



Stromnetz Hamburg GmbH

Praxistest Powerline mit induktiver Signaleinkopplung



Praxistest Powerline mit induktiver Einkopplung ins Mittelspannungskabelnetz

Stromnetz Hamburg GmbH (SNH) beschäftigt sich seit 20 Jahren intensiv mit der Datenübertragung über Stromkabel. Erste Versuche mit der Powerline-Kommunikation (auch: Powerline Communications, PLC) wurden im Jahr 1997 mit dem Projekt DüNE (Datenübertragung über Niederspannungs-Energie-netze) im großen Konsortium mit HEW, Bewag und GEW gestartet. Im Jahr 2008 war SNH in den Vergleichstest Schmalband-Powerlinie im Cenelec-A-Band involviert. Im Jahr 2011 folgte ein umfangreicher Testbetrieb mit Siemens, bei dem die Übertragungskapazität des Mittelspannungskabelnetzes mit induktiver und kapazitiver Ankopplungstechnik erprobt wurde. 2013 startete ein EU-geförderter Feldversuch in Hamburg. Seitdem wird ein Flächenfeldtest in Zusammenarbeit mit der devolo AG mit G3-PLC in verschiedenen Einkaufszentren auf der Niederspannungsebene durchgeführt.

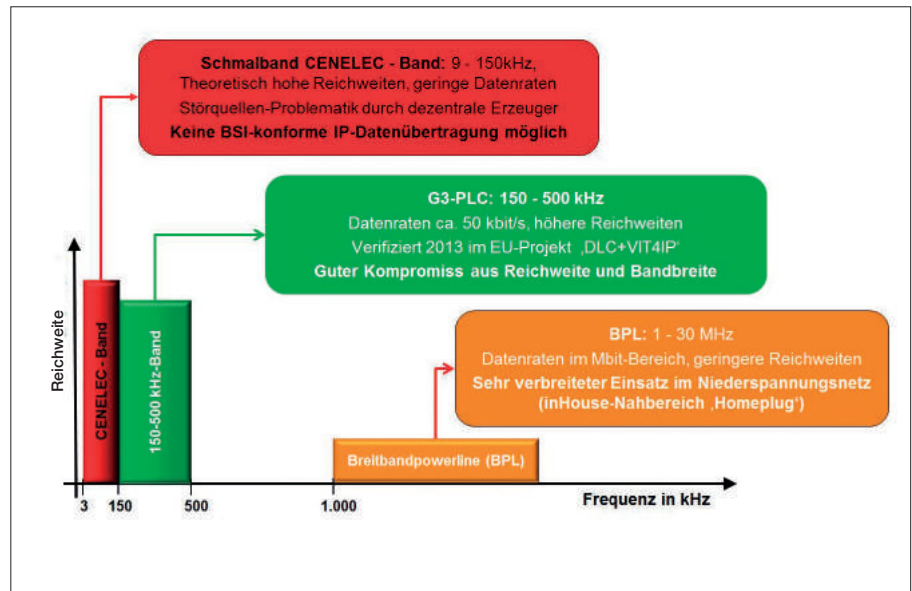


Bild 1 Schematischer Vergleich verschiedener PLC-Technologien

SNH verfügt über eine Vielzahl von Datenverbindungen zum Betrieb des Stromverteilungsnetzes. Teile davon müssen zukünftig sukzessive ersetzt und zugleich neue Übertragungstrecken z. B. zur Automatisierung der Netzstationen im Mittelspannungskabelnetz hinzu gebaut werden. Für die zunehmenden Anforderungen an den Metering-Bereich der SNH durch die gesetzlichen Vorgaben zum Roll-out intelligenter Messsysteme sind Da-

tenverbindungen zu den Messgeräten der Kunden von Nöten ebenso wie für die perspektivisch zu erwartende Steigerung des Datenvolumens für den Betrieb sogenannter Smart-Grid-Anwendungen.

Ziel der jüngsten Untersuchungen war es, modernste PLC-Technologien auf ihre Praxistauglichkeit hinsichtlich Einbau und Betrieb sowie ihre technische Eignung bei Anwendung im Mittelspannungsnetz zu testen.



