

Untersuchungen an Smart Metern mit G3-Kommunikation

Margarethe Malek, Daniel Ketel, Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch, Mike Trautmann
Universität Duisburg-Essen, Bismarckstr. 81, 47057 Duisburg, Deutschland
Sebastian Ponzelar, Dr.-Ing. Michael Koch
devolo AG, Charlottenburger Allee 60, 52068 Aachen, Deutschland

1 Einleitung

Bei Smart Metern handelt es sich um Energieverbrauchszähler, welche die verbrauchte Energie zur tatsächlichen Nutzungszeit erfassen und mithilfe einer Kommunikationsanbindung an die Energieversorger und die Verbraucher übertragen. Dies dient einerseits dazu den Versorgungsunternehmen die schwer vorhersehbare dezentrale Energieeinspeisung, durch zum Beispiel Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, sichtbar zu machen, andererseits Spitzenlasten durch eine Tarifsteuerung zu senken.

Die Daten können zum Beispiel via Glasfaser, Funk oder Power Line Communication (PLC) übertragen werden. Die powerline-basierte Datenübertragung als Kommunikationsvariante bietet den Vorteil das bereits vorhandene Energienetz zu nutzen und somit eine einfache und kostengünstige Datenübertragung sowohl für die Verbraucher als auch für die Erzeuger zu schaffen.

Derzeit nutzen Smart Meter zur Kommunikation oft den Frequenzbereich zwischen 3 kHz und 148,5 kHz, die sogenannten CENELEC-Bänder (nach EN 50065-1 [1]). Die Kommunikation kann aber auch mit Hilfe des G3-Standards in dem Frequenzbereich zwischen 150 kHz und 500 kHz erfolgen. Dabei handelt es sich um ein offenes Protokoll für Smart Grids, das auf dem orthogonalen Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) basiert. Voraussetzung für diese Technik ist, dass Zähler mittels G3-PLC in diesem Frequenzbereich kommunizieren können, ohne dass hierdurch die Energiezählung gestört wird. Zudem dürfen andererseits die netzseitigen Störer in diesem Frequenzbereich weder die Energiezählung noch die Kommunikation beeinträchtigen.

2 Smart Meter und deren Regulierung

Grundsätzlich gelten für Smart Meter die Grundnormen DIN EN 50470-1-3 [2], die generell für Elektrizitätszähler gelten: In ihnen sind sowohl Prüfungen für mechanische, klimatische und elektrische Anforderungen vorhanden als auch für die Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Die in dieser Norm aufgelisteten Prüfungen beziehen sich dabei auf die jeweiligen EMV-Grundnormen (die EN 61000-4 Reihe).

Die Softwareanforderungen sind im WELMEC-Leitfaden (Europäische Zusammenarbeit im gesetzlichen Messwesen) beschrieben und die Richtlinien bezüglich der Datensicherheit sind in den technischen Richtlinien des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) vorgeschrieben.

Die Wechselstromzähler-Grundnormen DIN EN 50470-1-3 decken allerdings nicht alle EMV-Problematiken ab. Ein Beispiel sind die fehlenden Prüfungen in dem Frequenzbereich von 2 kHz bis 150 kHz. Stromanteile in diesem Frequenzbereich können unter anderem durch Wechselrichter verursacht werden. Untersuchungen des Fraunhofer Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik haben ergeben, dass einige Elektrizitätszähler in Verbindung mit einigen Photovoltaik- Wechselrichtern Funktionsstörungen aufweisen, obwohl die Zähler normativ überprüft worden waren [3]. Das Problem waren fehlende Störfestigkeitsanforderungen in dem oben genannten Frequenzbereich. Dieses Problem wurde 2015 mit der IEC-Norm 61000-4-19 [4] mit einem genauen Prüfverfahren für Elektrizitätszähler gelöst.

