

# Messverfahren und Grenzwerte für Störfestigkeitsprüfungen im Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz

Dr. Ralf Heinrich, Teseq GmbH, Entwicklung  
Dipl.-Ing. Jörg Kirchhof, Fraunhofer IWES, Bereich Anlagentechnik und  
Verteilungsnetze  
Dr. Bernd Jaekel, Siemens AG, Sector Industry, EMC-Center

## Kurzfassung

Aufgrund neuer technischer Entwicklungen rückt der Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz zunehmend in den Blickpunkt des Interesses. Das liegt einerseits an einer verstärkten Nutzung dieses Bereiches, z.B. für Datenkommunikation zur Fernabfrage intelligenter Elektrizitätszähler und für andere Anwendungen, wobei das Niederspannungsnetz selbst für die Datenübertragung benutzt wird. Mit der Nutzung dieses Netzes als Übertragungsweg ist andererseits aber auch eine mögliche Anfälligkeit für Störungen verbunden, beispielsweise durch Aussendungen von leistungselektronischen Geräten, wie Wechselrichter von Solaranlagen. Diese Wechselbeziehungen sind Gegenstand von EMV-Untersuchungen in diesem Frequenzbereich mit dem Ziel, eine unerwünschte Beeinflussung zu vermeiden. Die derzeit noch bestehende Normungslücke soll in Bezug auf die Störfestigkeit gegenüber differentiellen Störsignalen im Bereich 2 kHz bis 150 kHz mit der Norm IEC 61000-4-19 geschlossen werden. Der Normentwurf der IEC 61000-4-19 [1] befindet sich derzeit im Bearbeitungsstand eines CDV (Committee Draft for Vote). Im Rahmen des Beitrags soll über den aktuellen Stand der Normung, die Messverfahren und Grenzwerte berichtet werden.

## 1. Einleitung

Seit mehreren Jahrzehnten erarbeiten die beiden internationalen EMV Komitees IEC TC 77 und IEC CISPR Anforderungen an Produkte, damit bei einem späteren Einsatz dieser Produkte in einer Installation die elektromagnetische Verträglichkeit sichergestellt ist. Die detaillierte Festlegung dieser Anforderungen orientiert sich an den Eigenschaften der elektromagnetischen Umgebung, für deren Einsatz die betreffenden Produkte gedacht sind.

Die elektromagnetische Umgebung ist allerdings keine konstante, gleichbleibende Ansammlung elektromagnetischer Phänomene, sondern sie ändert sich kontinuierlich. Solche Änderungen können beispielsweise darin bestehen, dass neue Technologien eingeführt werden, sich ausbreiten und die von ihnen erzeugten elektromagnetischen Phänomene zu einem höheren Störpegel führen, der bis dato in den Störfestigkeitsanforderungen nicht berücksichtigt war. Insofern muss mit der Änderung der elektromagnetischen Umgebung auch die Notwendigkeit neuer, bzw. erweiterter EMV-Normen kontinuierlich diskutiert werden; dies betrifft sowohl Normen im Bereich der Störaussendung mit der Erarbeitung von Grenzwerten als auch Normen im Bereich der Störfestigkeit mit der Spezifikation der notwendigen Immunität. Historisch wurden daher EMV-Normen zuerst in denjenigen

Frequenzbereichen oder für diejenigen Phänomene erarbeitet, bei denen die Notwendigkeit zum jeweiligen Stand der technischen Entwicklung vorlag. Der Frequenzbereich von 2 kHz bis 150 kHz war von dieser Notwendigkeit lange ausgenommen, einerseits weil keine relevanten Störquellen in diesem Bereich aktiv waren und andererseits der Frequenzbereich selbst auch nur in geringem Maße für die Ausbreitung von Nutzsignalen verwendet wurde. Insofern gab es bis in die jüngste Vergangenheit keine Aussendungs- oder Störfestigkeitsnormen, die Anforderungen in diesem Frequenzbereich spezifizierten.