Dipl.-Ing. **Georg Offner**, (von links) Leiter Product Management Smart Grid, devolo AG, Aachen

Dipl.-Betw. (FH) **Oliver Luft**, Leiter Vertrieb/Prokurist, Eichhoff Kondensatoren GmbH, Schlitz

Dipl.-Ing. (FH) **Ralf Niechziol**, Assetmanagement, Stromnetz Hamburg GmbH, Hamburg

Dipl.-Ing. (TU) **Jörg Reuschel**, Fachbereichsleiter Technik Metering, Stromnetz Hamburg GmbH, Hamburg

Technologische Gesamtentwicklung G3-PLC und BPL

Obwohl die Geschichte von Powerline – der Datenübertragung über Stromleitungen – vor fast einhundert Jahren begann, hat sich die Technologie erst in der jüngsten Vergangenheit, gerade im Zusammenhang mit Inhouse-Anwendungen und Signalübertragungen im Niederspannungsnetz, technologisch und kommerziell stark weiterentwickelt.

Im Mittelspannungsnetz liegen die durchschnittlichen Distanzen deutlich über denen der Niederspannung. Speziell für Breitband-Powerline (BPL) kommen hierdurch besondere Herausforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit zu. Die aus dem Heimbereich bekannten und geeigneten Kopplungsverfahren würden im Mittelspannungsnetz zu unverhältnismäßig hohen Störstrahlungen und somit dem Potenzial zur Störung von Funkdiensten führen. Welche PLC-Technik – eine reichweitenoptimierte G3-PLC oder eine leistungsstarke BPL – vorzuziehen ist, hängt daher immer vom konkreten Anwendungsfall und der jeweiligen Netztopologie ab (Bild 1).

Ziel der Untersuchung und Kooperationspartner

Zur Erprobung der Datenübertragung von Signalen über Mittelspannungskabel waren die devolo AG, die Eichhoff Kondensatoren GmbH und die Stromnetz Hamburg GmbH eine Projektpartnerschaft eingegangen. Für den Praxistest wurden vier Kabelstrecken unterschiedlicher Kabeltypen ausgewählt, um ein gutes Abbild der vorhandenen und zukünftigen Netzstruktur zu haben. Die Ergebnisse sollten zeigen, welcher Teil der Netzstruktur ggf. für Datenübertragungen mit Powerline-Technologien geeignet wäre.

Ziel der Untersuchungen war es, die Technologien auf ihre Praxistauglichkeit hinsichtlich Einbau und Betrieb sowie ihre technische Eignung zu testen. Dabei wurde auch die symmetrische Einkopplung zur Unterdrückung der Gleichtakt-Störsignale erprobt, die einen hohen Abstand zwischen

Nutz- und Störsignal ermöglicht. Ferner sollten die Unterschiede der Einsatzbereiche von BPL sowie G3-PLC bei verschiedenen Kabeltypen und Muffentechnologien überprüft werden. Letztlich sollte die Frage beantwortet werden, ob Stromkabel zur Datenübertragung technische Alternativen für Stromnetzbetreiber zur klassischen Legungen neuer Datenleitungen (wie Fernmelde- oder LWL-Kabeln) oder zu den verschiedenen Funktechnologien liefern.

Grenzen der Einsetzbarkeit

Die grundsätzliche Herausforderung bei der Datenübertragung über Stromleitungen ist, dass nach der Übertragung auf der Leitung immer noch genug Nutzsignal an-

Bild 2: Clamp-Coupler, hier mit Edelstahl-Schnellverschluss



kommen muss und zugleich ein Rauschabstand deutlich über 10 dB zum lokalen Störpegel einzuhalten ist.

Längere Leitungen und Kabelmuffen führen speziell bei hohen Frequenzen zu höheren Signalverlusten. Bei größeren Distanzen sind daher niederfrequente PLC-Systeme wie G3-PLC deutlich im Vorteil gegenüber breitbandigen PLC-Systemen.

So betragen die Leitungsverluste bei G3-PLC rund 1 dB je 100 m Leitung im Vergleich zu rd. 10 dB je 100 m (Kunststoff-Einleiterkabel) bzw. 15 dB je 100 m (NAKBA) bei der für breitbandige PLC-Systeme typischen Frequenz von 15 MHz.

Im Fall der Datenübertragung über den Leiter reduzieren die Schirmdrähte der Mittelspannungs-

kabel die von extern aufgeprägten Störpegel am Empfänger deutlich. Bei Niederspannungskabel entfällt dieser Schutzeffekt, da keine Schirmdrähte um die Einzeladern vorhanden sind.

