestört. Hörversuche wurden auf verschiedenen Rundfunk-Kurzwellenkanälen zwischen 5 und 20 MHz bei guten Empfangsbedingungen mit Feldstärken über mind. 55 bis 65 dB(μ V/m) durchgeführt. (ITU Anforderung mindestens 40 dB(μ V/m)). Der Höreindruck ist vergleichbar mit den hart klingenden Spratzern vom Oberleitungs- Stromabnehmer an stark korrodierten Oberleitungen einer vorbeifahrenden Straßenbahn. Bei kontinuierlich höheren Datenraten evtl. mit mehreren Teilnehmern am Netz geht das Störgeräusch schließlich in ein kontinuierliches, scharfes Prasselgeräusch über. Anlässlich einer Beobachtungsfahrt durch ein Wohngebiet konnte dieses quasi-kontinuierliche Prasselgeräusch mit dem im Auto betriebenen Empfänger im gesamten o.a. Frequenzbereich beobachtet werden. Während eines längeren, intensiven (vermuteten) Downloads waren die Aussendungen entlang mehrerer, zufällig befahrener Straßenzüge, spätestens ab ca. 20 – 30m um elektrische Verteilerkästen sowohl auf Leer-Kanälen als auch mehr oder weniger störend die Rundfunksendungen überlagernd zu hören. Auf einigen Frequenzen zwischen ca. 2 und 17 MHz war zusätzlich ein für Datenübertragung typisches kontinuierlich-körniges Rauschen zu hören, das jedoch

nicht eindeutig dem PLC-System zugeordnet werden konnte. (Benachbart militärisches Gebiet).

3. Magnetische Feldstärkemessungen mit verschiedenen Bewertungen.

Eine Messreihe mit magnetischer Rahmenantenne (1m ü. Grund) fand auf der Straße an einer zufällig ausgewählten Stelle mindestens 10m von einem elektrischen Verteilerkasten entfernt statt. Eine weitere Messreihe fand in Raummitte in einem Wohnhaus, ca. 3m von einem Modem statt, die Lage der unter Putz verlegten Netzleitungen konnte hierbei nicht bestimmt werden. Die jeweils gemessenen Feldstärkewerte waren etwa gleich hoch wie die am Straßenrand erfassten Felder und zeigten bezüglich der Frequenzbelegung die gleiche Charakteristik. Bei Verdrehen der Rahmenantenne über einen großen Winkelbereich war, anders als bei Rundfunkempfang, hinsichtlich der von den Leitungen abgestrahlten Störfelder kein ausgesprochenes Maximum feststellbar, Ohne Kenntnis der Arbeitsweise des Systems war eine Unterscheidung zwischen Daten- up- und download nicht möglich.

3.1 Messungen bei Stand-by-Betrieb mit unterschiedlicher Bewertung

Bild 1: PLC: Stand-by des PLC-Systems, d.h. nur gelegentlich Datenübertragung Sampling-mode, Anzeige mit statistischer Mittelung über ca. 10 s:

Das Diagramm von 1 MHz bis 20 MHz zeigt nach **statistischer Mittelung** (Average) über mehrere Durchgänge am Spektrumanalyser nur dauernd anstehende Pegel, z.B. Rundfunk bzw. eventuelle PLC-Dauerkommunikation auf einigen Frequenzen. Zufällig auftretende Einzelereignisse, also evtl. auch einmalige kurze PLC-Bursts werden nicht dargestellt. Maximale Mittelwerte der Dauerpegel bei ca. 65 dB(μ V/m)

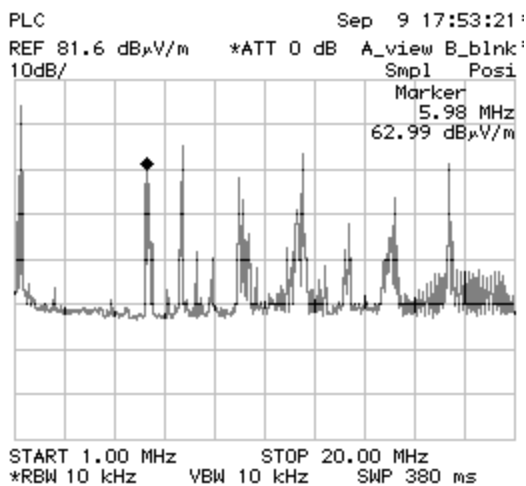


Bild 1: PLC: Stand-by, d.h. nur gelegentlich Daten
Spec-analyser: sample-mode
Anzeige mit statistischer Mittelung ca. 10 s