Durch den zunehmenden Einsatz von leistungselektronischen Komponenten und Geräten, wie beispielsweise getakteten Netzteilen, drehzahlveränderbaren Antrieben oder Wechselrichter für Photovoltaikanlagen nahm die Zahl der potentiellen Störquellen in diesem Frequenzbereich zu, da deren Taktfrequenzen und ihre Vielfachen in diesen Bereich fallen. Im Anfangsstadium dieses zunehmenden Einsatzes war die Störproblematik im Wesentlichen auf Antriebe im Industriebereich beschränkt, wobei die vorwiegenden Störmechanismen asymmetrischer Natur waren, d.h. die mit dem Betrieb solcher Geräte verbundenen Störgrößen wurden auf benachbarte Leitungen beziehungsweise in das Potentialausgleichssystem eingekoppelt. Der erste Schritt bestand damals folgerichtig in der Erarbeitung einer Störfestigkeitsnorm gegen asymmetrische Störgrößen, die Norm DIN EN 61000-4-16 [2].

Mittlerweile wird dieser Frequenzbereich zunehmend auch für die Kommunikation verwendet, z.B. für die Fernauslesung von elektrischen Energiezählern („Smart Metering“). Das führt zu der Situation, dass mögliche, gegenseitige Beeinflussungen auch die symmetrische Ausbreitungssituation betrachten müssen. Um diese Situation beherrschbar zu machen, mit dem Ergebnis, dass alle an das Versorgungsnetz angeschlossenen Geräte, seien es potentielle Störquellen oder Störsenken, elektromagnetisch verträglich arbeiten, wird es notwendig sein, sowohl Anforderungen an die Störaussendung als auch an die Störfestigkeit der Geräte zu stellen. Während die Thematik der Grenzwerte für Störaussendungen derzeit auf internationaler Ebene noch kontrovers diskutiert wird <sup>1</sup>, erarbeitet eine Arbeitsgruppe des EMV Komitees IEC SC 77 A bereits eine Störfestigkeitsnorm gegen solche symmetrischen Störgrößen im Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz. Das Projekt IEC 61000-4-19 wurde kürzlich positiv abgestimmt und eine Veröffentlichung der Norm ist in 2014 zu erwarten. Die technischen Inhalte werden im Folgenden detailliert vorgestellt.

## **2. Testequipment nach IEC 61000-4-19 CDV**

### **2.1 Allgemeine Anforderungen**

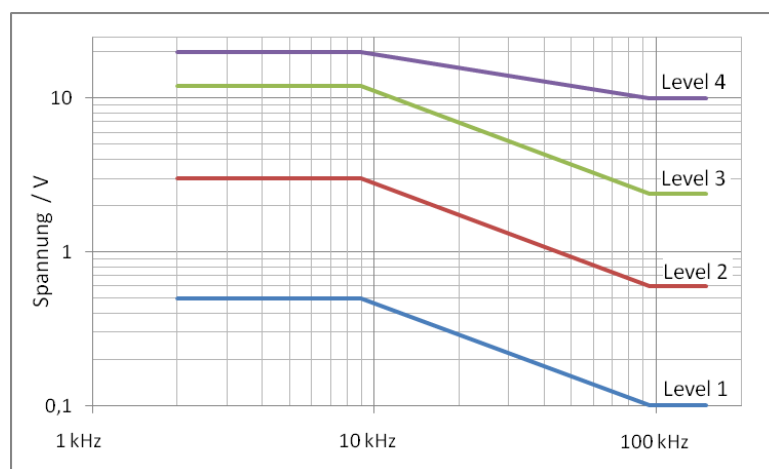
Im derzeit aktuellen Normentwurf zur IEC61000-4-19 wird zwischen Spannungs- und Stromtests unterschieden, die mit jeweils für die entsprechenden Tests spezifizierten Generatoren und Koppelnetzwerken durchgeführt werden.

