Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 107 (2016)
Heft: 9

Artikel: G3-PLC-Übertragungsleistungen im Niederspannungsnetzen
Autor: Mauron, Gaël
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857189

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BRANCHE **SMART METERING**

G3-PLC-Übertragungsleistungen im Niederspannungsnetz

Evaluation und Abklärung der Einflussfaktoren

In den nächsten Jahren werden alle traditionellen Stromzähler durch sogenannte «intelligente» Stromzähler ersetzt. Dank diesen Zählern, die gemeinhin auch als Smart Meter bezeichnet werden, können Informationen übertragen werden. Unter anderem lassen sich diese Stromzähler aus der Ferne ablesen. Somit muss der Verteilnetzbetreiber (VNB) künftig keinen Termin mehr mit dem Kunden vereinbaren, wenn der Zähler innerhalb der Wohnung installiert ist. Dank den intelligenten Stromzählern kann den Kunden auch eine bessere Kontrolle des Stromverbrauchs angeboten werden. Auf diese Weise kann den Zielen der Energiestrategie 2050 in Bezug auf die Energieeffizienz entsprochen werden. Für die VNB besteht die Herausforderung darin, dass die Messdaten von den Smart Metern zuverlässig und möglichst kostengünstig übermittelt werden.

Gaël Mauron

Im Hinblick auf die Einführung des Smart Metering haben sich die Verteilnetzbetreiber gewissermassen zwangsläufig mit der Powerline-Communication-Technologie (PLC) befasst. Diese ermöglicht die Einrichtung eines Telekommunikationsnetzes, indem die Kabel des Stromnetzes als physisches Medium für die Datenübertragung genutzt werden. Diese Technologie würde den VNB ein hohes Mass an Unabhängigkeit gegenüber den traditionellen Telekommunikationsanbietern einräumen. Ausserdem könnten sie sich damit den kostspieligen Aufbau einer speziellen Telekommunikationsinfrastruktur ersparen.

Die in der Regel genutzte Netzarchitektur umfasst Datenkonzentratoren, die normalerweise in den Transformatorenstationen installiert sind. Die Datenkonzentratoren kommunizieren per PLC über die Stromkabel des Niederspannungsverteilnetzes (NS) mit den angeschlossenen Zählern **(Bild 1)**.

Welche PLC-Technologie sollte gewählt werden?

Bei der PLC-Technologie sind zwei Haupttypen zu unterscheiden: Breitband-PLC und Schmalband-PLC. Die Breitband-PLC-Technologie verwendet Trägerfrequenzen von 2 bis 30 MHz. Sie bietet eine hohe Datenübertragungsrate von bis zu 200 Mbit/s, doch Datenübertragungen über lange Distanzen sind nicht möglich. Die Schmalband-PLC-Technologie wiederum verwendet Trägerfrequenzen von 10 bis 500 kHz. Während bei dieser Variante die Datenübertragungsrate mit rund 100 kbit/s eher gering ist, können Entfernungen von mehreren Hundert Metern abgedeckt werden.

Die intelligenten Stromzähler werden Daten im Umfang von mehreren Hundert kbits pro Tag und Gerät über Übertragungsdistanzen von mehreren Hundert Metern austauschen. Für den Anwendungsbereich der VNB scheint somit die Schmalband-PLC Technologie am besten geeignet zu sein.

Eine Studie [1] der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich und des IEEE, in deren Rahmen die verschiedenen für das Smart Metering in Frage kommenden Telekommunikationsstandards verglichen wurden, hat diese Schlussfolgerung bestätigt. Die Studie hat gezeigt, dass der offene Standard G3-PLC, der zur Kategorie Schmalband-PLC gehört, den gegenwärtigen Bedürfnissen in Bezug auf die Datenübertragungsraten und die Robustheit der Übertragung am besten entspricht.

