

G3-PLC in Stromnetzen mit Niederspannung

Übertragungsqualität | Im Bereich Smart Metering stösst die G3-PLC-Technologie bei den Verteilnetzbetreibern auf zunehmendes Interesse, da sie die Fernablesung von intelligenten Stromzählern ermöglicht. Dabei dient das Stromnetz als Übertragungsmedium. Wie lässt sich das in der Praxis konkret umsetzen?

TEXT GAËL MAURON

In einem vorangegangenen Artikel[1] wurde die in der Praxis mögliche Übertragungsqualität des Standards G3-PLC in der physikalischen Schicht (Schicht 1 des OSI-Modells) mit Punkt-zu-Punkt-Messungen dargestellt. Es wurde aufgezeigt, dass die physikalischen Eigenschaften des Stromnetzes nur geringfügigen Einfluss auf die Performance haben, während die an das Stromnetz angeschlossenen Lasten signifikante Auswirkungen haben.

Es wurde auch festgehalten, dass städtische Umgebungen, in denen eine hohe Dichte angeschlossener Lasten besteht, die ungünstigsten Bedingungen für ein G3-PLC-Netz aufweisen. Ausserdem konnte gezeigt werden, dass die Übertragungsqualität des Standards G3-PLC im Frequenzband FCC-1 (150–500 kHz) deutlich höher liegt als im Frequenzband Cenelec-A (9–95 kHz). Schliesslich konnte mit zusätzlichen Tests dargelegt werden, dass die Qualität des Standards G3-PLC je nach Tageszeit variiert und dass die Übertragungsqualität durch eine Nichtübereinstimmung der Send- und Empfangsphasen unter Umständen stark beeinträchtigt wird.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurde beschlossen, die G3-PLC-Leistungsmessungen in einer realen und als kritisch eingestuften Umgebung weiterzuführen. Konkret geht es dabei um eine städtische Umgebung mit einer hohen Dichte von an das Stromnetz angeschlossenen Kunden. Im Rahmen der weiteren Tests wurden die Übertragungs-Performance in der Anwendungsschicht (Schicht 7 des OSI-Modells) gemessen, die das DLMS-Protokoll und die Cosem-Objekte unterstützt. Diese Tests wurden mit insgesamt 92 Stromzählern in

drei Niederspannungsnetzen durchgeführt. Pro Gebäude wurde ein Zähler installiert. Die Messungen wurden zuerst im Frequenzband FCC-1 und anschliessend im Frequenzband Cenelec-A vorgenommen. Das verwendete Material ermöglichte eine Fernumschaltung von einem Frequenzband zum anderen, indem vom Datenkonzentrator, der in der Transformatorstation installiert war, ein entsprechender Steuerungsbefehl versandt wurde. Die Tests wurden über einen Zeitraum von mehreren Wochen durchgeführt.

Diese Versuche hatten den Zweck, die Kommunikationsleistung des Standards G3-PLC mit einer sogenannten maschenförmigen Netzwerktopologie zu messen, also nicht mehr mit Punkt-zu-Punkt-Messungen wie im eingangs erwähnten Artikel beschrieben. Im Rahmen einer

solchen Konfiguration kann jeder Stromzähler als Zwischenhop für einen oder mehrere andere Zähler dienen. Die Zusammensetzung des Netzwerks hängt von der Signalqualität und von den Störpegeln in den verschiedenen Bereichen des Netzes ab (siehe Bild 1).

Kommunikationsdistanzen und Geräuschpegel

Zunächst wurde an jedem Endpunkt der Niederspannungsnetze ein intelligenter Stromzähler installiert. Diese Smart Meter sind in Bild 2 mit einem orangefarbenen Kreis markiert. Die ersten Tests wurden im Frequenzband FCC-1 durchgeführt. In diesem Fall kommunizierten 90% der Zähler (18 von 20) mit ihrem jeweiligen Datenkonzentrator. Die maximale Kommunikationsdistanz betrug 440 m. Nur zwei Zähler

