

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 108 (2017)  
**Heft:** 12

**Artikel:** CPL-G3 sur les réseaux électriques basse tension = G3-PLC in Stromnetzen mit Niederspannung  
**Autor:** Mauron, Gaël  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-791390>

### **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:** 30.03.2026

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

# CPL-G3 sur les réseaux électriques basse tension

**Performances de télécommunication** | Dans le domaine du comptage intelligent, la technologie CPL-G3 suscite un intérêt grandissant chez les gestionnaires de réseau car elle permet la relève à distance de compteurs électriques, avec le réseau électrique comme média de communication. Dans la pratique, comment cela se concrétise-t-il ?

TEXTE GAËL MAURON

L'article précédent [1] a démontré par des mesures « point-à-point » que les performances de communication du standard CPL-G3 pratiquement atteignables sur la couche physique (couche n°1 du modèle OSI) n'étaient que peu influencées par les caractéristiques physiques du réseau électrique, alors que les charges connectées au réseau électrique avaient une influence significative. L'environnement urbain, plus dense en charges, avait été identifié comme présentant les plus mauvaises conditions pour un réseau de télécommunication de type CPL-G3. Par ailleurs, il avait été montré que les performances de communication CPL-G3 sur la bande de fréquence FCC-1 (150 kHz–500 kHz) étaient largement supérieures à celles obtenues sur la bande Cenelec-A (9–95 kHz). Finalement, des tests complémentaires avaient permis de mettre en évidence que les performances de communication CPL-G3 variaient selon les heures de la journée et qu'une non-coïncidence des phases pouvait dégrader fortement la qualité de la communication.

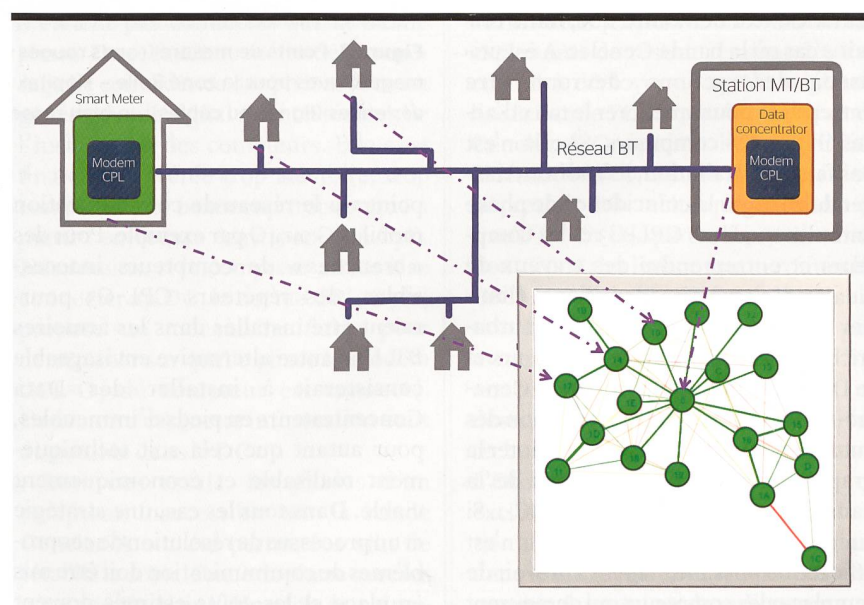
À la lumière de ces constats, il a été décidé de poursuivre les mesures de performances CPL-G3 dans un environnement réel et identifié comme critique, soit un environnement urbain avec une forte densité de charges clients connectées au réseau électrique. Cette suite de test avait pour but d'évaluer les performances de communication sur la couche applicative (couche 7 du modèle OSI) qui supporte le protocole DLMS et les objets Cosem. Ces essais ont été réalisés avec un total de 92 compteurs, répartis sur trois réseaux basse tension. Au final, seul un compteur a été installé

par immeuble. Les mesures ont d'abord été effectuées sur la bande FCC-1, puis sur la bande Cenelec-A. Le matériel utilisé a permis une commutation à distance d'une bande à l'autre par l'envoi d'un ordre depuis le Data Concentrateur (DC) installé dans la station transformatrice. Les tests se sont déroulés pendant quelques semaines.