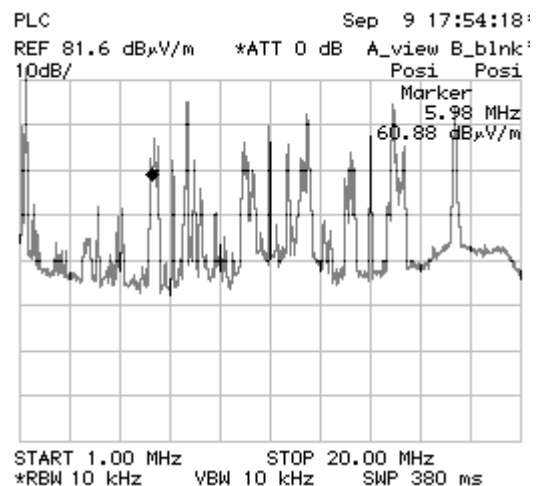


Bild 2: PLC: Stand-by, , d.h. nur gelegentlich Daten
Peakdetektor Max-hold 10 s

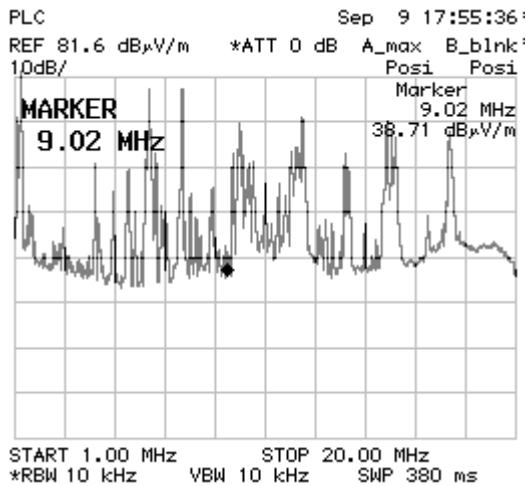


Bild 3: Stand-by, Peakdetektor, Max-hold 1 min

Bild 2: Stand-by, (s.o.) Peak-detektor, Max-hold über 10 sec, mehr nach unten verbreiterte Linien, 75dB(µV/m)_{pk}

Bild 3 Stand-by, (s.o.) Peakdetektor, Max -hold über 1 Min, ähnlich Bild 2, mehr Linien, aber kaum gravierende Unterschiede

Folgerung: **Aussendungen mit PLC- Pulspaketen sind bei geringen Datenraten (stand-by) mit den normalerweise üblichen Bewertungsmethoden eines Spektrumanalysators kaum darzustellen. Beim Abhören mit einem Empfänger sind diese Störaussendungen unabhängig von der im PLC-System übertragenen Datenrate, also auch bei Stand-by , im gesamten Frequenzbereich während der gesamten Betriebsdauer des PLC-Systems vorhanden.**

3.2 Dichtere Datenübertragung

Mit zunehmendem PLC- Datentransfer ändert sich der Eindruck von der Spektrumsbelegung des Systems deutlich, mit Peak-hold wird das Spektrum nun anscheinend dichter und in größerem Umfang belegt.