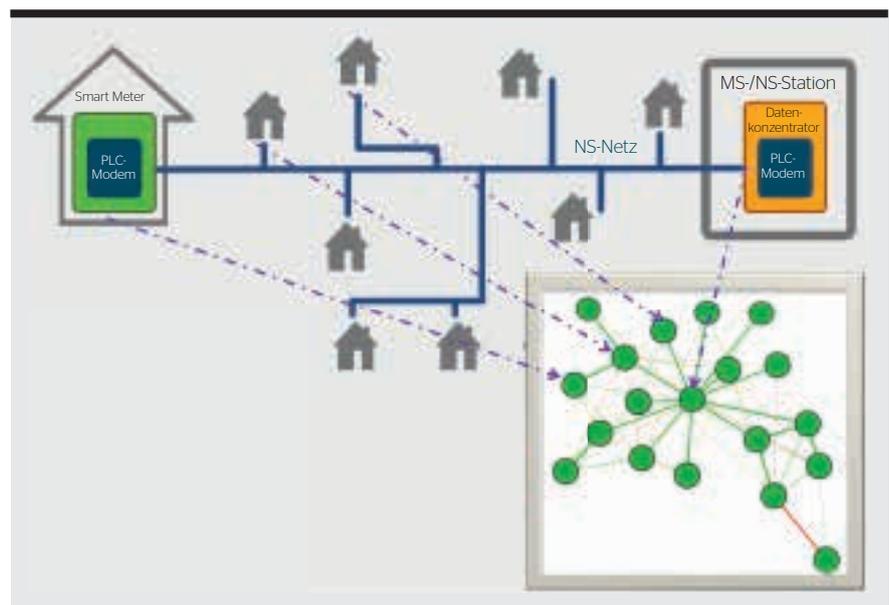


Bild 1 Veranschaulichung der physischen Anordnung von G3-PLC-Modems in einem Niederspannungsnetz und damit verbundene maschenförmige Netzwerktopologie, welche auf dem Datenkonzentrator ersichtlich ist (grau eingerahmt).

blieben unerreichbar (Bild 2: N7653 und N7676). Diese beiden Zähler befanden sich in einem Abstand von 300 beziehungsweise 360 m vom Datenkonzentrator. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass nur diese zwei Zähler durch Freileitungsabschnitte mit dem Datenkonzentrator verbunden waren. Nach der Umschaltung ins Frequenzband Cenelec-A waren nur 35% der installierten Stromzähler erreichbar (7 von 20). Bei dieser Konfiguration betrug die maximale Kommunikationsdistanz 287 m.

Bei der Installation der Zähler wurden an jedem Zählerstandort die Geräuschpegel in den Frequenzbändern Cenelec-A und FCC-1 gemessen. Diese Messungen ergaben im Frequenzband Cenelec-A viel höhere Störpegel als im Frequenzband FCC-1. Das Geräusch stört das G3-PLC-Signal und ist mit grosser Wahrscheinlichkeit eine der Hauptursachen für die Leistungsabweichungen zwischen den beiden Frequenzbändern.

Unerreichbare Stromzähler im Frequenzband Cenelec-A

Anschliessend wurde jedes Gebäude mit einem Smart Meter ausgestattet (Bild 2: grüne Felder). In dieser Phase bestand das Ziel darin, den Anteil der Zähler zu ermitteln, die mit ihrem jeweiligen Datenkonzentrator kommunizieren konnten. Dabei funktionierten gewisse Zähler als Zwischenhop für das G3-PLC-Signal und für einen umfassenden räumlichen Einsatz. Im Frequenzband FCC-1 kommunizierten 100% der Stromzähler. Dagegen wurden im Frequenzband Cenelec-A deutlich weniger gute Ergebnisse verzeichnet. Vier einzelne Zähler und ein «Sektor» von neun Zählern konnten zu keinem Zeitpunkt mit ihrem jeweiligen Datenkonzentrator kommunizieren und blieben während der gesamten Dauer der Tests unerreichbar. Dies entspricht 15% der installierten Zähler. Es wurden keine Massnahmen ergriffen, um diese Zähler erreichbar zu machen: Weder wurde eine Suche nach den Störfaktoren unternommen (clean-up) noch wurde eine Analyse durchgeführt, um die Übereinstimmung der Anschlussphasen der Zähler zu überprüfen.