Die Internationale Fernmeldeunion (ITU) hat G3-PLC unter der Referenz-Spezifikation G.9903 standardisiert, deren letzte Ausgabe am 22. Februar 2014 erschienen ist. [2] Diese Norm beschreibt die Schicht 1 des OSI-Modells, die sogenannte physikalische Schicht. Diese umfasst die Mechanismen für die Wahl der Frequenzbänder, die Modulationsarten, die Sendeleistungen und die Maskierung der Gruppen von Trägerfrequenzen. Die Verbindungssicherungsschicht, die Schicht 2 des OSI-Modells, beschreibt unter anderem die Mechanismen für die Datenlieferung, die Verbindung/Trennung der Verbindung und die Routing-Funktionen.

Der Standard G.9903 ermöglicht Datenübertragungsraten zwischen 5 und 30 kbit/s im Frequenzband Cenelec-A

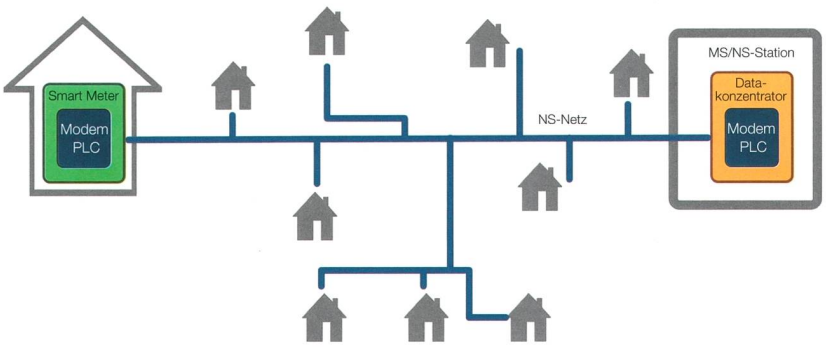

Bild 1 Beispiel für die Architektur eines PLC-Netzes im NS-Netz für ein Smart Metering-Projekt.

BRANCHE **SMART METERING**

VNB	Name des Standorts	Umgebung	Art der Verbindung	Länge der Verbindung (m)	Anzahl Abschnitte	Kabeltyp	Länge der Abschnitte (m)
Groupe E	Corcelles	Gewerbe	B	115	1	GKN 3x25/25	115
			A	195	1	TT-CLT 4x120	195
SIL	Athénée	Städtisch	A	70	2	PPBT 3x95/50	55
						PPBT 3x95/50	15
			C	80	1	PPBT 3x95/50	80
			B	180	7	PPBT 3x95/50	54
						PPBT 3x95/50	6
						PPBT 3x95/50	52
						PPBT 3x95/50	21
						PPBT 3x95/50	28
						PPBT 3x95/50	9
						PPBT 3x95/50	10
RE	Yverdon - le Bey	Gewerbe	B	124	1	T Cu rm 4x25	124
			C	83	1	GKN-K Cu rm 3x50/50	63
			A	197	1	T Al se 4x240	197
	Vuiteboeuf	Ländlich	B	84	1	GKN-K Cu rm 3x16/16	84
			C	85	2	X Al se 4x150	15
						Canadien Cu 8	70
			A	161	1	X Al se 4x150	161

Tabelle 1 Beschreibung der Messstandorte und der zu messenden Verbindungen.

(9 bis 95 kHz) und zwischen 20 und 130 kbit/s im Frequenzband FCC-1 (150 bis 500 kHz). In Europa und in der Schweiz kann das Frequenzband Cenelec-A von den VNB ohne besondere Einschränkung genutzt werden (EN 50065-1). Im Gegensatz dazu darf das Frequenzband FCC-1 nur unter bestimmten Bedingungen verwendet werden. [3]