Bei symmetrisch über zwei Kabel eingespeisten Signalen mit Kompensationsschleife reduziert sich das Störsignal nochmals erheblich, so dass grundsätzlich ein geringerer Signalpegel am Empfänger notwendig ist, um über dem lokalen Störpegel zu bleiben. Gegenüber der asymmetrischen Datenübertragung fällt das Signal-zu-Störverhältnis bei symmetrisch eingespeisten Signalen bis zu 30 dB besser aus.

In der Praxis liegen die erzielbaren Reichweiten im Mittelspannungsnetz um den Faktor 2 höher

als im Niederspannungsnetz. Die typisch erzielbaren Reichweiten bei mittleren lokalen Störpegeln liegen im Mittelspannungsnetz für G3-PLC bei 8 km und für breitbandige PLC-Systeme nach IEEE 1901 bei 800 m über VPE-Kabel und 400 m über NAKBA-Kabel.

Verbesserte Kopplertechnik in der Anwendung

Für den Praxistest wurden Clamp-Coupler (Bild 2) verwendet. Diese induktiven Koppler sind die neueste Weiterentwicklung der Firma Eichhoff und eignen sich für Nieder- und Mittelspannungskabel. Sie benötigen keine galvanische Verbindung zum Stromnetz. Es handelt sich bei ihnen um passive Bauelemente, die vollständig iso-

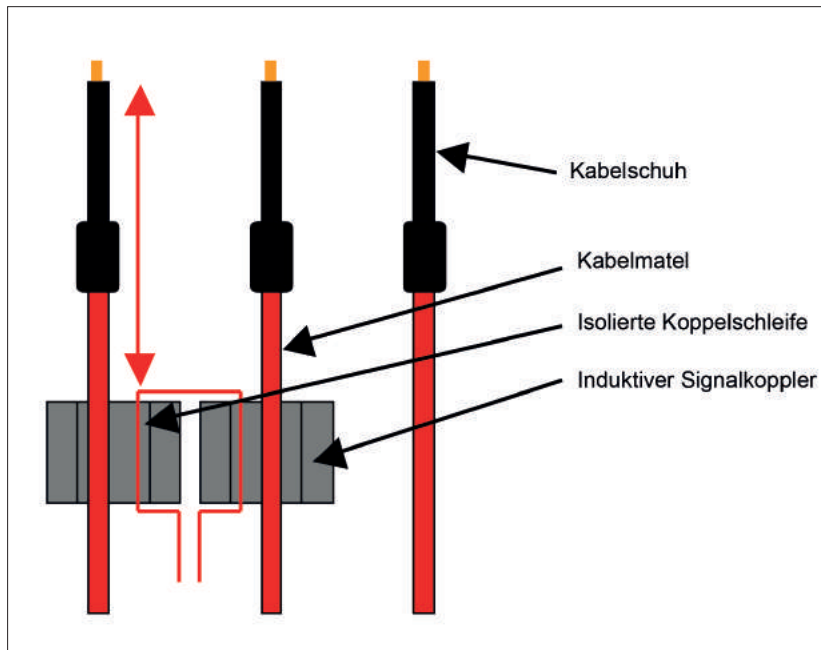


Bild 3: Prinzipaufbau der symmetrischen Einkopplung mit Koppelschleife

liert sind und auf isolierten Kabeln verwendet werden können. Vom Kabeltyp abhängige Besonderheiten der Feldsteuerung im Bereich der Einführung in Mittelspannungsschaltanlagen gilt es dabei zu beachten (Bild 2).

Die Koppler bestehen im Wesentlichen aus einem hochpermeablen weichmagnetischen Werkstoff, der im Bereich von 1 bis 68 MHz eine Signalübertragung mit sehr geringer Dämpfung ermöglicht.

Die Signaleinkopplung kann entweder über die Schirmdrähte oder über den Leiter erfolgen. Bei Kunst-

stoffkabeln mit Einzelader und außen liegenden Schirmdrähten kann ferner eine Schleife zur Kompensation der Gleichtaktstörsignale eingesetzt werden. In diesem Fall umschließt der induktive Koppler auch die Kabelschirmdrähte. Durch diese Maßnahme wird zum einen gewährleistet, dass eine unerwünschte Abstrahlung der PLC-Signale aufgrund der Abschirmung des Mittelspannungskabels unterdrückt wird, andererseits aber auch Funkdienste die PLC-Datenübertragung selbst nicht beeinflussen können.