Der Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz wird durch die EN 55011 bis EN 55022 in Hinblick auf den Störspannungsgrenzwert geregelt. Des Weiteren sollen die Störfestigkeitsanforderungen für diesen Frequenzbereich in der kommenden IEC 61000-4-31 festgelegt werden [5]. Diese bildet leitungsgeführte breitbandige Störer ab, die zum Beispiel durch die PLC-Übertragung entstehen. Daher eignet sich diese Norm zur Überprüfung inwieweit das G3-PLC-Signal einen Einfluss auf die Zählgeneauigkeit hat. In dieser Arbeit wird zur Vereinfachung der Prüfungen ein G3-PLC-ähnliches Signal erarbeitet und die Zählfunktion untersucht.

3 Störfestigkeit gegen G3-PLC-Signale angelehnt an dem CDV zur IEC 61000-4-31

Die IEC CDV 61000-4-31 beschreibt die Prüfung der Störfestigkeit gegenüber breitbandigen leitungsgeführten Störgrößen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 80 MHz. Diese Störgrößen werden durch ein Koppelnetzwerk an den Wechselstromnetzanschlüssen der Geräte eingespeist und dem eigentlichen Netzsignal überlagert. Die Norm legt drei Prüfschärfepegel und einen Weiteren für besondere Anwendungsfälle fest.

3.1 Aufbau zur Zählerprüfung

Zur Prüfung der Zähler wird einerseits das nach Norm vorgegebene Signal abgewandelt und andererseits auch der Prüfaufbau. Abbildung 1 zeigt den abgewandelten Prüfaufbau. Er beinhaltet einen Strom- und einen Spannungspfad zur Leistungsmessung. Im Strompfad sind das Normal und der Prüfling in Reihe geschaltet, im Spannungspfad sind

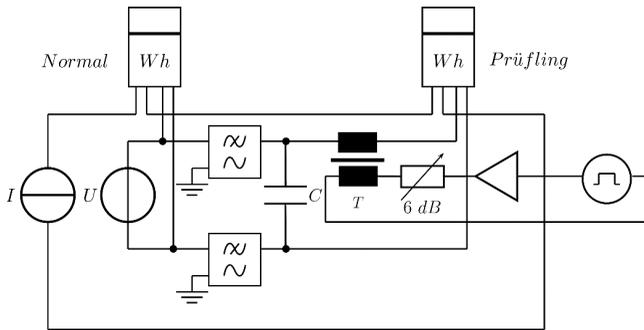


Abbildung 1: Abgewandelter Prüfaufbau

sie parallel zueinander. Im Prüflingspfad wird das Störsignal sowohl als Gleichtakt- als auch als Gegentakt-signal induktiv eingekoppelt. Damit das Normal nicht mit diesen Störungen beaufschlagt wird, wird ein Filter benutzt. Die Speisung des Kopplers erfolgt über einen Signalgenerator mit einem Verstärker.

3.2 Signal zur Prüfung der Zähler

Die zukünftige IEC 61000-4-31 beschreibt ein Verfahren zur Prüfung der Störfestigkeit in dem Frequenzbereich 150 kHz bis 80 MHz. Dazu muss auf das reguläre Betriebssignal des Prüflings ein Störsignal aufaddiert werden. Hinsichtlich dieses Störsignales gibt es jedoch einige Vorgaben. So soll das Signal im Frequenzbereich im gesamten Prüf-

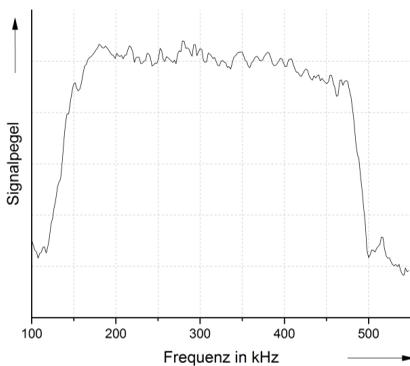


Abbildung 2: G3-PLC-Signal

frequenzspektrum über ein konstantes Leistungsdichtespektrum verfügen. Das Breitbandsignal muss sich in einem Bereich von ± 3 dB um den geforderten Signalpegel bewegen. Die Flanken an den Frequenzbereichsenden müssen mit mindestens 720 dB pro Dekade abfallen. In dieser Arbeit soll die Störfestigkeit von Zählern gegenüber dem nachgestellten G3-PLC-Signal untersucht werden, dessen Spektrum exemplarisch in Abbildung 2 dargestellt ist.