<sup>1</sup> Für einige wenige Produktgruppen existieren bereits Aussendungsgrenzwerte im Frequenzbereich unterhalb von 150 kHz; dies sind Induktionskochgeräte (behandelt in CISPR 11, CISPR 14-1) und Beleuchtungseinrichtungen (behandelt in CISPR 15).

Der Testgenerator erzeugt die erforderlichen Prüfsignale im Bereich 2 kHz bis 150 kHz mit üblicherweise 2 % Schrittweite. Besonders hervorzuheben ist, dass die Umschaltung zwischen zwei Frequenzschritten einem fest definierten Zeitraster folgen muss. Damit soll bereits für den CW-Test eine pulsmodulationsähnliche Belastung des Prüflings erfolgen. Darüber hinaus sind auch Pulsmodulationen mit verschiedenen Modulationsfrequenzen definiert.

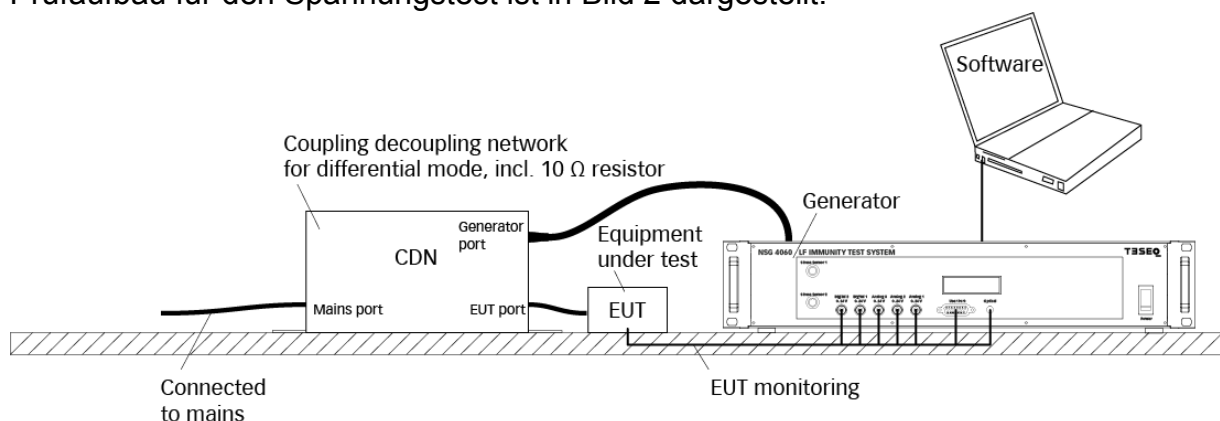
## 2.2 Spannungstest

Die Prüfpegel für den Spannungstest liegen zwischen 0,1 und 20 V und folgen frequenzabhängigen Prüfpegelverläufen. Bild 1 zeigt die Testpegelprofile für den Spannungstest.