Dieser Test zeigt, dass in Fällen, in denen das Frequenzband Cenelec-A verwendet wird, Massnahmen getroffen werden müssen, um die Erreichbar-



Bild 2 Lageplan der Stromzähler für das Niederspannungsnetz «Spital Rolle Transformator 2». Jedes grüne Feld steht für einen Smart Meter mit G3-PLC-Technologie.



Bild 3 Messpunkte (blau umrahmte rote Punkte) zur Erhebung von elektromagnetischen Störungen im Bereich des Spitals Rolle. Die roten Linien bezeichnen Freileitungen (Leitungen oder Kabel), während die blauen Linien unterirdische Verbindungen markieren.

keitsquote der Zähler zu verbessern. Dies geschieht am besten schon bei der Installation, da sonst die Phasenkoinzidenz zwischen den G3-PLC-Modems und den Zählern korrigiert werden muss und Clean-up-Arbeiten nötig werden. Gegebenenfalls müssen allfällige Störquellen im Netz ausfindig gemacht und beseitigt werden. Falls die Stromzähler und der Datenkonzentrator im Frequenzband Cenelec-A konfiguriert werden, wäre die Lösung entsprechend den erteilten Bewilligungen, das gesamte G3-PLC-Netzwerk vom Frequenzband Cenelec-A auf das Frequenzband FCC-1 umzuschalten.

Ist keine der oben erwähnten Massnahmen wirksam oder realisierbar,

muss vorgesehen werden, die nicht erreichbaren und isolierten Zähler durch solche zu ersetzen, die beispielsweise über das Mobilkommunikationsnetz 3G oder 4G von Punkt zu Punkt kommunizieren. Für «Sektoren» von unerreichbaren Zählern könnten in den NS-Schalt-schränken G3-PLC-Zwischenhops installiert werden. Eine andere denkbare Alternative ist die Installation von Datenkonzentratoren im unteren Bereich der Gebäude, sofern dies technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar ist. In allen Fällen müssen eine Strategie und ein Verfahren zur Lösung dieser Kommunikationsprobleme entwickelt werden. Die veranschlagten Kosten müssen in die Projektbudgets aufge-



Bild 4 Antennen zur Messung von elektromagnetischen Störungen.

nommen werden. Die Einrichtung und der Betrieb von G3-PLC-Netzen könnten beträchtlich erleichtert werden, würde das Frequenzband FCC-1 auf breiter Ebene eingesetzt.

Höchstzahl von Stromzählern pro Datenkonzentrator

Die verschiedenen Messungen hatten den Zweck, die maximale Zahl von Zählern zu ermitteln, die abhängig vom verwendeten Frequenzband an einen Datenkonzentrator angeschlossen werden können. In diesem Zusammenhang wurde die Round Trip Time gemessen. Die Round Trip Time entspricht der Zeitspanne, die zwischen dem Versand einer Mitteilung durch den Sender und dem Eingang der Antwort auf diese Mitteilung beim gleichen Sender verstreicht. Alle 15 Minuten wurde sukzessive eine Mitteilung an jeden Zähler gesandt, wobei die Round Trip Time gemessen wurde.

Der Umfang der Mitteilung, die vom Datenkonzentrator an einen Zähler gesandt wurde, entsprach der Abfrage von vier Viertelstundenwerten einer Belastungskurve, während der Umfang der Mitteilung, die als Antwort des Zählers an den Datenkonzentrator übertragen wurde, der Zusendung von vier Messwerten entsprach. Ausgehend vom Umfang der Mitteilungen und vom Wert der Round Trip Time lässt sich die Bandbreite pro Zähler berechnen. Auf dieser Grundlage kann anschliessend die theoretische Zahl