Ferner sind drei Pegel verschiedener Störleistungsdichten P_{SD} vorgegeben. Für den G3-Frequenzbereich ergeben sich nach [5] mit

$$P_{TF} = P_{SD} + 10 \log \left(\frac{f_{stop} - f_{start}}{1 \text{ Hz}} \right) \quad (1)$$

folgende Pegel P_{TF} : Pegel 1: -5 dBm; Pegel 2: 5 dBm; Pegel 3: 15 dBm.

Da die 6100-4-31 jedoch eine Grundnorm ist und die 55470-3 für elektronische Zähler bislang keinen Bezug zu dieser Norm hat und daher die Prüfung nicht vorsieht, ist keiner der drei Pegel für die in dieser Veröffentlichung beschriebene Prüfung verbindlich. Daher sind sämtliche Messungen für alle drei Pegel durchgeführt worden. Handelsübliche G3-PLC-Modems besitzen jedoch eine Sendeleistung von ca. 23 dBm, deshalb sind die Messungen zusätzlich mit einem erhöhten Störleistungspegel von 29 dBm durchgeführt (Pegel 4) worden. Die 61000-4-31 sieht einen Unsymmetriedämpfung (LCL) von 16 dB vor. Bei der hier vorgestellten Prüfung sind die oben genannten Pegel sowohl für das Gleichtakt- (common mode, CM) als auch als auch für das Gegentaktsignal (differential mode, DM) verwendet worden.

Da die beschriebenen Signaleigenschaften, speziell die Flankensteilheit an den Frequenzbandenden, nur mit sehr hohem Aufwand mit analoger Technik zu realisieren gewesen wären, wurden die Störsignale mittels eines Arbiträrgenerators erzeugt. Die Kurvenform ist zuvor mathematisch berechnet worden.

Ein über sämtliche Frequenzen konstantes Leistungsspektrum ist durch ein weißes Rauschen zu erreichen. Dieses kann mit einem Zufallszahlengenerator erzeugt werden. Zur Bandbegrenzung kann das so gewonnene Signal anschließend durch Tiefpassfilterung begrenzt werden. Hierbei muss auf das Kriterium der Flankensteilheit des Signals im Frequenzbereich Rücksicht genommen werden. Wird das Signal mathematisch, durch z. B. Faltung, erzeugt, so besitzen die Flanken theoretisch eine unendliche Steilheit. Um das Signal im Frequenzbereich zu begrenzen, kann es mit Rechtecksignalen im Frequenzbereich multipliziert werden, bzw. mit si-Funktionen ($si(x) = \sin(x)/x$) im Zeitbereich gefaltet werden. Die Grundfrequenzen dieser si-Funktionen bestimmen die Grenzfrequenzen, die Flanken im Frequenzbereich an den Frequenzbandenden besitzen eine unendliche Steilheit. Das resultierende Signal im Zeitbereich ist normiert in Abbildung 3 dargestellt.