Le but de ces essais était de mesurer les performances de communication CPL-G3 avec une topologie dite « maillée », et non plus « point-à-point » comme dans l'article précédent. Dans cette configuration, chaque compteur peut faire office de répéteur pour un ou plusieurs autres compteurs. La constitution du maillage dépend de la qualité du signal et des niveaux de perturbation présents aux différents endroits du réseau (voir figure 1).

## Distances de communication et niveaux de bruit

Tout d'abord, un compteur a été installé à chacune des extrémités des réseaux BT. Ces compteurs sont repérés par un cercle orange sur la figure 2. Les premiers essais ont été effectués sur la bande FCC-1. Dans ce cas, 90% des compteurs, soit 18 sur 20, communiquaient avec leur DC respectif. La distance de communication maximale était alors de 440 m. Seuls deux compteurs sont restés inatteignables: N7653 et N7676 (figure 2). Ils se trouvaient à une distance de 300 m, respectivement 360 m du DC. Il est à relever que ces deux compteurs étaient les seuls reliés au DC par des tronçons de lignes aériennes. En bande Cenelec-A, seul 35% des compteurs, soit 7 sur 20, étaient joignables. Dans cette configuration, la



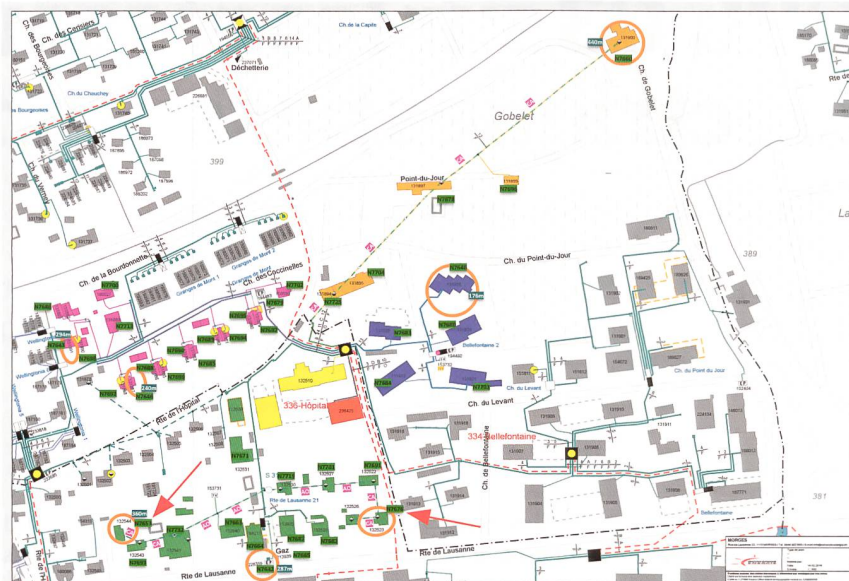
**Figure 1** Illustration de l'implantation physique de modems CPL-G3 sur un réseau BT et topologie maillée associée (encadré gris).



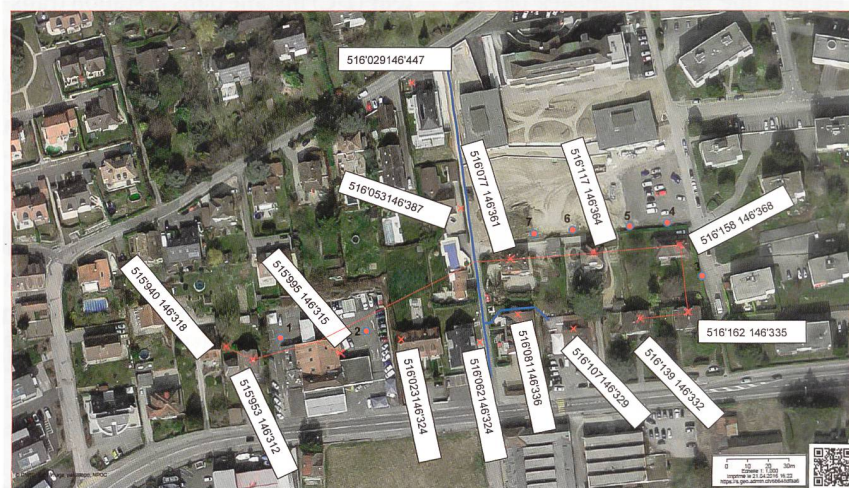
distance de communication maximale était de 287 m. Lors de l'installation des compteurs, les niveaux de bruit ont été mesurés sur les bandes Cenelec-A et FCC-1 à chaque emplacement compteur. Ces mesures ont révélé des niveaux de bruit beaucoup plus élevés sur la bande Cenelec-A que ceux sur la bande FCC-1. Le bruit perturbe le signal CPL-G3 et il est fort probable qu'il soit l'une des causes majeures de ces écarts de performance entre les deux bandes.