Die Datenübertragungsraten hängen von der Bandbreite, der Zahl der Trägerfrequenzen und von der Modulationsart ab. Das Signal-Rausch-Verhältnis beim Empfänger bestimmt die nutzbare Modulationsart, d. h. – geordnet nach zunehmender Datenübertragungsrate – ROBO, BPSK, QPSK und schliesslich 8PSK. Je mehr Trägerfrequenzen zur Verfügung stehen, desto leistungsfähiger ist das System hinsichtlich der Datenübertragungsrate und der Robustheit der Datenübertragung. Das Frequenzband Cenelec-A umfasst 36 Trägerfrequenzen, und beim Frequenzband FCC-1 sind 72 Trägerfrequenzen verfügbar. Um die Robustheit des Systems weiter zu verbessern, umfasst der Standard einen Reed-Solomon-Fehlerkorrekturcode mit Redundanz und Abtastung. Diese Mechanismen haben den Zweck, in gestörter Umgebung und bei deutlich verschlechterten Übertragungsbedingungen Fehler in den empfangenen Daten zu erkennen und zu korrigieren.

Evaluation unter realitätsnahen Bedingungen

Um abzuklären, ob der Standard G3-PLC die Erwartungen erfüllt, wurden unter realen Nutzungsbedingungen Messungen an repräsentativen Verbindungen des NS-Netzes durchgeführt. Das Ziel bestand darin, die Übertragungsleistungen von G3-PLC[1] zu evaluieren, die auf der Ebene der physikalischen Schicht in der Praxis erreicht werden können. Ausserdem ging es darum, die Faktoren aufzuzeigen, welche die Übertragungsleistungen von G3-PLC hauptsächlich beeinflussen.

1.1 Beschreibung der Verbindungen	
1.1.1 Verbindung A	
Länge (m)	161
Kabeltyp	Al se 4x150 Profile : X
Installationsjahr	1984
Verbindung	Standort 1 bis Standort 3
1.1.2 Verbindung B	
Länge (m)	94
Kabeltyp	Cu rm 3x16/16 Profile : GKN-K (Ceander)
Installationsjahr	2007
Verbindung	Standort 2 bis Standort 4
1.1.3 Verbindung C	
Länge (m)	94
Kabeltyp 1. Abschnitt	Cu rm 3x16/16 Profile: GKN-K (Ceander)
Installationsjahr 1. Abschnitt	2007
Kabeltyp 2. Abschnitt	Al se 4x150, Profile: X
Installationsjahr 2. Abschnitt	1984
Verbindung	Standort 1 bis Standort 5

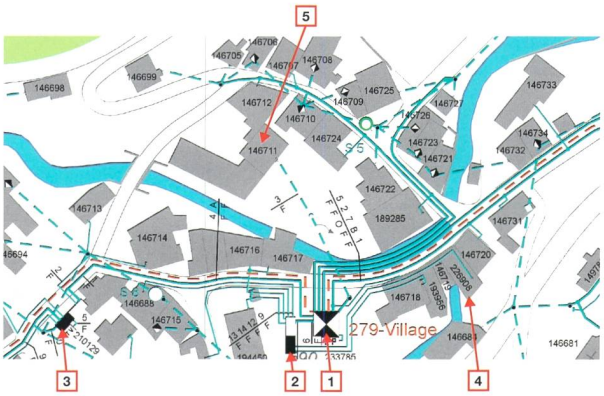

Bild 2 Beispiel für die Beschreibung eines Standorts (Vuiteboeuf).