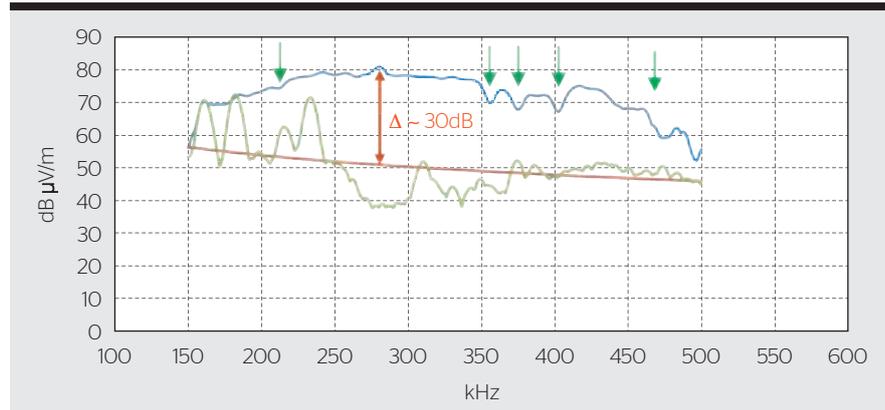


Bild 5 Ergebnisse einer Messung der elektromagnetischen Störstrahlung (blau: gemessenes elektromagnetisches Feld mit aktivierter PLC / rot: Grenzwert ECC(05)04 [4] / grün: elektromagnetisches Feld der Umgebung ohne PLC-Signal).

der Zähler berechnet werden, die an den gleichen Datenkonzentrator angeschlossen werden können, um diesen Datentyp zu erhalten. Dabei handelt es sich ausschliesslich um einen Vergleich in Bezug auf die Bandbreite. Ausserdem umfasste die verwendete Methode weder eine Codierung noch einen Mechanismus für die Übertragungssicherheit.

Im Frequenzband Cenelec-A wurde eine durchschnittliche Round Trip Time von 2,2 Sekunden gemessen, während die ermittelte Round Trip Time im Frequenzband FCC-1 eine Sekunde betrug. Die Bandbreite ist somit im Frequenzband FCC-1 gut doppelt so gross. Zum Vergleich: Im Frequenzband Cenelec-A könnten 850 Stromzähler an einen Datenkonzentrator angeschlossen werden, während im Frequenzband FCC-1 knapp 2000 Zähler mit dem gleichen Datenkonzentrator verbunden werden könnten.

Diese Vergleichswerte gelten für den Fall, dass die durchschnittlich verfügbare Bandbreite unabhängig von der Anzahl Stromzähler konstant bleibt. Die maximale Anzahl Messpunkte in einem Trafokreis bei Romande Energie beträgt maximal 658. Zum Vergleich: 98% der G3-PLC-Netze umfassen weniger als 330 Zähler; der Durchschnitt liegt sogar bei nur rund 80 Zählern. Unter der Voraussetzung, dass die Zähler erreichbar sind, scheint die durchschnittliche Bandbreite im Frequenzband Cenelec-A somit bei Weitem auszureichen, um alle 15 Minuten die Werte der vier Belastungskurven aller Zähler zu erfassen, die an einen Datenkonzentrator angeschlossen sind.

Phasenkoinzidenz

Im eingangs erwähnten Artikel wurde aufgezeigt, dass die Kommunikationsleistungen beeinträchtigt werden, wenn die G3-PLC-Modems nicht an der gleichen Phase angeschlossen sind. Aus diesem Grund wurde bei der Installation der Stromzähler eine Methode getestet, bei der die Phasenkoinzidenz mithilfe eines Signalgenerators ermittelt wird. Es stellte sich jedoch heraus, dass diese Methode zu stark vom Zufall abhängt, zu kompliziert ist und bei der Anwendung viel zu zeitaufwendig ist (rund 5 bis 10 Min. pro Zähler). Sofern sich jedoch der Zähler mit dem Datenkonzentrator verbinden kann, bietet der Standard G3-PLC [2] einen zuverlässigen Mechanismus, um zu bestimmen, an welche Phase das G3-PLC-Modem des Zählers angeschlossen ist. In vorliegendem Fall war diese Information im Datenkonzentrator verfügbar.