### Compteurs inatteignables sur la bande Cenelec-A

Chaque immeuble a ensuite été équipé d'un compteur (figure 2: labels verts). Dans cette phase, le but était d'évaluer la proportion de compteurs pouvant communiquer avec son DC respectif, avec des compteurs fonctionnant comme répéteurs pour le signal CPL-G3 et pour un déploiement spatial complet. Sur la bande FCC-1, 100% des compteurs communiquaient. En bande Cenelec-A, les résultats obtenus sont nettement moins bons. Quatre compteurs isolés et une «branche» de neuf compteurs n'ont jamais réussi à établir une communication avec leur DC respectif et sont restés inatteignables pendant toute la durée des essais. Ceci représente 15% des compteurs installés. Aucune mesure n'a été entreprise pour tenter de rendre ces compteurs atteignables, ni une recherche en termes de perturbateurs, ni une analyse visant à vérifier la coïncidence des phases de raccordement des compteurs. Ce test démontre que, dans certains cas où la bande Cenelec-A est utilisée, des actions devront être entreprises pour améliorer le taux d'accessibilité des compteurs. Si cela n'est pas fait à l'installation, il faudra envisager de corriger la coïncidence de phase entre les modems CPL-G3 et les compteurs et entreprendre des travaux de clean-up, c'est à dire identifier et éliminer les éventuelles sources perturbatrices sur le réseau. Si les compteurs et le DC sont configurés en bande Cenelec-A, la solution serait, en fonction des autorisations obtenues, de commuter la grappe complète de compteurs de la bande Cenelec-A sur la bande FCC-1. Si aucune mesure évoquée ci-dessus n'est efficace ou possible, il faudra prévoir de remplacer les compteurs qui demeurent inaccessibles et isolés par des compteurs qui communiquent en point-à-



**Figure 2** Plan d'implantation des compteurs sur le réseau BT «Rolle Hôpital Transformateur 2». Chaque label vert représente un compteur intelligent CPL-G3.



**Figure 3** Points de mesure (ronds rouges cerclés de bleu) des perturbations électromagnétiques pour la zone Rolle - Hôpital. Les lignes en rouge représentent des liaisons aériennes (lignes ou câbles), en bleu respectivement les liaisons souterraines.

point via le réseau de communication mobile 3G ou 4G par exemple. Pour des «branches» de compteurs inaccessibles, des répéteurs CPL-G3 pourraient être installés dans les armoires BT. Une autre alternative envisageable consisterait à installer des Data Concentrateurs en pieds d'immeubles, pour autant que cela soit techniquement réalisable et économiquement viable. Dans tous les cas, une stratégie et un processus de résolution de ces problèmes de communication doit être mis en place et les coûts estimés doivent être inclus dans les budgets du projet. Il est à relever que le déploiement et l'ex-

ploitation de réseaux CPL-G3 seraient considérablement facilités si la bande FCC-1 pouvait être utilisée à large échelle.

### Nombre maximum de compteurs par DC

L'objectif de cette série de mesures était d'évaluer le nombre maximum de compteurs pouvant être connectés à un DC en fonction de la bande de fréquence utilisée. Pour ce faire, le Round Trip Time (RTT) a été utilisé. Le RTT représente l'intervalle de temps entre l'envoi d'un message par l'émetteur et la réception de la réponse à ce message par ce même