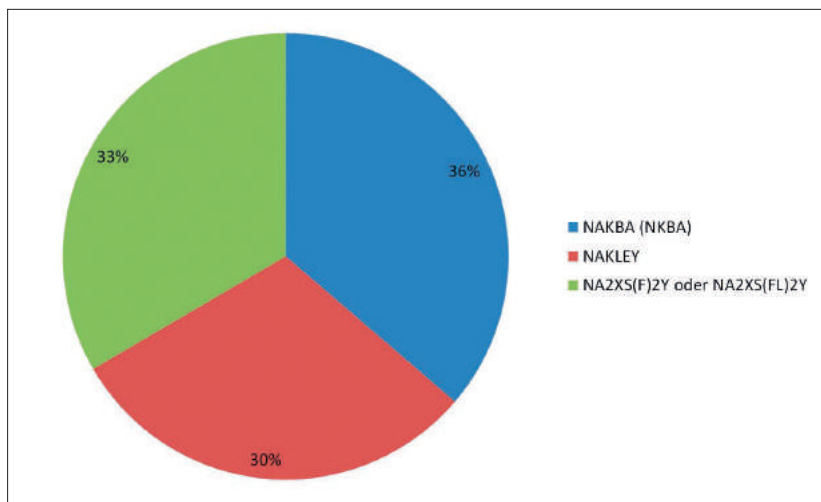


Bild 4 Verteilung des Bestands nach Kabeltypen

Schwachstellen der Abschirmung sind zum einen Kabelmuffen auf dem Übertragungsweg und ungünstige Erdungsverhältnisse in den Schaltanlagen, welche zu abstrahlenden Mantelwellen führen könnten. Aus diesem Grund wurde eine wirksame Unterdrückung von Mantelwellen durch Mantelwellensperren in den Breitband-Powerline-Modems sowie den Zuleitungen zu den induktiven Kopplern vorgesehen.

Aufgrund der gemeinsamen äußeren Schirmdrähte sowie der erdfühligeren Gussmuffen bieten dreidradrige NAKBA- oder NAKLEY-Kabel diese Möglichkeit nicht (Bild 3).

Bestandsanalyse des Kabelnetzes

SNH hat ein Mittelspannungskabelnetz, das über viele Jahrzehnte gewachsen ist und in dem viele unterschiedliche Kabeltypen eingesetzt sind. Dabei unterteilt sich gerade im Blick auf die einzelne Kabelabschnitte verbindenden Muffen der Bestand in zwei große Gruppen:

- Dreidradrige massegetränkte papierisolierte Kabel Typ NKBA, NAKBA jeweils mit Bleimantel umhüllt und darüber aufgebracht Schirmdrähten sowie außen liegend Bewehrung aus Stahlband und äußerer bitumengetränkter Stoffumhüllung sowie einradrige Kabel Typ NAKLEY mit Aluminiummantel und PVC-Außenisolierung
- Einradrige Kabel mit Kunststoffisolierung Typ NA2XS(F)2Y oder NA2XS(FL)2Y mit Kupferschirmdrähten.

Dreidradrige Kabel haben einen gemeinsamen Außenschirm, der u.a. auch dem Tragen von Erdschlussströmen dient. Gerade bei älteren Kabeln wurden die Muffen häufig in Gusseisen ausgeführt und mit Masse vergossen. Modernere Muffen haben Kunststoffgehäuse und sind z. B. mit Reaktionsharzmassen vergossen (Bild 4).

Der mittlere Abstand von Netzstationen variiert selbst in einer Großstadt wie Hamburg erheblich und hängt von den jeweiligen Leistungsanforderungen sowie der geographischen Lage der Verbraucher ab (Bild 5).