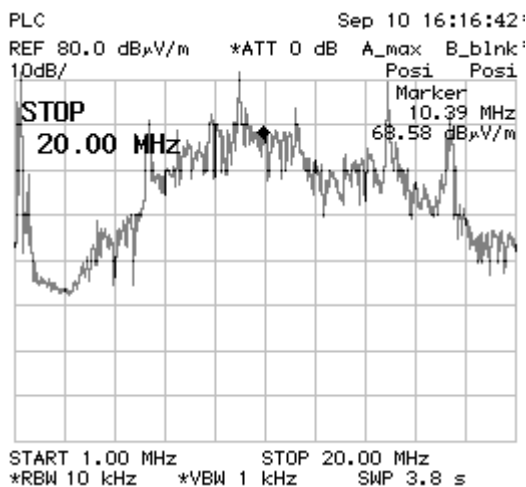


Bild 4: Peakhold 1 min, Dichter Datenverkehr, vermutlich mehrere Teilnehmer

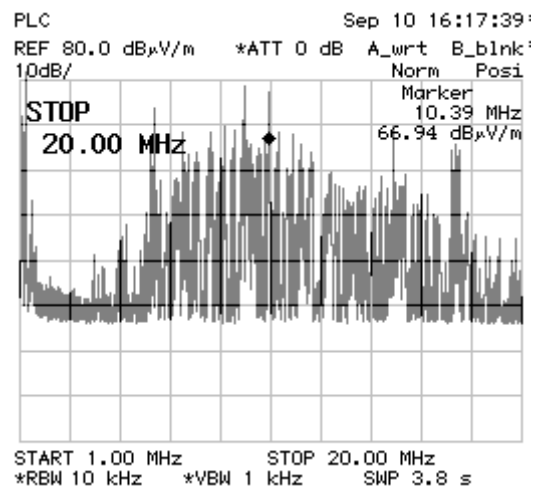


Bild 5: Peakmessung Dichter Datenverkehr, vermutlich mehrere Teilnehmer

Bild 4: Mehrere Ladevorgänge, Peak-hold: ein Großteil des Spektrums liegt über 60(μ V/m). Die Form der Einhüllenden dürfte einerseits durch die frequenzabhängige Abstrahlcharakteristik als auch durch die mögliche Entfernung vom Transformator und die dadurch bedingte Kabeldämpfung verursacht sein.

Bild 5: Peakmessung, dichter Datenverkehr, vermutlich mehrere Teilnehmer. Im Vergleich zu Bild 2 (stand-by-Betrieb) kann man nun bereits nach 3,8 Sekunden, dass die Aussendungen das gesamte Spektrum bis ca. 20 MHz belegen..

4. Das PLC-Signal im quasi-Empfangskanal

Bei den nachfolgenden Bildern aus einem Wohnzimmer wurde der Spektrumanalysator mit Zero-Span als quasi-Empfänger (Durchlass-Filter 9 bzw. 10kHz Bandbreite, jedoch ohne Demodulation) auf der Frequenz eines Rundfunksenders betrieben:

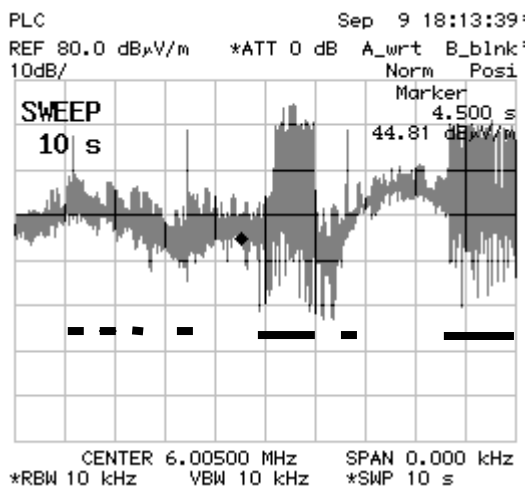


Bild 6: Zero-Span, bei 6005 kHz
Registrierung über 10 s, Peak-Modus
Modulation, überlagert mit PLC-Datenübertragung
(Markierungen unterhalb Messkurve)
Nutzsignalpegel ca. 50 dB(μ V/m)

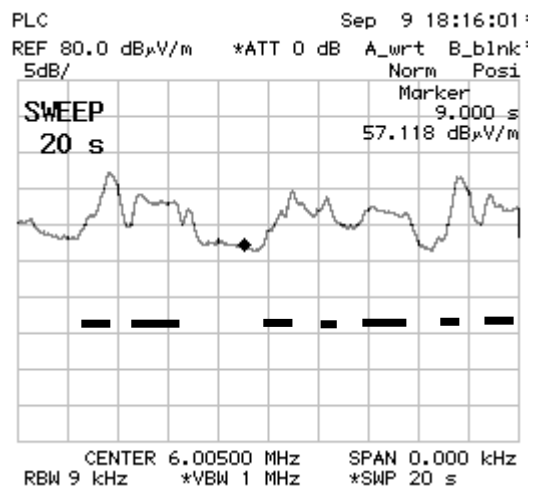


Bild 7: Zero-Span, bei 6005 kHz
Registrierung über 20 s QP –Modus
Modulation, überlagert mit PLC-Datenübertragung
Nutzsignalpegel ca. 50 dB(μ V/m)