BRANCHE **SMART METERING**

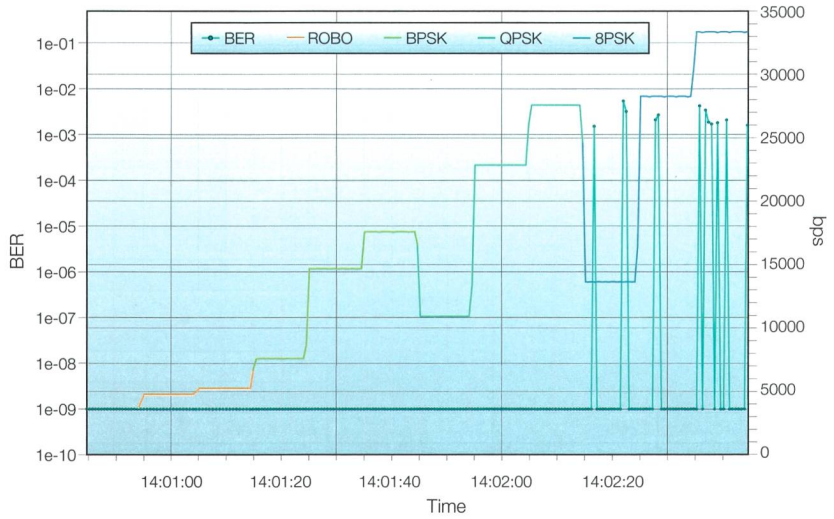

Bild 3 Beispiel für die Messung der Datenübertragungsrate und der Fehlerquote an einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung in Abhängigkeit von der Modulationsart.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, beauftragten Romande Energie, Groupe E, SIL und SIG das Unternehmen ACN (Advanced Communications Networks S.A.), das auf den Bereich Telekommunikationsnetze und -technologien spezialisiert ist, mit der Durchführung der Messungen. Dieses Unternehmen, das seinen Sitz in Neuenburg hat, ist seit mehreren Jahren Mitglied verschiedener Standardisierungsorganisationen im Telekommunikationsbereich. Es verfügt über wissenschaftliches und praktisches Know-how und geniesst hohes Ansehen auf internationaler Ebene.

Die Verbindungen für die Messungen wurden unter Berücksichtigung von drei Merkmalen ausgewählt: Länge, Anzahl Abschnitte und Kabeltypen. Es wurde grosser Wert darauf gelegt, dass diese Verbindungen für die bestehenden Konfigurationen im NS-Netz möglichst repräsentativ sind, damit die Auswirkungen der einzelnen Merkmale auf die Übertragungsleistungen von G3-PLC erfasst werden konnten.

Die Standorte wurden anhand ihres Störungspotenzials im Zusammenhang mit der Umgebung ausgewählt. Es wurden drei Umgebungsarten festgelegt: «ländliche» Umgebung, die durch eine geringe Dichte der angeschlossenen Lasten und damit durch potenziell geringe Störungen gekennzeichnet ist, Umgebung «Gewerbezone/Agglomeration» mit einer durchschnittlichen Dichte der angeschlossenen Lasten und damit einem höheren Störungspotenzial, und schliesslich «städtische» Umgebung mit einer sehr hohen Dichte der angeschlossenen Lasten und potenziell sehr starken Störungen. Die Standorte und ihre Merkmale sind in **Tabelle 1** zusammengestellt. In **Bild 2** ist beispielsweise die geografische Situation des Standorts Vuiteboeuf dargestellt, der die Hauptmerkmale jeder Verbindung aufweist, die gemessen wurden.

Messmethoden und Messergebnisse

In einer ersten Phase war die Untersuchung darauf ausgerichtet, die Übertragungsleistungen bei sogenannten «Punkt-zu-Punkt»-Verbindungen zu messen. Dies erfolgte mit Hilfe von zwei G3-PLC-Modems, die je an einem Ende der Verbindung platziert wurden und abwechselnd die Rolle des Senders und des Empfängers übernahmen (bidirektionale Kommunikation). Bei dieser Methode bestand das Ziel darin, die erreichbaren Datenübertragungsraten in der Schicht 1 des OSI-Modells («physikalische Schicht») abzuklären. Dabei ging es somit nicht um die Leistung im Zusammenhang mit den Mechanismen für die Verbindung/Trennung der Verbindung oder die Routing-Funktionen, die in der Schicht 2 des OSI-Modells («Verbindungssicherungsschicht») festgelegt werden. Die Messungen wurden in drei kongruenten Phasen (L1 ⇔ L1, L2 ⇔ L2, L3 ⇔ L3), in beide Richtungen und in den Frequenzbändern Cenelec-A und FCC-1 durchgeführt. **Bild 3** veranschaulicht eine Messung. In dieser Abbildung sind die erreichte Datenübertragungsrate und die Fehlerquote in Bezug auf die Zeit und die verwendete Modulationsart dargestellt.