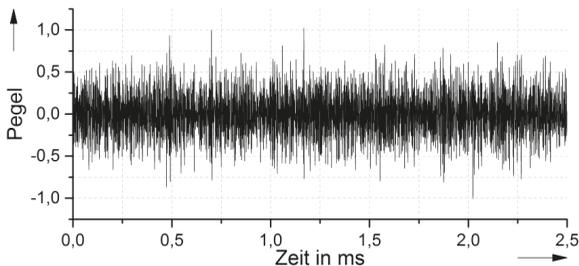


Abbildung 3: Erzeugtes Signal im Zeitbereich

3.3 Einkoppeln des Prüfsignals

Das so erzeugte Signal muss nun noch mit der entsprechenden Leistung in den Prüfaufbau eingekoppelt werden. Das Signal wird für den Signalgenerator mit einer Samplingrate von 50 MSa/s und einer Vertikalaufösung von 14 Bit berechnet, was für das Signal mit einer oberen Grenzfrequenz von 500 kHz ausreichend hoch ist. Als Übertrager kommt ein bewickelter Ringkern zum Einsatz. Der Frequenzgang des genutzten Übertragers in dem betreffenden Frequenzbereich ist in Abbildung 4 dargestellt. Ein HF-Verstärker verstärkt das Signal des Signalgenerators um etwa 47 dB. Die Verstärkung ist über den gesamten Prüffrequenzbereich von 150 kHz bis 500 kHz als konstant zu betrachten. Zum Schutz des Verstärkers vor eventuellen Rückkopplungen, und gleichzeitig als 50-Ohm-Abschluss, befindet sich am Ausgang des Verstärkers ein Dämpfungsglied mit einer Dämpfung von 6 dB. An dem Ausgang des Dämpfungsgliedes ist der bewickelte Ringkern, welcher zur Einkopplung genutzt wird, angeschlossen. Als Sekundärseite des Wandlers wird die Zuleitung des Spannungspfad des Zählers durch den Ringkern geführt. Um die so eingespeiste Störleistung zu überprüfen wird an Stelle des Zählers ein Spektrumanalysator angeschlossen. Die eingespeisten Sendeleistungen sind je nach gefordertem Pegel in Abbildung 5 dargestellt.

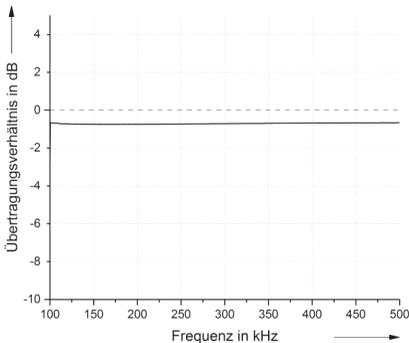


Abbildung 4: Frequenzgang des Übertragers

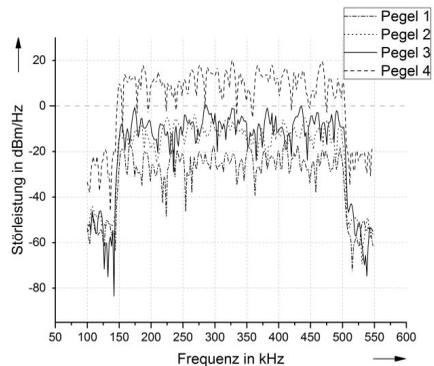


Abbildung 5: Einkoppelte Signale

4 Versuchsergebnisse

Insgesamt sind fünf Smart Meter von unterschiedlichen Herstellern überprüft worden. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 6 bis 10 abgebildet. Die Zähler sind zunächst ohne Störung und dann mit den oben genannten Prüfpegeln getestet worden. Diese sind auf der x-Achse dargestellt. Die Messgenauigkeit des Normals liegt bei +/- 0,2 %. Alle Zähler