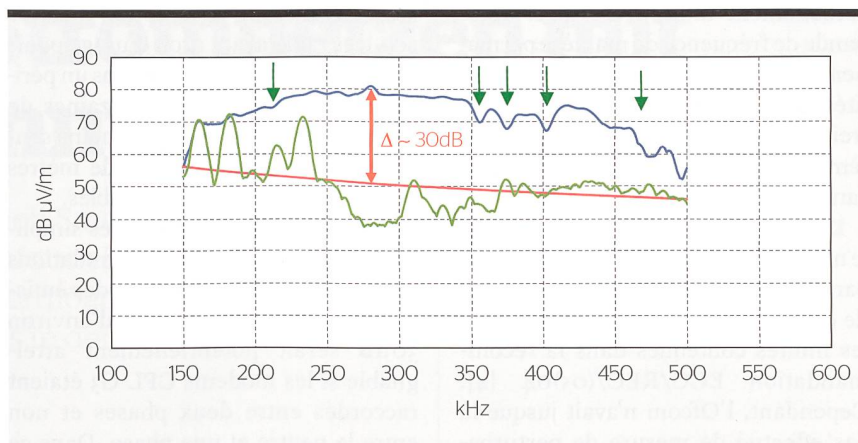




**Figure 4** Antennes pour les mesures des perturbations électromagnétiques.

émetteur. Toutes les 15 minutes, un message est envoyé à chaque compteur de manière successive et le RTT est mesuré. La taille du message envoyé du DC vers un compteur correspondait à la requête des quatre valeurs quart-horaire d'une courbe de charges, alors que la taille du message de la réponse du compteur au DC correspondait à l'envoi des quatre valeurs de mesure. Connaissant la taille des messages et la valeur du RTT, il est possible de calculer la bande passante par compteur. Ceci permet ensuite de calculer le nombre théorique de compteurs qu'il est envisageable de connecter sur un même DC pour acquérir ce type de données. Il s'agit là d'une comparaison en termes de bande passante uniquement. De plus, la méthode utilisée ne comprenait ni chiffrement, ni mécanisme de sécurité de transmission.

En bande Cenelec-A, le RTT moyen mesuré est de 2.2 secondes, alors qu'il est d'une seconde sur la bande FCC-1. La bande passante est donc deux fois supérieure en FCC-1. À titre de comparaison, sur un même DC, il serait possible de connecter 850 compteurs en bande Cenelec-A alors qu'on atteint presque 2000 compteurs en bande FCC-1. Ces valeurs comparatives sont valables dans le cas où la bande passante moyenne disponible reste constante quel que soit le nombre de compteurs. Pour Romande Energie, le



**Figure 5** Résultats d'une mesure de perturbation électromagnétique (en bleu : champ magnétique mesuré avec CPL activé / en rouge : limitation ECC(05)04 [4] / en vert : champ magnétique de l'environnement, CPL désactivé).

nombre maximal de compteurs sur un même réseau CPL-G3 se monterait à 658. Par ailleurs, 98% des réseaux CPL-G3 seraient composés de moins de 330 compteurs, alors que la moyenne se situe à environ 80 compteurs. Pour autant que les compteurs soient atteignables, la bande passante moyenne en Cenelec-A semble donc largement suffisante pour relever toutes les 15 minutes les valeurs des quatre courbes de charges de tous les compteurs connectés à un DC.

### Coïncidence de phase

L'article précédent avait démontré qu'il y avait une dégradation des performances de communication si les modems CPL-G3 des compteurs n'étaient pas connectés sur la même phase. De ce fait, une méthode de repérage de coïncidence des phases avec un générateur de signal a été testée lors de l'installation des compteurs. Elle s'est finalement avérée trop aléatoire, trop compliquée et beaucoup trop longue à mettre en œuvre (env. 5-10 min/cpt). Néanmoins, si le compteur arrive à se connecter au DC, la norme CPL-G3 [2] propose un mécanisme fiable pour déterminer sur quelle phase le modem CPL-G3 du compteur est connecté. Dans notre cas, cette information était disponible dans le DC.

Lors des essais, les phases d'un compteur inaccessible sur la bande Cenelec-A ont été permutées afin de rétablir la coïncidence de phase avec les compteurs voisins. Une fois la coïncidence de phase obtenue, le compteur s'est associé au réseau CPL-G3 dans la

minute et a ensuite fonctionné sans interruption. Ceci prouve une fois encore que la coïncidence de phase améliore sensiblement les performances de communication CPL-G3.

### Restrictions d'utilisation de la bande FCC-1

Les résultats de nos mesures ont démontré que les performances de communication CPL-G3 en bande FCC-1 (150 kHz-500 kHz) sont largement supérieures à celles obtenues en bande Cenelec-A (9-95 kHz). Ceci vient principalement du fait que la bande Cenelec-A est beaucoup plus perturbée par les charges clients que la bande FCC-1, alors que, en théorie, cette bande Cenelec-A est réservée à l'utilisation exclusive des GRD. Les exploitants de réseau seraient dès lors enclins à déployer un système qui utilise la bande FCC-1 plutôt que la bande Cenelec-A. Cependant, l'Ofcom (Office fédéral de la communication) a édicté la prescription technique administrative PTA 5.1 [3] qui limite l'utilisation. Si pour les liaisons souterraines les GRD pourraient envisager l'exploitation d'un réseau CPL de manière permanente, ils doivent au préalable l'annoncer à l'Ofcom en présentant un dossier contenant les informations techniques et géographiques du réseau. L'Ofcom peut alors restreindre ou exclure par voie de décision la réalisation du réseau dans certaines régions dans le but de garantir le bon fonctionnement des services de radiocommunication et de radiodiffusion aux ayants droit. Pour les liaisons aériennes, il est