**Bild 1:** Testpegelprofile für den Spannungstest nach IEC61000-4-19 CDV

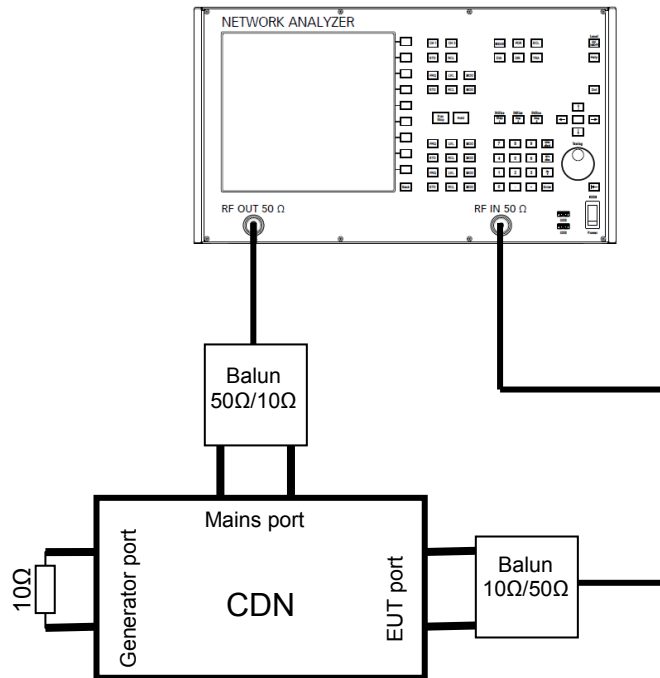
Diese Prüfpegel sind am EUT-Ausgang eines Koppelnetzwerkes (CDN) zu realisieren, welches die Aufgabe hat, an der EUT-Seite eine differentielle Einspeisung des Prüfsignals mit 10 Ohm Innenwiderstand des Generators zu realisieren und gleichzeitig zur Netzseite hin zu entkoppeln. Der schematische Prüfaufbau für den Spannungstest ist in Bild 2 dargestellt.



**Bild 2:** Schematischer Prüfaufbau für den Spannungstest nach IEC 61000-4-19 CDV

Die Eigenschaften des Koppelnetzwerkes müssen entsprechend nachgewiesen werden. Während die Einfügedämpfung des CDN mit der PrüfpegelEinstellung

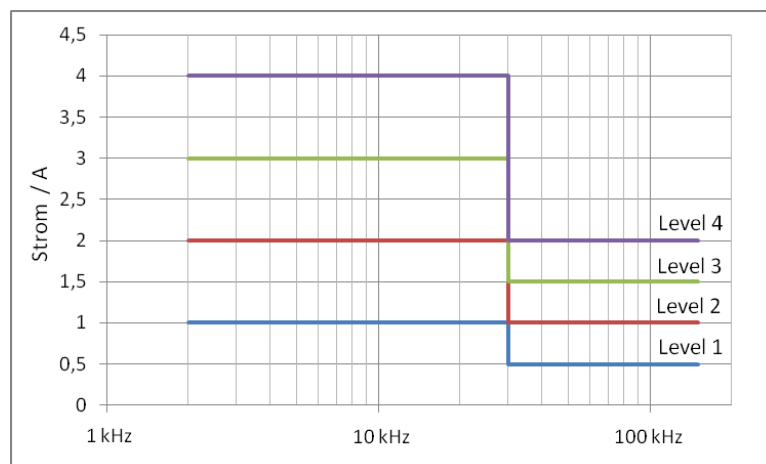
bereits berücksichtigt wird, ist die Entkopplung über eine gesonderte Messung nachzuweisen. Diese wird mit dem in Bild 3 dargestellten Messaufbau über zwei Baluns mit einem Netzwerkanalysator gemessen. Die Baluns haben die Aufgabe der differentiellen Signalanpassung und Impedanztransformation vom 10 Ohm System des CDN an 50 Ohm des Netzwerkanalysators.