Bild 6: Zero-Span bei 6005 kHz, Registrierung über 10 s, **Peak-Modus**
Rundfunksignal, überlagert mit PLC-Datenübertragung (Markierungen im Bild)

Vertikal ist die Empfangsfeldstärke bei 6005 kHz Radio DLR dargestellt, im Mittel mindestens 50 dB(μ V/m), die Mindestfeldstärke nach ITU von 40 dB(μ V/m) wird damit deutlich überschritten. Horizontal ist der Signalverlauf während 10 Sekunden dargestellt. Man sieht mehrere kurze „sync“ – Pulspakete mit bis zu 68 dB(μ V/m), in der rechten Bildhälfte eine Datenübertragung mit längeren Paketen (1,0 und 1,6sec) als Überlagerung des Nutzsignals. Zur Verdeutlichung sind die hörbaren Störpakete unter der den Kurven markiert.

Bild 7: Zero-Span, bei 6005 kHz Registrierung über 20 s im **QP –Modus** zeigt

Modulation, überlagert mit PLC-Datenübertragung. Hier wurde die für EMV-Messungen im Spektrumsanalysator eingebaute Quasi-peak –(Simulations-)Bewertung zur Darstellung des zeitlichen Signalverlaufs bei Rundfunk- und Datenübertragung während 20 Sekunden benützt. Die kurzen Pulse und die Sprachmodulation werden hier in Folge der QP-Bewertung nicht dargestellt. Da während der Messung mehrere längere Datenübertragungspakete liefen, bestimmen diese den vom Mittelwert abweichenden Kurvenverlauf.

Nachfolgend sind Messergebnisse bei weiteren Frequenzen und Nutzfeldstärken dargestellt. Die Messungen fanden teils im Haus teils auf der Straße statt und erfolgten mit Rahmenantenne:

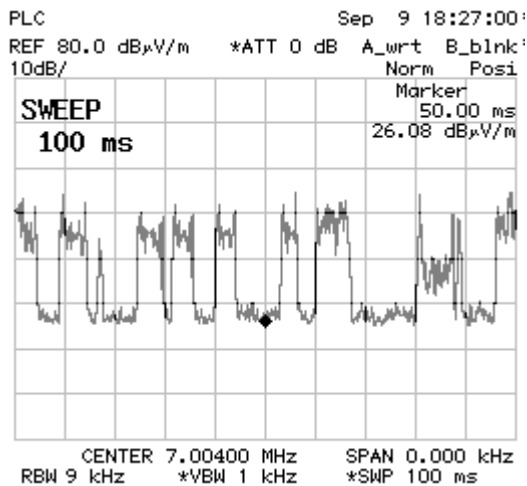


Bild 8 PLC-Pulse bei 7 MHz Empfang leerer Kanal, Grundgeräusch 28 dB(µV/m)

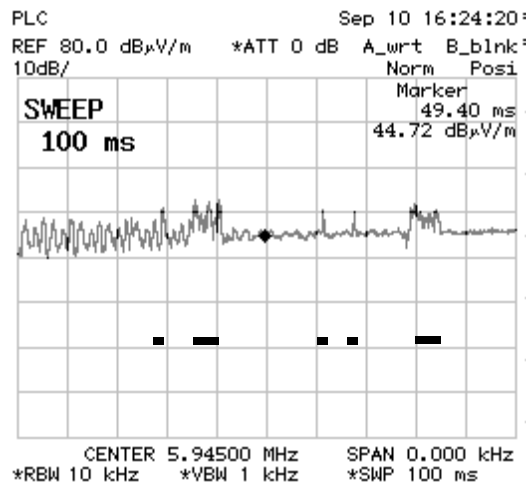


Bild 9: Empfang bei 5945 kHz mit Modulation und PLC-Übertragung Nutzsignalpegel 48 dB(µV/m)

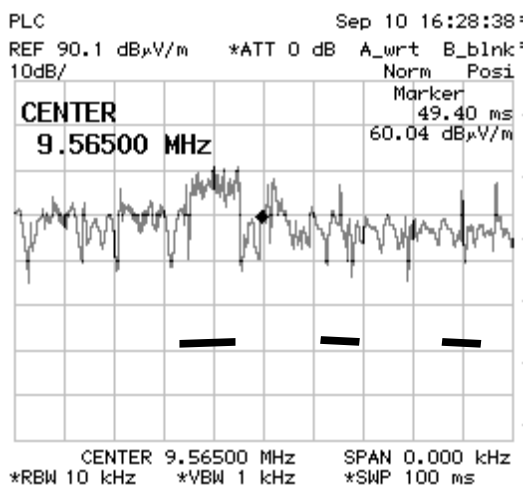


Bild 10: Empfang bei 9565 kHz mit PLC-Übertragung und Modulation Mittlerer Nutzsignalpegel 60 dB(µV/m)