actuellement interdit d'utiliser cette bande de fréquence de manière permanente. Toutes ces restrictions et formalités administratives représentent un frein important au déploiement des systèmes de communication CPL-G3 utilisant la bande FCC-1.

Dans la PTA 5.1 [3], il est précisé que le niveau de rayonnement parasite émis par des réseaux intégrant des systèmes de communication CPL doit respecter les limites contenues dans la recommandation ECC/REC/(05)04 [4]. Cependant, l'Ofcom n'avait jusque-là pas effectué de mesure de perturbations électromagnétiques émises sur le terrain par des appareils CPL-G3 connectés au réseau BT et sur la bande FCC-1. L'Ofcom devait donc faire des mesures afin de vérifier si les limites contenues dans [4] pouvaient être respectées dans le cas du réseau CPL-G3. En fonction des résultats, l'adaptation de la PTA 5.1 [3] sera étudiée.

L'Ofcom a effectué ces mesures sur le site de Rolle aux abords de liaisons aériennes (lignes et câbles) et aux points de résurgences des liaisons souterraines, c'est-à-dire à proximité d'armoires de distribution, de lampadaires, de compteurs, de la station MT/BT, etc. (voir figure 3).

Les mesures révèlent que le niveau moyen de rayonnement parasite émis par les réseaux est environ supérieur de 8 dB aux limites définies dans [4]. À proximité des liaisons aériennes, comme le montre la figure 5, les niveaux de rayonnement parasite les plus élevés ont atteint un niveau supérieur de 30 dB aux limites définies dans [4], respectivement +20 dB à proximité des points de résurgences des liaisons souterraines.

Ceci signifie que la réception d'autres services radio ayant droit d'usage pourrait se retrouver perturbée dans un périmètre allant de quelques dizaines de mètres pour les services les moins sensibles à quelques centaines de mètres pour les services les plus sensibles.

Sur la base d'un modèle très simplifié, l'Ofcom a effectué des simulations montrant qu'une diminution des émissions électromagnétiques d'environ 30 dB serait potentiellement atteignable si les modems CPL-G3 étaient raccordés entre deux phases et non entre le neutre et une phase. Dans ce cas de figure, les niveaux de rayonnement parasite resteraient dans les limites recommandées dans [4]. Afin de valider ceci dans la pratique, un projet est actuellement en cours chez Romande Energie, en collaboration avec Landis+Gyr et l'Ofcom. Cependant, ce type de raccordement n'étant possible que dans un réseau triphasé, il n'est pas usité aujourd'hui par les fournisseurs de compteurs et les systèmes déployés avec ce type de raccordement ne seraient donc pas standard.

### Une technologie efficiente garantie par la bande FCC-1

L'utilisation de la bande de fréquence FCC-1 améliore significativement les performances et la fiabilité de communication CPL-G3. La possibilité pour les GRD d'utiliser cette bande de fréquence à large échelle diminuerait assurément et de manière conséquente les coûts d'exploitation d'appareils communicants déployés sur le réseau électrique basse tension, tels que les compteurs intelligents. Pour rappel, ces derniers font partie des moyens décrits

dans le premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 – plébiscitée par le peuple suisse lors de la votation du 21 mai 2017 – pour atteindre les objectifs d'efficacité énergétique fixés. Il est aussi important de mentionner que ces économies réalisées par l'utilisation de la bande FCC-1 profiteraient au final, et en totalité, à la population. De plus, cette bande de fréquence est de moins en moins utilisée par une grande partie des ayants droit actuels. Pour toutes ces raisons, il serait judicieux que l'Ofcom allège les restrictions techniques et les formalités administratives de la PTA 5.1 [3] relative à l'utilisation de la bande FCC-1 pour les technologies de communication CPL. Ceci permettrait de garantir une exploitation pérenne des compteurs intelligents par l'utilisation d'une technologie de communication techniquement fiable et économiquement viable.