**Bild 3:** Messaufbau zur Messung der Entkopplungseigenschaften des CDN

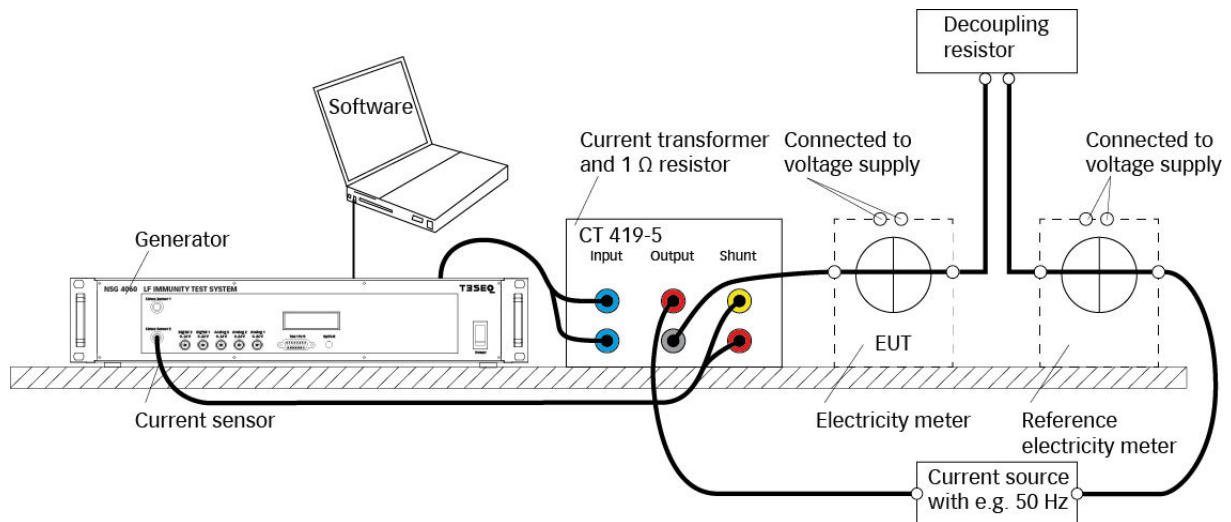
## 2.3 Stromtest

Die Prüfpegel für den Stromtest liegen zwischen 0,5 und 4 A und sind ebenfalls frequenzabhängig. Bild 4 zeigt die Testpegelprofile für den Stromtest.



**Bild 4:** Testpegelprofile für den Stromtest nach IEC 61000-4-19 CDV

Der schematische Prüfaufbau für den Stromtest am Beispiel eines Elektrizitätszählers ist in Bild 5 dargestellt. Über einen Koppeltransformator wird der Störstrom in den Prüfkreis eingespeist, in dem der 50 Hz Nennstrom fließt. Der Referenzzähler ist über eine Entkopplungsimpedanz von der Störgröße entkoppelt.