Die erhaltenen Messergebnisse sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Die Farben Rot über Gelb und Orange bis hin zu Grün bezeichnen das Leistungsniveau in Bezug auf die Datenübertragungsrate, das in den beiden getesteten Frequenzbändern erreicht wurde.

Die grünen Felder zeigen die höchsten Datenübertragungsraten, die mit dem Standard G3-PLC in den beiden Frequenzbändern mit einer 8PSK-Modulation realisierbar waren. Diese Datenübertragungsraten sind grundsätzlich möglich, wenn die Signalabschwächung und die Störungen beim Empfänger gering sind. Bei den gelben Feldern wurden die Modulationen QPSK oder BPSK verwendet, da das Signal-Rausch-Verhältnis beim Empfänger ungünstiger war. Daraus resultierte eine tiefere Datenübertragungsrate. Die in den orangen Feldern aufgeführten Datenübertragungsraten wurden mit der ROBO-Modulation erreicht. Diese Modulation ist robuster und somit weniger anfällig auf eine schlechte Verbindungsqualität und auf Störungen, so dass trotzdem eine geringe Datenübertragungsrate erreicht werden kann. Bei den roten Feldern kamen keine Verbindung und damit keine Datenübertragung zustande.

Anschliessend wurden die gewählten Verbindungen in Bezug auf die Signaldämpfung und die Rauschkompo-

Standort	Verbindung	Cenelec-A (kbit/s)	FCC-1 (kbit/s)
Corcelles	A	5	20
	B	33	130
Yverdon	A	17	130
	B	17	117
	C	5	130
Vuiteboeuf	A	15	80
	B	33	130
	C	15	117
Lausanne	A	5	80
	B	5	30
	C	0	30

Tabelle 2 Erreichbare Datenübertragungsrate in der physikalischen Schicht in kbit/s.

BRANCHE **SMART METERING**

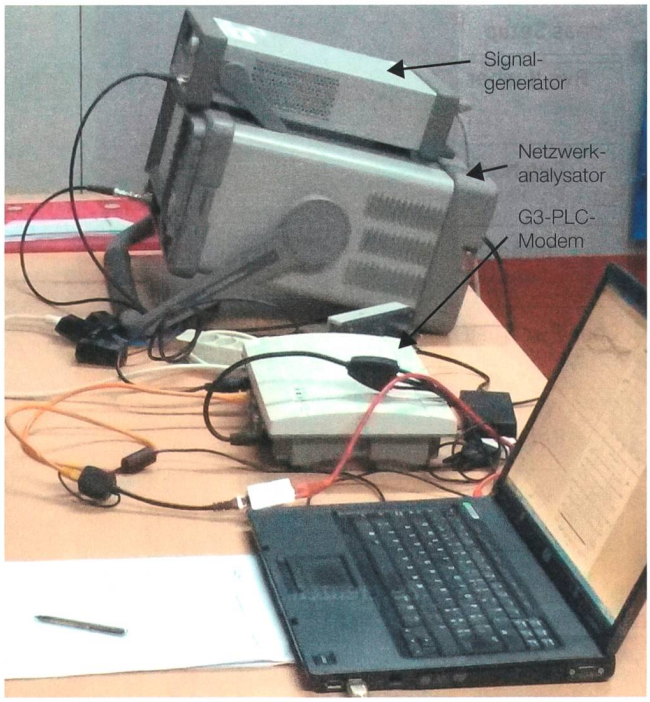

Bild 4 Messanordnung.

nente in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen. Mit Hilfe eines Signalgenerators und eines Netzwerkanalysators **(Bild 4)** wurde für jede Verbindung eine Messung der Signaldämpfung zwischen dem Sender und dem Empfänger **(Bild 5)** sowie eine Rauschmessung beim Empfänger **(Bild 6)** durchgeführt. Diese Messungen wurden im gesamten Frequenzband von Cenelec-A und FCC-1 vorgenommen, das vom Standard G3-PLC genutzt wird. So konnten das Signaldämpfungsprofil in Abhängigkeit von der Frequenz und das Rauschprofil beim Empfänger genauer visualisiert werden. Davon ausgehend konnte das Signal-Rausch-Verhältnis eruiert werden, ab dem keine G3-PLC-Kommunikation mehr möglich war.