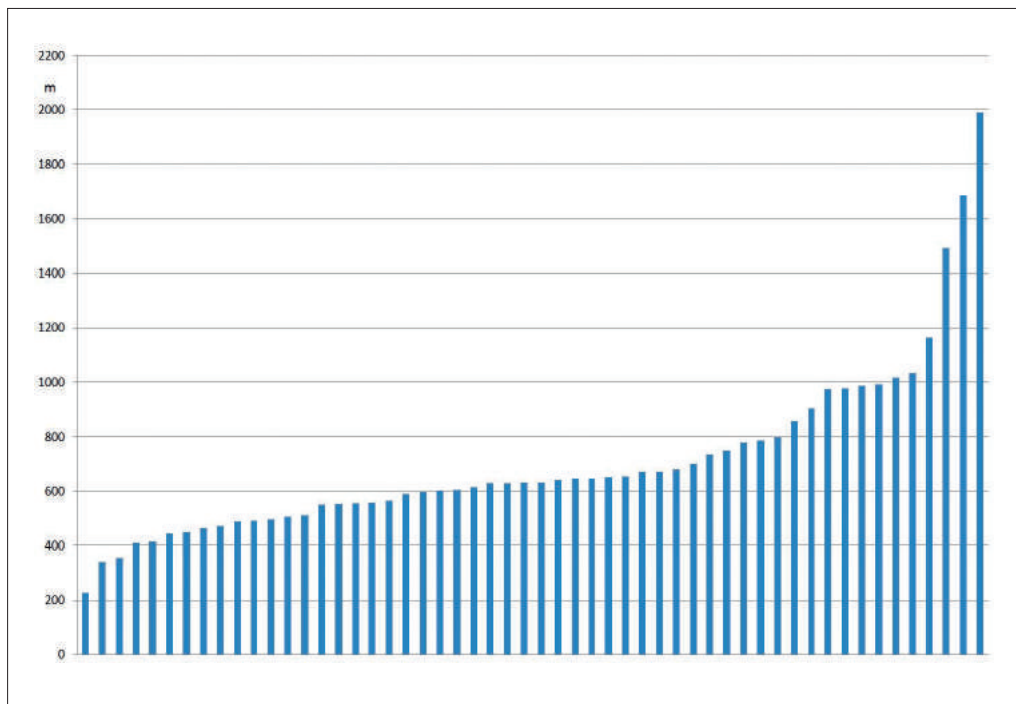


Bild 5: mittlerer Abstand benachbarter Netzstationen in den rund 50 Umspannbereichen

Versuchsablauf und Ergebnisse

Die Clamp-Coupler wurden im isolierten Bereich der Endverschlüsse montiert. Sie verfügen über Schnellverschlüsse aus Edelstahl oder Kunststoff, die eine Montage im Kabelauführungsbereich unterhalb der Schaltzellen mit geringem Zeitaufwand ermöglichen. Beim Praxistest konnte, je nach verwendeten Schaltanlagentypen und Kabel, teilweise sogar ganz auf das

Freischalten der Anlagen verzichtet werden.

Wie die vorhandene Kopplertechnik eingebaut werden kann und ob ggf. Anpassungen vorgenommen werden müssen, ließ sich bereits im Vorfeld durch Probemontagen im Schulungsraum für die Schaltausbildung der SNH klären. Dort steht ein Großteil der Mittelspannungsschaltanlagen, die im Netz der SNH installiert sind (Bild 6).

Bevor die vier Teststrecken mit

der PLC-Technik ausgerüstet wurden, erfolgte zuerst eine umfassende Untersuchung der Streckencharakteristik. Dafür wurde eine Impedanz- und Frequenzgangmessung durchgeführt. So konnte vor Durchführung des eigentlichen Kapazitätstests in Erfahrung gebracht werden, inwiefern sich die verschiedenen Leitungen, Übergänge und verbauten Muffen dämpfend auf die Signalübertragung auswirken und welche Einkopplungstechnik grundsätzlich erfolgsversprechend sein wird. Ebenso wurden Störpegel und -reflexionen im Detail untersucht und erfasst.

Im Praxistest funktionierte die asymmetrische Übertragung auf dem Kabelschirm mit der G3-PLC-Technologie sehr zuverlässig. Es konnte an allen Strecken eine Verbindung hergestellt werden. Die erzielte Datenrate betrug mindestens 20 kbit/s. Zum Großteil lag die Datenrate im Bereich 40 kbit/s. Bei symmetrischer Kopplung auf die Innenleiter wurden erwartungsgemäß sogar 55 kbit/s erreicht.

Die Pingzeit (RTT) lag bei G3-PLC typischen Werten im Bereich von 160 ms, bei langen Strecken physikalisch bedingt höher.