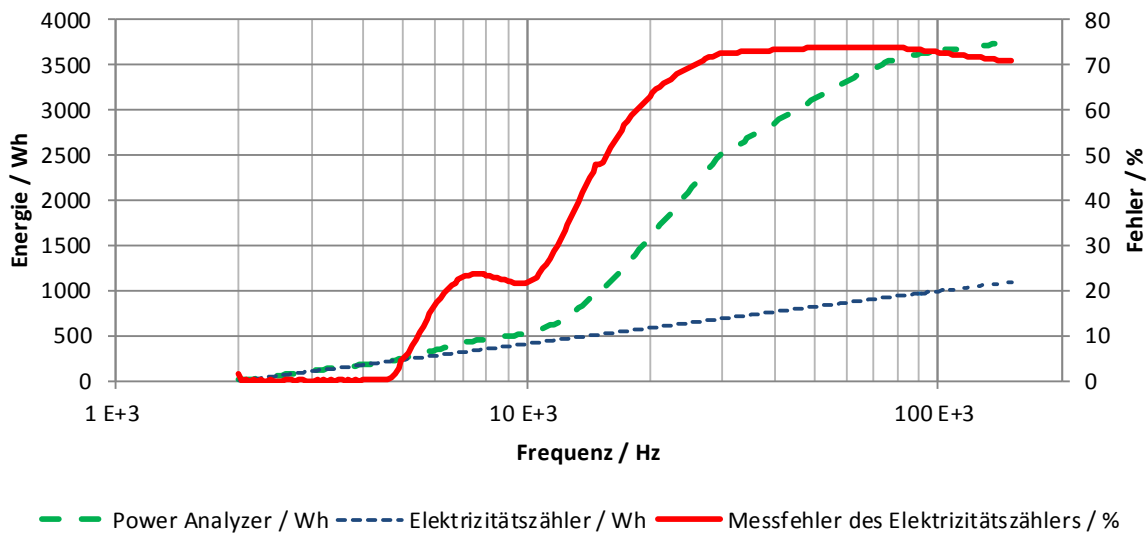


**Bild 5:** Schematischer Prüfaufbau für den Stromtest eines Elektrizitätszählers nach IEC 61000-4-19 CDV

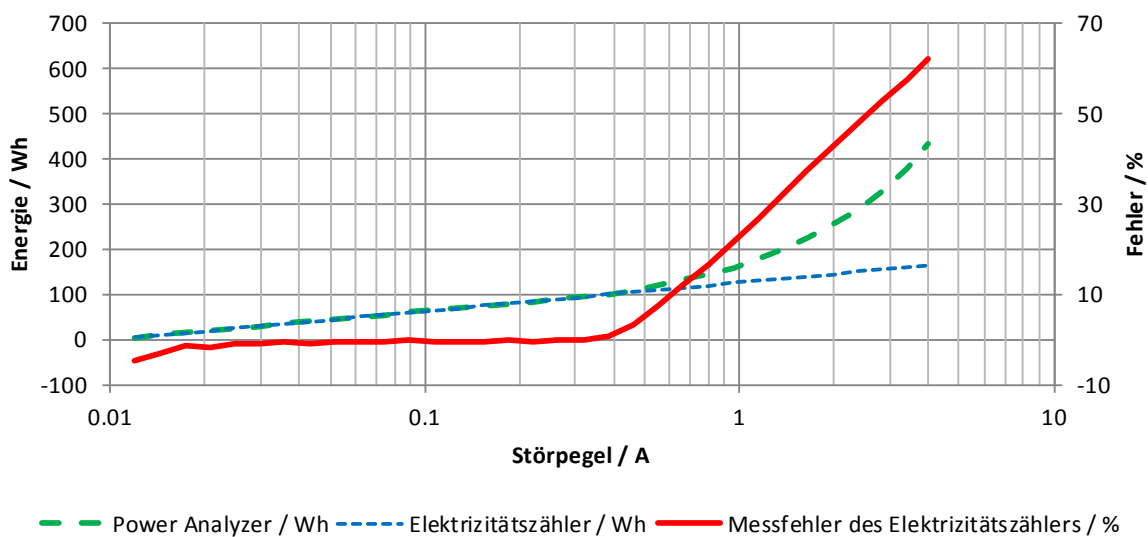
### 3. Anwendungsbeispiel

Im Folgenden wird ein realer Zählertest mit Hilfe des in Bild 5 dargestellten Prüfaufbaus beschrieben. Elektronische Elektrizitätszähler verfügen für jede Phase über einen Stromsensor und einen Spannungssensor. Durch digitale Signalverarbeitung wird aus beiden Sensordaten die jeweilige Augenblicks-Wirkleistung ermittelt und numerisch integriert. Einige auf dem Markt verfügbare Elektrizitätszähler besitzen eine mangelnde Störfestigkeit des Strom-Messkanals [3], insbesondere wenn sie von Rippelströmen getakteter Stromrichter durchflossen werden. Der Prüfaufbau gemäß Bild 5 bildet diesen Störmechanismus nach. Im Gegensatz zu üblichen Störfestigkeits-Prüfverfahren müssen der Messwert des Elektrizitätszählers sowie der als Referenz dienende richtige Wert mit Hilfe eines kalibrierten Referenzzählers oder Power Analyzers ermittelt werden. Da der Elektrizitätszähler über einen geeichten Impulsausgang (optisch oder elektrisch) verfügt, wird dieser für die Ermittlung der Zähler-Messwerte herangezogen. Hieraus folgt jedoch, dass für genaue Messungen mehrere Impulse des Elektrizitätszählers ausgewertet werden müssen. Zusätzlich ist eine Synchronisierung zwischen beiden Energiemessungen notwendig, wenn für jede Testfrequenz eine genaue Aussage über den Messfehler des Elektrizitätszählers gemacht werden soll. In diesem Fall gibt der Elektrizitätszähler das zeitliche Raster der Störfestigkeitsprüfung vor. Je nach Störempfindlichkeit des Elektrizitätszählers kann sich hierdurch die Gesamt-Prüfzeit in weiten Grenzen ändern. Bild 6 zeigt die Prüfergebnisse an einem störempfindlichen Elektrizitätszähler. Einerseits wurde ein Frequenzsweep durchgeführt, bei dem ab einer Störfrequenz von 4 kHz ein aufsummierter Messfehler von 10 % bei einem Störstrom von 3 A auftritt. Der nichtlineare Anstieg der Power