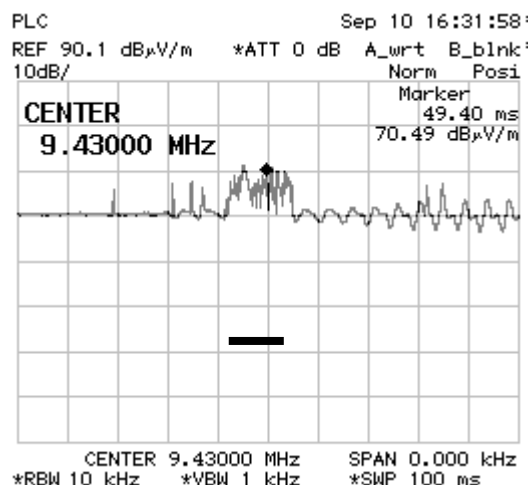


Bild 11 Empfang bei 9430 kHz mit PLC-Übertragung und Modulation Nutzsignalpegel 60 dB(µV/m)

In Bild 8 ist der Empfang des hörbaren Störsignals in einem leeren Kanal, d.h. ohne Nutzsinal dargestellt. Man hat den Eindruck, die übertragenen Datenbits zu erkennen. Ferner lässt sich entnehmen, dass das elektrische Umgebungsgeräusch bei 7004 kHz niedriger als die Grenzempfindlichkeit der Antenne mit 28 dB($\mu\text{V}/\text{m}$) sein muss, da hier die untere Begrenzung der Pulse liegt. Bei Bild 9 tauchen kurz vor bzw. in einer Modulationspause Datenpakete auf, in Bild 10 während einer Sprachsendung und in Bild 11 am Ende einer Modulationspause bzw. zu Beginn des Glockenspiel-Pausenzeichens. In allen Fällen wirkten diese Aussendungen sehr störend auf den Rundfunkempfang.

5. Funkstörspannungsmessungen

Aufgrund zeitlicher Beschränkungen konnten nur zwei Funkstörspannungsmessungen für informative Zwecke an einer willkürlich im Haus gewählten Netz-Steckdose (asymmetrische Spannung, HF-Tastkopf R&S, ESH 2 – Z3) durchgeführt werden. Aus diesem Grund konnte auch keinerlei Information über die Verkabelungsart bzw. die Lage der Leitungen im Gebäude beschafft werden. Durch Abhören mittels Kofferradio wurde sichergestellt dass die aufgenommenen Spektren auch die PLC-Kommunikation erfassten. Es herrschte nur geringer Datenverkehr (stand-by). Nachfolgend sind Ergebnisse dargestellt.

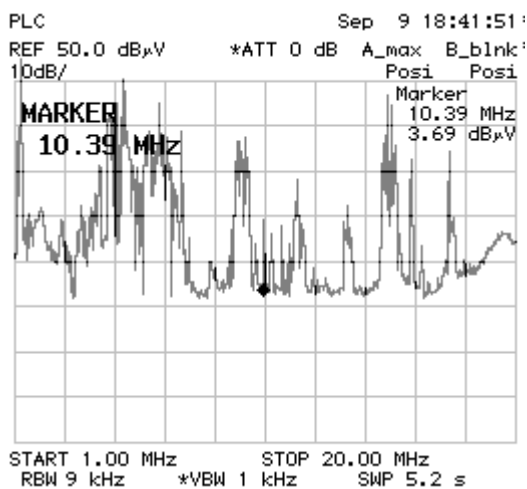


Bild 12: Funkstörspannung mit HF-Tastkopf (+30 dB zu Ableswert addieren)