Mit den BPL-Modems konnte auf zwei von vier Strecken eine Verbindung hergestellt werden. Es wurde symmetrisch über die Innenleiter

G3-PLC				
Streckenlänge		Knoten 1	↔	Knoten 2
534 m*	TCP	37,6 kbit/s	↔	35,1 kbit/s
0/127/0/407	Round-Trip-Time	168 ms	↔	154 ms
616 m	TCP	27,8 kbit/s	↔	27,5 kbit/s
0/0/0/616	Round-Trip-Time	154 ms	↔	164 ms
771 m	TCP	19,2 kbit/s	↔	29,9 kbit/s
125/610/4/32	Round-Trip-Time	180,7 ms	↔	166,5 ms
3030 m	TCP	24,2 kbit/s	↔	26,8 kbit/s
0/0/0/3030	Round-Trip-Time	177 ms	↔	194 ms
BPL				
Streckenlänge		Knoten 1	↔	Knoten 2
534 m	TCP	41 Mbit/s	↔	42 Mbit/s
	Round-Trip-Time	2,04 ms	↔	2,06 ms
616 m	TCP	12,1 Mbit/s	↔	26,8 Mbit/s
	Round-Trip-Time	2,2 ms	↔	2,6 ms
771 m	Keine Verbindung möglich			
3030 m	Keine Verbindung möglich			
Streckenanteile NKBA/NAKBA/NAKLEY/NA2XS(FL)2Y				

Tafel 1: Ergebnistabelle der vier Teststrecken

gekoppelt. Die Datenrate lag gemäß Ergebnistabelle (*Tafel 1*) zwischen 12 und 42 Mbit/s. Die Pingzeit (RTT) lag bei BPL-typischen Werten von 2 bis 3 ms. Spiegelt man die Ergebnisse an der Darstellung der durchschnittlichen Streckenentfernung (*Bild 5*), so lässt sich leicht abschätzen, in welchen Versorgungsbereichen welche Technologie erfolgreich eingesetzt werden könnte.

G3-PLC liefert somit eine dem digitalen Bündelfunk nach Terrestrial Trunked Radio (Tetra) über die Luftschnittstelle vergleichbare Datenrate und Reichweite, während mit der BPL-Technologie nach dem Standard IEEE1901 eine dem digitalen Bündelfunk nach CDMA450 überlegene Datenübertragungsrate erzielbar ist, derzeit aber noch nicht dessen Reichweite erzielt wird.

In Bezug auf die Datenrate von kabelgebundenen, nichtöffentlichen Telekommunikationsleitungen auf Basis VDSL2+ ist die BPL-Modemtechnologie gut vergleichbar. Lichtwellenleiter sind unbestritten technisch die leistungsfähigste Kommunikationsverbindung. Allen derartigen, über nichtöffentliche Telekommunikationsleitungen betriebenen Übertragungsverfahren ist jedoch gemeinsam, dass diese entweder auf bereits vorhandener Infrastruktur aufbauen müssen oder erst baulich erschlossen werden müssen – eben das ist für die Datenübertragung auf den Stromversorgungsleitungen mit G3-PLC oder BPL nicht erforderlich.

Da die Ankopplung in elektrischen Betriebsräumen vorgenommen wird und der Zugang Dritter zu den Mittelspannungskabelnetzen nahezu ausgeschlossen ist, hat diese Form der Einkopplung systemisch ein hohen Eigenschutz vor unerlaubten Zugriff Dritter.

Rechtliche Aspekte

Der Gesetzgeber hat im § 70 Abs. 1 Satz 1 Telekommunikationsgesetz (TKG) ausdrücklich geregelt, dass Eigentümer und Betreiber öffentlicher Versorgungsnetze ihre passiven Netzinfrastrukturen Eigentümern und Betreibern öffentlicher Telekommunikationsnetze für den Ausbau digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze zur Mitbenutzung

anbieten dürfen. Bei passiven Netzinfrastrukturen handelt es sich um solche, die andere Netzkomponenten aufnehmen sollen, also z.B. um Leerrohre (§ 3 Nr. 17 b TKG).

Die Mitnutzung darf sogar nur abgelehnt werden, wenn einer der Versagungsgründe nach § 77g TKG vorliegt. Die Mitbenutzung darf dabei grundsätzlich nur aus objektiven, transparenten und verhältnismäßigen Gründen verweigert werden (vgl. Erläuterungen zu Art. 3 der Kostensenkungsrichtlinie). Da das Aufprägen von Signalen über Powerline jedoch über nicht passive Netzinfrastrukturelemente, wie hier vorliegend Stromkabel selbst, erfolgt, ist ein berechtigter Anspruch aus dem TKG erst einmal nicht ableitbar. Dies ist insofern auch zu begrüßen, da die hier untersuchte Powerline-Technik an aktiven Betriebsmitteln erfolgt, bei denen bei nicht fachkundigem Umgang erhebliche Gefahren, z. B. durch Stromschlag, drohen.