#### Références

- [1] Gaël Mauron, « Performances de télécommunication CPL-G3 sur le réseau basse tension, évaluation et identification des facteurs d'influences », Bulletin SEV/AES 9/16.
- [2] G.9903: Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for CPL-G3 networks (chapitre 8.9, p.51), UIT, 2014.
- [3] Ofcom, « Prescriptions techniques et administratives concernant les installations de télécommunication filaires utilisant la technologie des courants porteurs en ligne (technologie CPL) dans le cadre de services de télécommunication et de réseaux privés s'étendant sur plusieurs bâtiments non contigus. Prescriptions techniques et administratives pour le CPL » (SR784.101.21-5.1), PTA 5.1 RS 784.101.21, 2015.
- [4] Electronic Communication Committee (ECC), « Criteria for the assessment of radio interferences caused by radiated disturbances from wire-line telecommunication networks », ECC Recommendation (05)04, 2005.

#### Auteur

**Gaël Mauron** est responsable de l'étude de faisabilité technique pour la partie télécommunication du projet SmartMetering lancé par Romande Energie.  
→ Romande Energie, 1110 Morges  
→ [Gael.mauron@romande-energie.ch](mailto:Gael.mauron@romande-energie.ch)

**TECONIA**

Swissness für Ihre Sprachkommunikation

**TQ-SERVICES**  
Teconia Quality Services

Sprachkommunikation mit Weitblick

- Sprachübertragungen (Übersetzungen)
- Technische Kommunikation
- Marketing Kommunikation

**TQ-TOOLS**  
Teconia Quality Tools

Leistungsstarker Support

- TQ-Proof
- TQ-Convert
- TQ-Term ... und vieles mehr

» Für Mitglieder von Electrosuisse und VSE:  
Fragen Sie nach unseren Spezialkonditionen.

Teconia GmbH

Poststrasse 3  
F +41 71 352 32 31

CH-9100 Herisau  
[info@teconia.com](mailto:info@teconia.com)

T +41 71 352 32 30  
[www.teconia.com](http://www.teconia.com)

SORGFALT, SERVICE  
UND HOCHWERTIGER  
OFFSETDRUCK.

[www.somedia-production.ch](http://www.somedia-production.ch)

**somedia**

PRODUCTION

PRINT VIDEO WEB



# 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

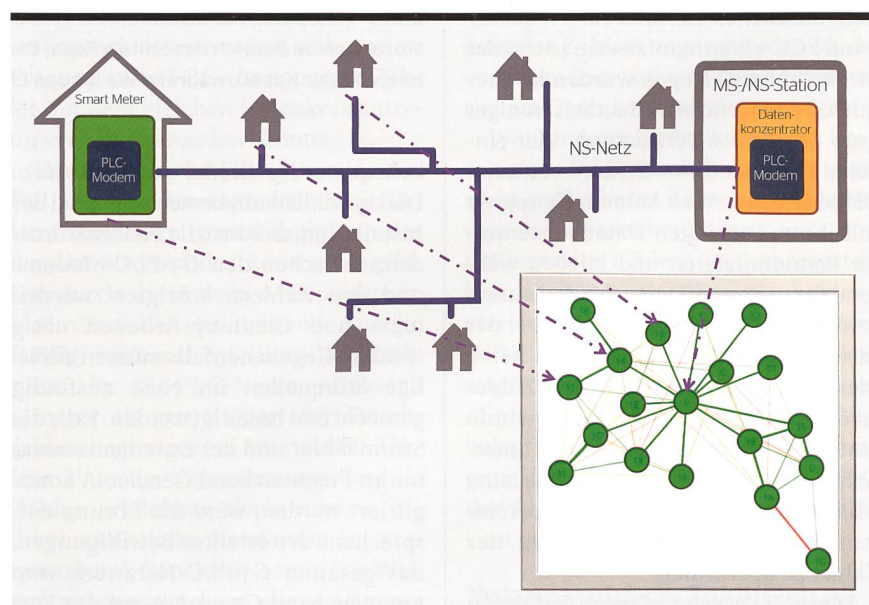
drei Niederspannungsnetzen durchgeführt. Pro Gebäude wurde ein Zähler installiert. Die Messungen wurden zuerst im Frequenzband FCC-1 und anschliessend im Frequenzband Cenelec-A vorgenommen. Das verwendete Material ermöglichte eine Fernumschaltung von einem Frequenzband zum anderen, indem vom Datenkonzentrator, 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 eingrahmt).