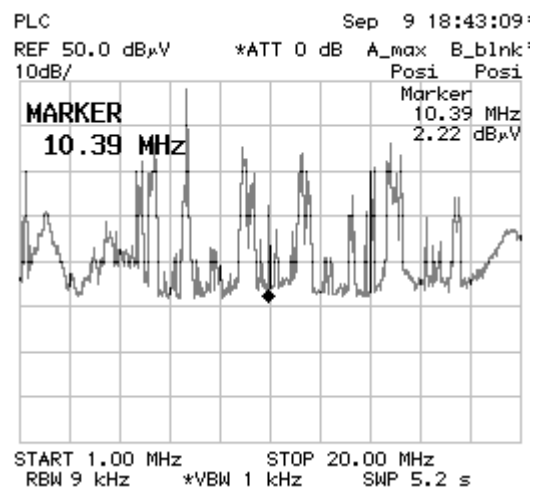


Bild 13: Funkstörspannung mit HF-Tastkopf (+30 dB Teilerfaktor addieren)

Ein Vergleich zu den Feldstärkediagrammen Bilder 2, 3 mit ähnlichen Bedingungen ist wegen nicht identischer Geräteeinstellungen nur mit Vorbehalt möglich. Zum Vergleich: der Spannungspegel des Senders DLR Berlin 6005 kHz auf der Netzleitung betrug 55 dB(μV).

6. Hörproben

Die Hörproben wurden mit dem Empfänger Sony ICF-SW 100, mit elektrischer Stabantenne, und einem angeschlossenen MD-Recorder aufgenommen. Sie werden aus Übermittlungsgründen MP3-komprimiert im Anhang als mp3-Dateien beigefügt. Da die Hörproben im Freien aufgenommen wurden, können Fernfeldbedingungen und damit die magnetisch gemessenen Feldstärkenwerte angenommen werden. Leider ließ es sich wegen der kurzen Vorbereitung nicht vermeiden, dass auf einigen Frequenzen Störungen vom MD-Recorder, der in 20 cm Abstand drahtgekoppelt betrieben wurde, mit aufgenommen wurden.

7. Zusammenfassung:

- Wie bereits anderweitig berichtet ist es schwierig oder fast unmöglich, Störaussendungen von Pulspaketen des betrachteten PLC-Systems bei geringen Datenraten (stand-by) mit den normalen Bewertungsmethoden eines Spektrumanalysators darzustellen.
- Dennoch treten diese Aussendungen ab bisher bekannten physikalisch vorgegebenen Störschwellen, die sich elementar aus Nutzfeldstärke des Funksystems (nach ITU z.B. 40 dB(μ V/m)) und erforderlichem S/N (mindestens 26dB) ergeben, als Störung im Rundfunkempfänger auf, und zwar unabhängig von der im PLC-System übertragenen Datenrate, also auch bei Stand-by des PLC-Systems, im gesamten, vom PLC-Übertragungssystem beanspruchten Spektrum.
- Bei mehr Teilnehmern am Datenverkehr mit höherer Datenrate führt die Störung zur Unlesbarkeit bzw. völligen Unterbrechung des Funkempfangs.
- Messung und Beurteilung können somit nur mit einem Meßempfänger durchgeführt werden. Wegen der stochastischen Arbeitsweise mancher Breitbandsysteme muß, wie bisher üblich, der gesamte gestörte Frequenzbereich kanalweise bis zur oberen Frequenzgrenze des Systems mit CISPR-QP-Bewertung gemessen werden.
- Aus den dargestellten Feldstärkediagrammen, die in mindestens 3 bis 10m Abstand von den Leitungen eines aktuell arbeitenden Systems aufgenommen wurden, erkennt man dass selbst bei guten Nutzpegeln von 55 bis 65 dB(μ V/m) Störungen durch das System verursacht werden.
- Aus Bildern 6 bis 11 sowie Hörversuchen bei ausreichend hohen Nutzfeldstärkepegeln geht einmal mehr klar hervor, dass im Störfall, bei dem vor Ort die Werte aufgenommen werden und die Störwahrscheinlichkeit 100% ist, kein Raum für Diskussionen bleibt:: die unerwünschten Störemissionen müssen unabhängig von der Modulationsart oder z.B. der Datenrate unter den physikalisch klar bestimmbaren Grenzwerten bleiben, die durch international bei der ITU vereinbarten Systemparameter vorgegeben sind: die Mindestnutzfeldstärke, für Kurzwelle 40 dB(μ V/m) und den Störabstand, für Kurzwelle mindestens 20 bis 26 dB.

Anlage: Hörbeispiele, kommentiert.