Während der Tests wurden die Phasen eines im Frequenzband Cenelec-A nicht erreichbaren Zählers gewechselt, um die Phasenkoinzidenz mit den umliegenden Zählern wiederherzustellen. Nachdem die Phasenkoinzidenz erreicht war, hat sich der Zähler innerhalb einer Minute an das G3-PLC-Netz angeschlossen. In der Folge funktionierte er ohne Unterbrechung. Dies belegt nochmals, dass die Übertragungsleistungen des Standards G3-PLC durch die Phasenkoinzidenz signifikant verbessert werden.

Nutzungseinschränkungen im Frequenzband FCC-1

Aus den Ergebnissen der Messungen geht hervor, dass die Telekommunikation

tionsleistungen des Standards G3-PLC im Frequenzband FCC-1 (150–500 kHz) deutlich höher liegen als im Frequenzband Cenelec-A (9–95 kHz). Dies, weil die Störfrequenzen im Cenelec-A-Band durch externe Störquellen massiv höher sind als im FCC-1-Band. Dies, obwohl das Cenelec-A-Band ausschliesslich zur Datenübertragung von Energieversorgungsunternehmen reserviert ist. Die Netzbetreiber würden daher dazu tendieren, eher ein System zu verwenden, das mit dem Frequenzband FCC-1 operiert, als ein System, das auf dem Frequenzband Cenelec-A beruht.

Doch das Bakom (Bundesamt für Kommunikation) hat die technische und administrative Vorschrift TAV 5.1 [3] erlassen, mit der die Verwendung solcher Systeme eingeschränkt wird. Für unterirdische Verbindungen können Verteilnetzbetreiber die permanente Verwendung eines Powerline-Communication-Netztes vorsehen, doch sie müssen dies dem Bakom vorgängig melden und in diesem Zusammenhang ein Dossier mit technischen und geografischen Angaben zum geplanten Netz einreichen. Das Bakom kann mittels Verfügung die Realisierung des Netztes in gewissen Regionen einschränken oder ausschliessen, um den störungsfreien Betrieb der Funk- und Rundfunkdienste zu gewährleisten.

Freileitungen dürfen derzeit grundsätzlich nicht als Träger für die permanente Datenübertragung mit Powerline Communications in diesem Frequenzband verwendet werden. Die Einrichtung von Telekommunikationssystemen mit dem Standard G3-PLC, die das Frequenzband FCC-1 verwenden, wird durch alle diese Einschränkungen und administrativen Formalitäten stark behindert.

Die TAV 5.1 hält fest, dass für die Störstrahlung, die durch Netze mit Powerline-Communications-Systemen verursacht wird, die Grenzwerte gemäss der Empfehlung ECC/REC/(05)04 [4] gelten. Doch bis dahin hatte das Bakom keine Messungen der elektromagnetischen Störungen vorgenommen, die in der Praxis von G3-PLC-Geräten emittiert werden, welche an das Niederspannungsnetz angeschlossen sind und im Frequenzband FCC-1 operieren. Deshalb musste das Bakom entsprechende Messungen durchführen, um zu überprüfen, ob diese Grenzwerte im Fall eines G3-Powerline Communi-

cation-Netztes eingehalten werden können. Ausgehend von den Ergebnissen der Messungen wird eine Anpassung der TAV 5.1 geprüft.

Das Bakom hat diese Messungen am Standort Rolle in der Umgebung von Freileitungen (Leitungen und Kabel) und an Punkten vorgenommen, an denen unterirdische Verbindungen an die Oberfläche treten: in der Nähe von Verteilerschränken, Strassenleuchten, Stromzählern, Mittel- und Niederspannungsstationen usw. (Bild 3)

Die Messungen haben ergeben, dass die von den Netzen emittierte durchschnittliche Störstrahlung rund 8 dB über den festgelegten Grenzwerten liegt. Wie aus Bild 5 hervorgeht, lagen die höchsten Werte der Störstrahlung in der Nähe von Freileitungen um 30 dB über den festgelegten Grenzwerten, während die maximalen Grenzwerte in der Nähe von Punkten, an denen unterirdische Verbindungen an die Oberfläche treten, um 20 dB überschritten wurden. Dies bedeutet, dass der Empfang anderer berechtigter Rundfunkdienste gestört werden könnte. Das gilt für einen Bereich von mehreren Dutzend Metern bei den am wenigsten empfindlichen Diensten und für einen Bereich von einigen Hundert Metern bei den empfindlichsten Diensten.