Im Rahmen der Messungen wurde festgestellt, dass eine bestimmte Verbindung eine sehr schlechte oder sogar keine Kommunikation aufwies. Um zu eruieren, ob es sich dabei um permanente Kommunikationsschwierigkeiten handelte, wurde mit Hilfe der G3-PLC-Modems während eines Zeitraums von neun Tagen ausschliesslich in der Phase L1 eine Zusatzmessung vorgenommen. Auf diese Weise konnte überprüft werden, ob zu bestimmten Tageszeiten oder in der Nacht trotzdem eine Kommunikation möglich war. Aus diesen Messungen ging hervor, dass die Telekommunikationsleistungen in der Nacht generell besser als am Tag sind und dass sie während des Tages über das Wochenende besser als an Werktagen sind. Diese Leistungsunterschiede sind bei tiefen Frequenzen (Cenelec-A) ausgeprägter als bei hohen Frequenzen (FCC-1).

Abschliessend wurden mit den G3-PLC-Modems Messungen an den Verbindungen A und B des Standorts Athénée **(Tabelle 1)** durchgeführt, um den Einfluss der Nichtübereinstimmung der Sendephasen und Empfangsphasen (Übersprechen bei der Übertragung) zu messen. Dazu wurden die Sende- und Empfangsphasen permutiert. Dies ergab, dass die Signaldämpfung durch Übersprechen im Frequenzband Cenelec-A keine Datenübertragung zulassen, wenn die Phasen nicht übereinstimmen. Bei übereinstimmenden Phasen dagegen ist eine Kommunikation möglich. Im Frequenzband FCC-1 ist der Übersprecheffekt zwischen den einzelnen Phasen ausgeprägter. Trotzdem nahmen in diesem Frequenzband die erreichbaren Datenübertragungsraten bei den beiden getesteten Verbindungen deutlich ab (130 => 20 kbit/s), wenn die Sende- und Empfangsphasen nicht übereinstimmten.

Hauptsächliche Einflussfaktoren

Die Übertragungsleistungen werden von den physikalischen Eigenschaften des Stromnetzes nicht signifikant beeinflusst. Durch die Länge der Verbindungen in der Grössenordnung von etwa hundert Metern, den Kabeltyp und die Anzahl Anschlüsse werden die Signale nur um einige dB gedämpft. Das Signal-Rausch-Verhältnis beim Empfänger wird demzufolge durch diese Parameter nur geringfügig reduziert und hat auf die Reduktion der Datenübertragungsrate nur einen minimen Einfluss.

Hingegen wirken sich die an das Stromnetz angeschlossenen Lasten in beträchtlichem Masse auf die Übertragungsleistungen von G3-PLC aus. Durch die Impedanz der angeschlossenen Lasten und die von ihnen erzeugten Störungen kann sich das Signal-Rausch-Verhältnis beim Empfänger um bis zu mehrere Dutzend dB verschlechtern. Die Übertragungsleistungen in den Verbindungen, die sich in einer ungünstigen Umgebung befinden, verschlechtern sich unter solchen Umständen gegebenenfalls signifikant. Dies kann so weit gehen, dass wie im Fall der Verbindung C am Standort Athénée **(Tabelle 1)** keine Verbindung mehr möglich ist. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass das Risiko von Übertragungsproblemen bei G3-PLC in