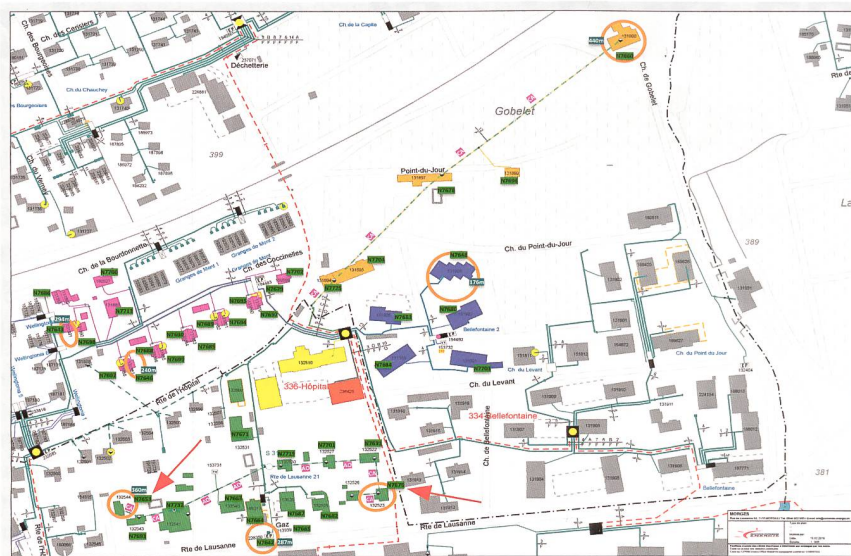
blieben unerreichbar (Bild 2: N7653 und N7676). Diese beiden Zähler befanden sich in einem Abstand von 300 beziehungsweise 360 m vom Datenkonzentrator. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass nur diese zwei Zähler durch Freileitungsabschnitte mit dem Datenkonzentrator verbunden waren. Nach 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-





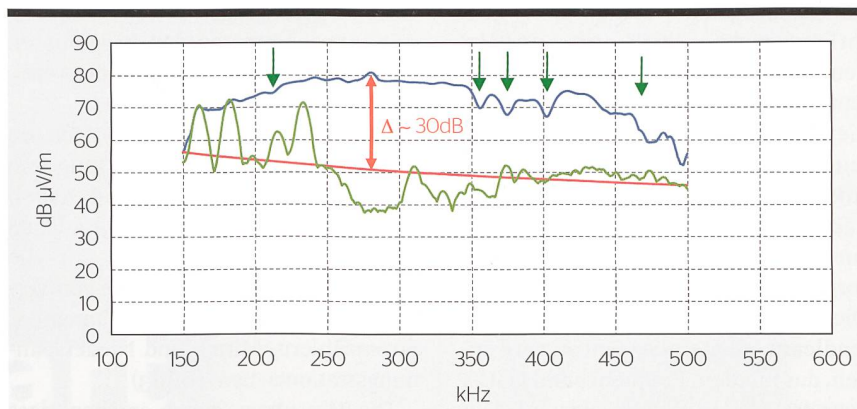
**Bild 4** Antennen zur Messung von elektromagnetischen Störungen.

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.

### Phasenkokoinzidenz

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 Phasenkokoinzidenz 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 Phasenkokoinzidenz mit den umliegenden Zählern wiederherzustellen. Nachdem die Phasenkokoinzidenz 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 Phasenkokoinzidenz 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-Netzes 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 Netzes 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-Netzes 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](http://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](mailto:Gael.mauron@romande-energie.ch)





**Be smart  
Invest  
in your future**



[www.iimt.ch](http://www.iimt.ch)



**| PFIFFNER**

## **Spannungswandler der Zukunft!**

**Ohmsch-kapazitiver Spannungsteiler – schnell und präzise**

- Ermöglicht Messung von **schnellen Vorgängen** in Hochspannungsnetzen
- **Hohe Messgenauigkeit** über einen grossen Frequenzbereich

Mehr Infos unter: Telefon: +41 62 7392828 | E-Mail: [sales@pmw.ch](mailto:sales@pmw.ch) | [www.pfiffner-group.com](http://www.pfiffner-group.com)



**PFIFFNER | MOSER GLASER | ALPHA-ET**

Current and voltage – our passion