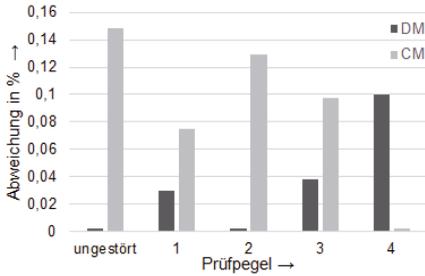


Abbildung 6: Zähler 1, Genauigkeitsklasse 1 %

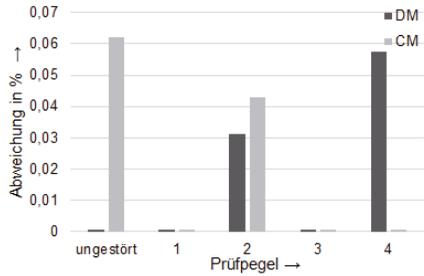


Abbildung 7: Zähler 2, Genauigkeitsklasse 0,2 %

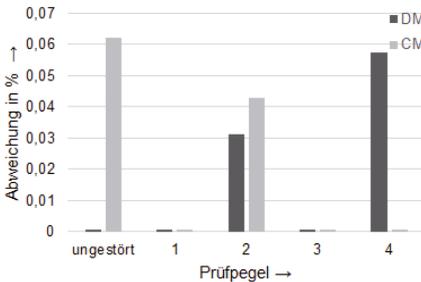


Abbildung 8: Zähler 3, Genauigkeitsklasse 1 %

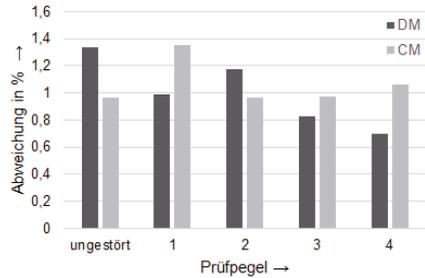


Abbildung 9: Zähler 4, Genauigkeitsklasse 2 %

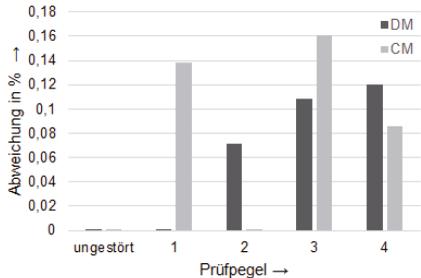


Abbildung 10: Zähler 5, Genauigkeitsklasse 1 %

bleiben im Rahmen ihrer angegebenen Messgenauigkeit. Zudem zeigt sich kein Unterschied bezüglich der Einkopplungsvariante.

Bei Zähler 1 ist auch die gleichzeitige G3-Kommunikation überprüft worden. Diese ist bis Pegel 3 nicht beeinträchtigt worden. Bei dem erhöhten Pegel von 29 dB ist die Datenrate zwar beeinträchtigt, die Kommunikation aber weiterhin erfolgt. Nach der EN 50470 darf der kritische Änderungswert für die Genauigkeitsklasse B beim Betrieb von Zusatz-

einrichtungen nicht +/- 0,5 % überschreiten. Auch diesen Wert hält der Zähler trotz Kommunikation ein.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass Smart Meter mit G3-Funktionalität möglich sind und dass diese Funktionalität nicht die Zählgeneauigkeit stören muss. Alle untersuchten Zähler blieben im Rahmen ihrer angegebenen Messgenauigkeit.

Die Untersuchungen beziehen sich auf ein G3-PLC-Signal. Es könnten allerdings andere Störsignale in diesem Frequenzbereich die Zählfunktion bzw. die Kommunikation stören. Um das zu überprüfen könnten in Zukunft detaillierte Untersuchungen an Zählern mit unterschiedlichen Signalvarianten als Störsignal durchgeführt werden.

Alle Zähler sind im einphasigen Betrieb getestet worden. Zukünftig sollte auch der dreiphasige Betrieb mit unterschiedlichen Störeinkopplungen getestet werden.

6 Literaturverweise

[1] DIN EN 50065-1: Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz; Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Frequenzbänder und elektromagnetische Störungen, 2012-01

[2] DIN EN 50470-1-3:2007-05: Wechselstrom-Elektrizitätszähler, 2007-05

[3] Jörg Kirchhof: Grenzwertlücke – Wechselrichter stört Elektrizitätszähler. In: EMV 2010 – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit. VDE Verlag, 20100

[4] DIN EN 61000-4-19:2015-03: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-19: Prüf- und Messverfahren - Prüfung der Störfestigkeit an Wechselstrom-Netzanschlüssen gegen leitungsgeführte symmetrische Störgrößen und Störgrößen aus der Signalübertragung im Frequenzbereich von 2 kHz bis 150 kHz, 2015-03

[5] OEVE/OENORM EN 61000-4-31:2015-05-01, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-31: Testing and measurement techniques - AC mains ports broadband conducted disturbance immunity test (IEC 77B/726/CDV)