Die Konzessionsverträge räumen Netzbetreibern das Recht ein, öffentliche Wege zum Zwecke des Betriebes und der Verlegung von Anlagen, die zum Stromversorgungsnetz der allgemeinen Versorgung gehören, zu nutzen. Ebenso ist damit in der Regel auch die Verlegung notwendigen Zubehörs inbegriffen. Insofern sollte die Nutzung von Stromkabeln mit Powerline-Anwendungen zum Zwecke der Stromversorgung durch Netzbetreiber allgemein durch Konzessionsverträge gedeckt sein.

In Verbindung mit dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) könnte es bei wirtschaftlicher und technischer Eignung sogar geboten sein, Powerline-Lösungen im verstärkten Maße anzuwenden. Hierzu muss aber die Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit sowie Sicherheit derartiger Lösungen ausreichend nachgewiesen sein sowie auch andere Alternativen berücksichtigt werden.

Ob und wie die Konzessionsgeber die Nutzung der Infrastruktur von Netzbetreibern durch Dritte zum Zwecke des Datentransports mittels Powerline vertraglich behandeln werden, ist zum heutigen Zeitpunkt unklar.

Ob Messstellenbetreiber berechtigt sind, zur Messdatenübertragung gegen ein angemessenes und

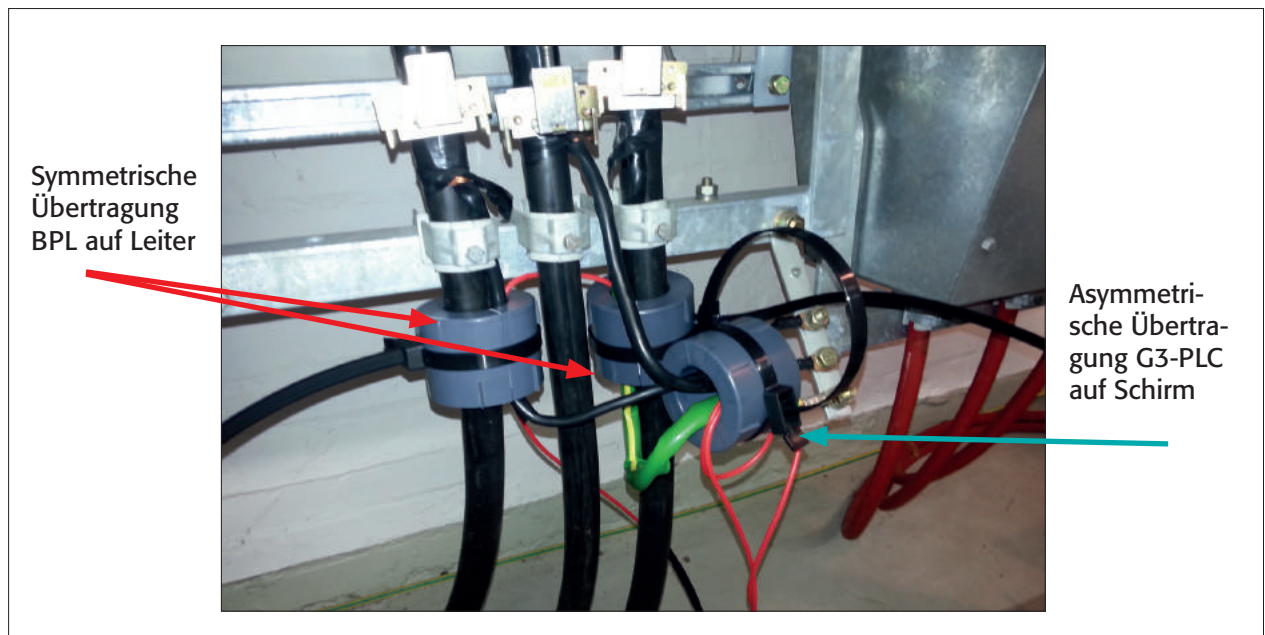


Bild 6: Praktische Ausführung der verschiedenen Kopplungstechniken unterhalb 10-kV-Schaltzelle im Kabelanschlussraum

diskriminierungsfreies Entgelt, Zugang zum Verteilnetz des Netzbetreibers nach dem Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (Messstellenbetriebsgesetz) zu erhalten, erscheint derzeit für Powerline-Anwendungen fraglich. Dies ist dadurch begründet, dass zumeist die Netzbetreiber für ein möglicherweise rasant ansteigendes Datenaufkommen in der Zukunft entsprechende Ressourcen für einen sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb selbst benötigen. Dem steht gegenüber, dass es grundsätzlich möglich ist, in verschiedenen Frequenzbereichen Datenübertragungen mit Powerline realisieren und somit eine gewisse Trennung der Nutzer haben zu können.