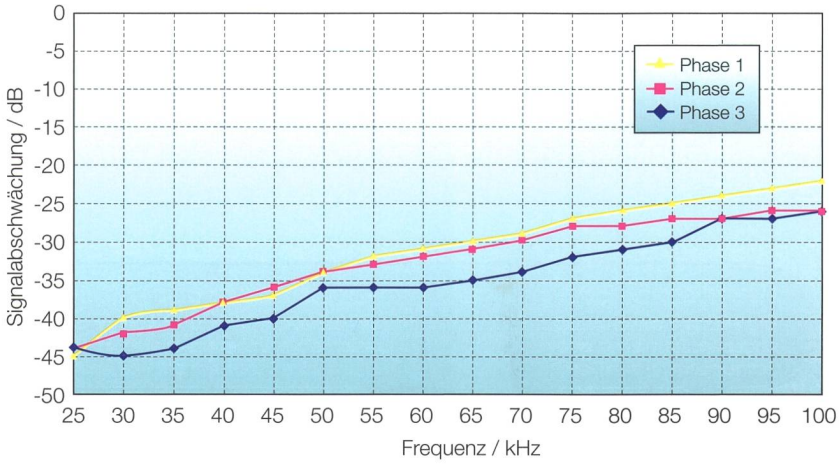

Bild 5 Veranschaulichung einer Messung der Signaldämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz.

BRANCHE **SMART METERING**

Bilder: Romande Energie

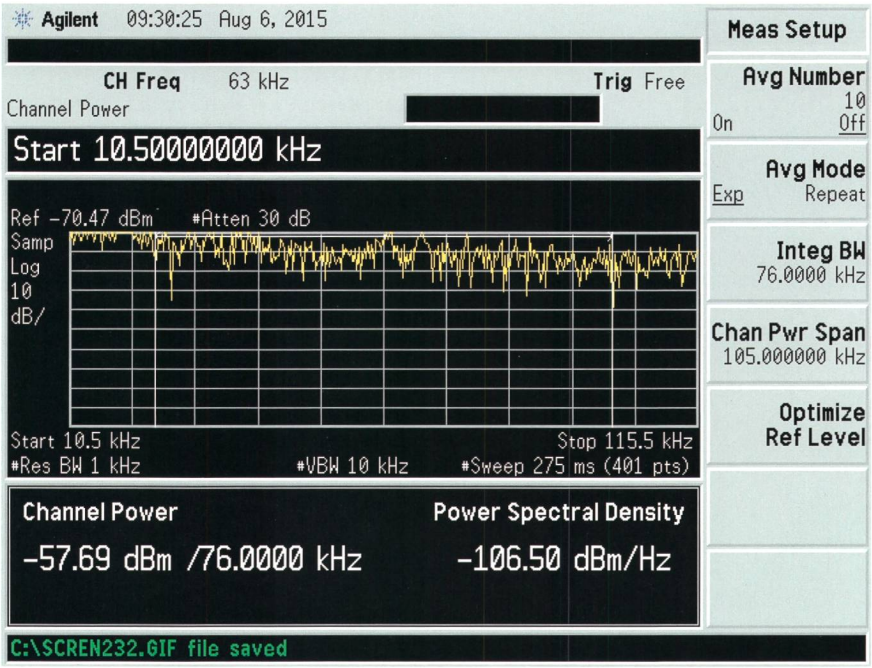

Bild 6 Veranschaulichung der Rauschmessung mit einem Netzwerkanalysator beim Empfänger.

städtischen Gebieten mit ihrer hohen Dichte von Lasten wahrscheinlich grösser ist als in ländlichen Regionen, die eine geringere Zahl von Lasten aufweisen.

Stimmen Sende- und Empfangsphase nicht überein, hängt die durch Übersprechen erzielte Signalstärke hauptsächlich von den an das Stromnetz angeschlossenen Lasten und weniger von der Art oder Länge der Kabel ab. Wenn Geräte eingesetzt werden, die per G3-PLC kommunizieren, ohne dass vorgängig die Übereinstimmung der Sende- und Empfangsphasen ermittelt wurde, nehmen die Übertragungsleistungen von G3-PLC in Bezug auf die Datenübertragungsrate ab und verändern sich im zeitlichen Verlauf abhängig von den an das Netz angeschlossenen Lasten.