Auf der Grundlage eines stark vereinfachten Modells hat das Bakom Simulationen durchgeführt. Diese haben ergeben, dass die elektromagnetischen Emissionen potenziell um rund 30 dB reduziert werden könnten, falls die G3-PLC-Modems nicht zwischen dem Nullleiter und einer Phase, sondern zwischen zwei Phasen angeschlossen würden. In diesem Fall würde die Störstrahlung innerhalb der in der TAV 5.1 empfohlenen Grenzwerte liegen. Um dies in der Praxis zu bestätigen, realisiert Romande Energie gegenwärtig in Zusammenarbeit mit Landis+Gyr und dem Bakom ein entsprechendes Projekt. Da jedoch diese Anschlussart nur in einem Dreiphasennetz möglich ist, ist sie gegenwärtig bei den Lieferanten von Stromzählern nicht gebräuchlich. Mit diesem Anschlusstyp betriebene Systeme würden somit nicht dem Standard entsprechen.

Das FCC-1-Band gewährleistet die Effizienz der Technologie

Mit der Verwendung des Frequenzbands FCC-1 werden die Leistun-

gen und die Zuverlässigkeit der G3-PLC-Kommunikation signifikant verbessert. Wenn Verteilnetzbetreiber die Möglichkeit hätten, dieses Frequenzband auf breiter Ebene zu verwenden, könnten die Betriebskosten von Kommunikationsgeräten, die im Niederspannungsstromnetz eingesetzt werden (wie beispielsweise Smart Meter), zweifellos in beträchtlichem Umfang gesenkt werden. Diesbezüglich sei daran erinnert, dass diese Geräte zu den Instrumenten gehören, die im ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 festgehalten sind. Mit den betreffenden Massnahmen sollen die festgelegten Energieeffizienzziele erreicht werden.

Hervorzuheben ist ausserdem, dass von den Einsparungen, die mit der Verwendung des Frequenzbands FCC-1 erzielt werden könnten, letztlich die gesamte Bevölkerung profitieren würde. Im Übrigen wird dieses Frequenzband von einem grossen Teil der derzeit Berechtigten immer weniger verwendet. Aus all diesen Gründen wäre es sinnvoll, lockerte das Bakom die in der TAV 5.1 enthaltenen technischen Beschränkungen und administrativen Formalitäten, welche im Zusammenhang mit der Verwendung des Frequenzbands FCC-1 für die Powerline-Communications-Technologie gelten. Auf diese Weise könnte eine dauerhafte Verwendung von Smart Metern gewährleistet werden, womit eine technisch zuverlässige und wirtschaftlich tragbare Kommunikationstechnologie eingesetzt werden könnte.

Referenzen

- [1] Gaël Mauron, «G3-PLC-Übertragungsfaktoren im Niederspannungsnetz», Bulletin SEV/VSE 9/16, pp. 14-18.
- [2] G.9903: Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for CPL-G3 networks (Kapitel 8.9, S. 51), 2014, www.itu.int/rec/T-REC-G.9903.
- [3] Bakom, TAV 5.1 SR 784.101.21, 2015, «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).
- [4] Electronic Communication Committee (ECC), ECC Recommendation (05)04 «Criteria for the assessment of radio interferences caused by radiated disturbances from wire-line telecommunication networks», 2005.

Autor

Gaël Mauron leitet bei Romande Energie die technische Machbarkeitsstudie für den Bereich Telekommunikation des Projekts SmartMetering.
→ Romande Energie, 1110 Morges
→ Gael.mauron@romande-energie.ch