Zudem ist fraglich, ob bezüglich verschiedener Powerline-Anwendungen ein Netzbetreiber den Betrieb »kritischer Infrastrukturen« den Diensten von Dritten unterstellen darf. Hier steht man am Anfang der weiteren Entwicklung und muss im Zusammenhang mit der Nutzung derartiger Anwendungen im Bereich der Mittelspannung Erfahrungen sammeln.

Ferner ist zu bedenken, dass § 12 Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) keine Duldungspflicht

des jeweiligen Grundstückseigentümers für Komponenten von digitalen Hochgeschwindigkeitsnetzen zu anderen Zwecken als der Stromversorgung beinhaltet. TK-Betreiber müssten dann ggf. neben einer Mitverlegungs- und Mitnutzungsvereinbarung zwischen dem Netzbetreiber und ihm auf Privatgrundstücken die Grundstücksbenutzungsrechte zusätzlich durch schuldrechtliche Verträge und/oder entsprechende Dienstbarkeiten mit dem Grundstückseigentümer absichern, sofern der TK-Betreiber sich nicht auf eine anderweitige gesetzliche Grundlage für die Mitnutzung privater Grundstücke berufen kann.

Diese Frage stellt sich vor allem dann, wenn zur Übertragung von Powerline-Signalen über größere Entfernungen ggf. in den Versorgungsräumen der Netzbetreiber auch typischerweise Mittelspannungskundenanlagen eingeschleift sind und diese mitbenutzt werden müssten.

Ausblick

Die Digitalisierung des Stromnetzes wird weiter zunehmen. Die Übertragung von Powerline-Signalen über mehrere Netzstationen hinweg wird erforderlich sein und

ist grundsätzlich technisch problemlos möglich. Mitunter werden Repeater in einzelnen Netzstationen benötigt. Zwischen den Stationen sind sie nicht erforderlich. Die G3-PLC-Technologie absolviert sehr hohe Reichweiten und auch bei BPL gibt es vielversprechende Technologie-Varianten, die eine ausreichende Netzabdeckung gewährleisten können.

Für die Erweiterung und den Ersatz alter Kabel werden die Netzbetreiber zukünftig moderne Einleiter-Kunststoffkabel verwenden. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass das nutzbare Potenzial für Powerline-Anwendungen weiter steigen wird.

Die verwendeten induktiven Koppler überzeugten im Feldtest durch ihren sehr geringen Platzbedarf und eine optimale Signaleinkopplung. Wird Powerline-Technik in Mittelspannungsschaltanlagen vermehrt eingesetzt, sollte dennoch anlageseitig auf einen ausreichenden Montagebereich geachtet werden.

Die Partner beabsichtigen einen weiteren Feldversuch zu realisieren, um das BPL-Modem für die Mittelspannung weiter zu optimieren. Im nächsten Schritt setzt devolo auf den internationalen Standard ITU-T G.9960 (»G.hn«). G.hn nutzt für hochverfügbare Da-

tenverbindungen auf Mittelspannungsleitungen den optimalen Frequenzbereich zwischen 2 und 6 MHz bestmöglich aus. Es ist aber zugleich in der Lage, den gesamten Übertragungs-Frequenzbereich bis 25 MHz für maximale Datenraten auszunutzen. Im Vergleich zu anderen BPL-Technologien gewährleistet G.hn eine stabile Datenverbindung, auch auf schwierigen Kabelstrecken. Dies wird unterstützt durch die Einführung der Mimo-Technologie (Multiple Input Multiple Output):

Mimo nutzt in Erweiterung der bisherigen breitbandigen PLC-Technologien alle Leiter des Mittelspannungsnetzes zur Datenübertragung. Es wird eine wesentlich bessere Toleranz gegenüber Kabelmuffen erwartet. Mit prognostizierten Reichweiten von 1,2 km in der Praxis könnte diese breitbandige Powerline-Technologie den Großteil der Anwendungen auf der Mittelspannung im städtischen Bereich abdecken.

Georg.Offner@devolo.de

www.devolo.de/smart

oluft@eichhoff.de

www.eichhoff.de

ralf.niechziol@stromnetz-hamburg.de

www.stromnetz-hamburg.de

joerg.reuschel@stromnetz-hamburg.de

www.stromnetz-hamburg.de