Das Frequenzband FCC-1 weist im Vergleich mit dem Frequenzband Cenelec-A eine grössere Bandbreite und eine geringere Rauschkomponente auf. Im ersteren Frequenzband sind die Übertragungsleistungen von G3-PLC in Bezug auf die Datenübertragungsrate 4 bis 26 Mal besser als im Frequenzband Cenelec-A. Im Fall der Verbindung C des Standorts Athénée konnten in diesem Frequenzband sogar Datenübertragungen durchgeführt werden, während im Frequenzband Cenelec-A überhaupt keine Verbindung zustande kam. Deshalb sollte in Betracht gezogen werden, nach Möglichkeit generell oder von Fall zu Fall das Frequenzband FCC-1 zu verwenden.

Mit Hilfe dieser Evaluation unter realitätsnahen Bedingungen konnten die hauptsächlichen Einflussfaktoren bezüglich der Übertragungsleistungen von G3-PLC aufgezeigt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Versuche an sogenannten «kritischen» (städtischen) Standorten mit einer hohen Dichte von vernetzten Zählern weitergeführt werden müssen. In dieser Phase besteht das Ziel darin, die Leistungen im Zusammenhang mit den Mechanismen für die Verbindung/Trennung der Verbindung oder die Routing-Funktionen zu evaluieren, die in der Schicht 2 des OSI-Modells («Verbindungssicherungsschicht») festgelegt werden. Dank diesen Tests, die demnächst durchgeführt werden sollen, wird es möglich sein, die Massnahmen zu erkennen, die im Hinblick auf einen breiten Einsatz der intelligenten Stromzähler erforderlich sind. Dabei geht es darum, der Übereinstimmung der Phasen bestmöglich Rechnung zu tragen und jene Kundenanlagen aus dem Verkehr zu ziehen, die aussergewöhnlich starke Störungen verursachen (Clean-up).

Referenzen

[1] Smart meter communication standards in Europe – a comparison, 24.11.2014, Sabine Erlinghagen, Bill Lichtensteiger und Jochen Markard, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich und IEEE, online verfügbar unter www.sciencedirect.com.

[2] G.9903 : Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks, 22.02.2014, ITU.

[3] TAV 5.1 SR 784.101.21, 11.08.2015, BAKOM. Technische und administrative Vorschriften zu den leitungsgebundenen Fernmeldeeinrichtungen mit Powerline-Communication-Technologie (PLC-Technologie) im Rahmen von Fernmeldediensten und Privatnetzen, die sich über mehrere nicht aneinander angebaute Gebäude erstrecken. Technische und administrative Vorschriften für die PLC (SR 784.101.21-5.1).

Autor

Gaël Mauron ist Ingenieur FH Telekommunikation, Fachrichtung Signalübertragung und -verarbeitung, mit Abschluss an der HEIG-VD in Yverdon-les-Bains im Jahr 2006. Seit November 2014 leitet er die technische Machbarkeitsstudie für den Bereich Telekommunikation des Projekts SmartMetering, das von Romande Energie lanciert wurde.

Romande Energie, 1110 Morges
gael.mauron@romande-energie.ch

[1] Die erreichbare Datenübertragungsrate zwischen einem Sender und einem Empfänger ist das einzige evaluierte Leistungskriterium.

Anzeige

Kennen Sie www.bulletin-online.ch schon?

Die Beiträge dieser Ausgabe finden Sie auch auf Bulletin-Online. Dort können Sie die Artikel bewerten und Ihren Kommentar abgeben. Damit aus einer Einweg-Kommunikation ein spannender Dialog wird. Das elektronische Bulletin lädt Sie ein zum Schnuppern, zum «Durchwühlen» des Archivs und zum Lesen der aktuellsten Kurzbeiträge. Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

www.bulletin-online.ch

Bulletin
Fachzeitschrift von Electrosuisse und VSE