Analyzer Messung wird dadurch hervorgerufen, dass der gestörte Elektrizitätszähler längere Zeit benötigt um eine vorher festgelegte Energiemenge zu erfassen. Andererseits wurde eine Prüfung der Störschwelle durchgeführt. Hierbei erfolgte ein schrittweiser Anstieg des Störpegels beginnend bei 10 mA bis zu einem Endwert von 4 A bei einer Störfrequenz von 30 kHz. Es zeigt sich, dass ab einem Störstrom von 300 mA der Messfehler des Elektrizitätszählers ansteigt. Bei Beginn der Prüfung ist ebenfalls ein scheinbarer Messfehler zu erkennen, dies wird jedoch durch Synchronisationsfehler zwischen Elektrizitätszähler und Power Analyzer kurz nach Initialisierung der Messung hervorgerufen. Nach einigen Prüfschritten ist dieser Synchronisationsfehler behoben.

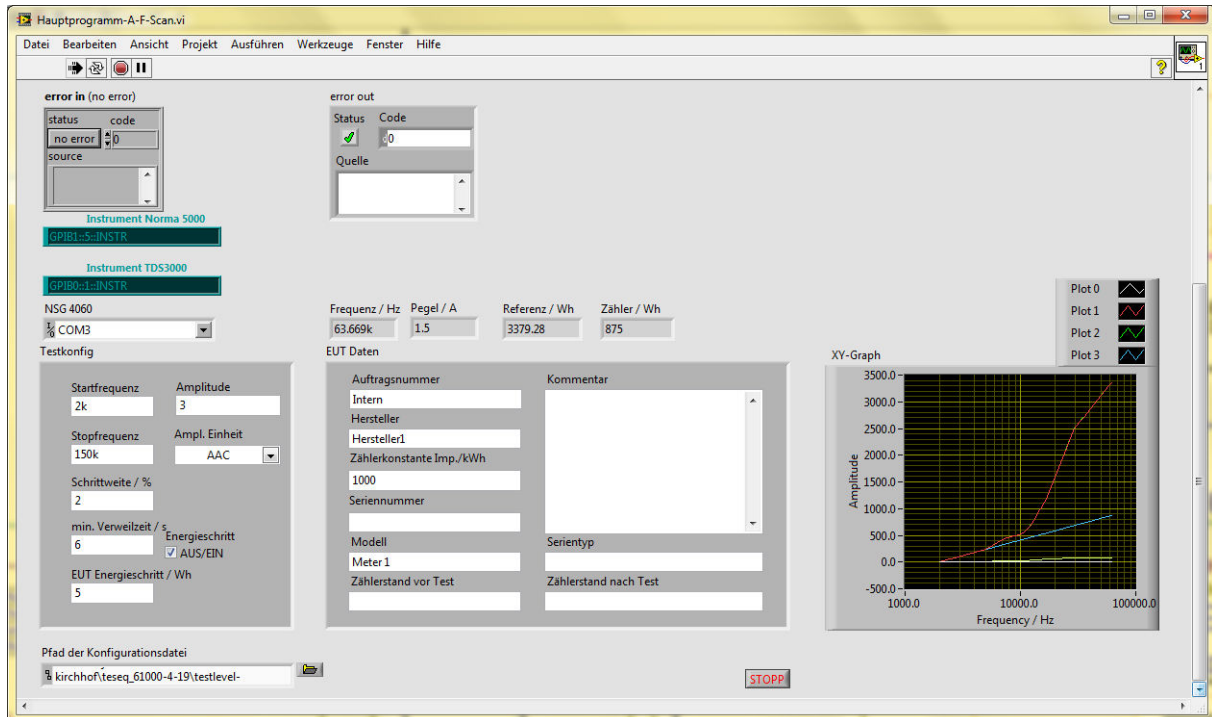


**Bild 6:** Testergebnisse an einem Elektrizitätszähler, Frequenzsweep mit Darstellung der jeweiligen Energiemessung und des Messfehlers seit Start der Messung.



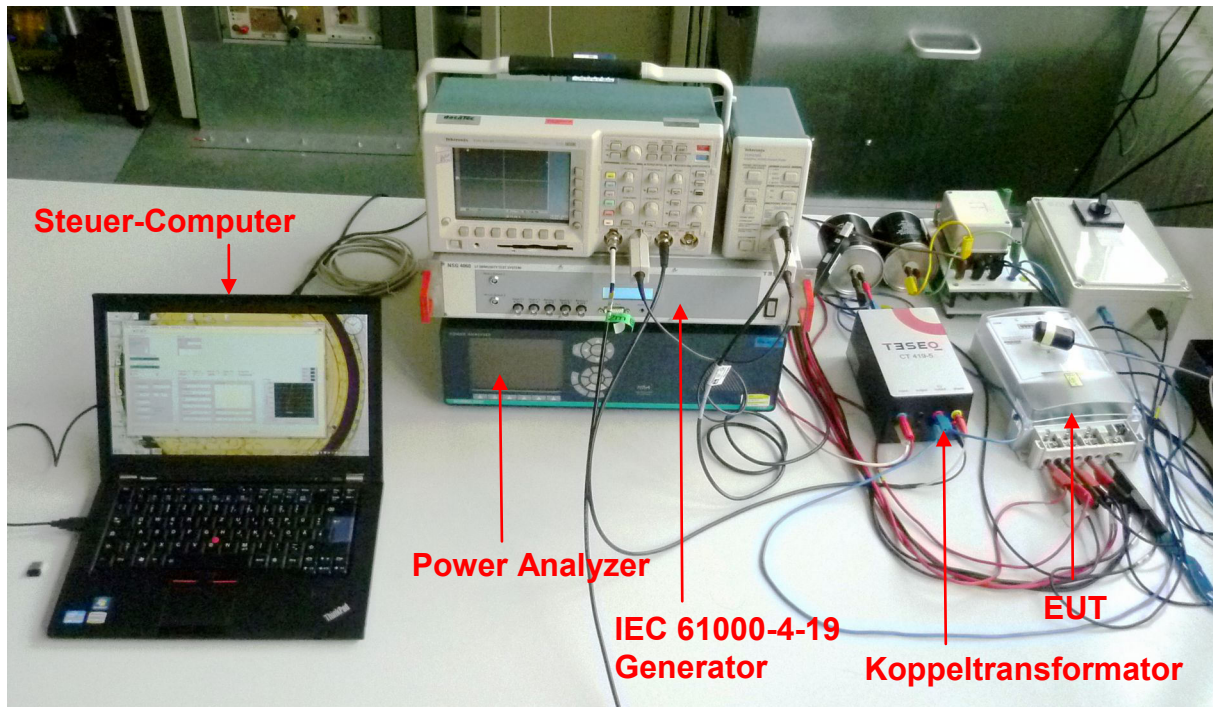
**Bild 7:** Testergebnisse an einem Elektrizitätszähler, Amplitudensweep mit Darstellung der jeweiligen Energiemessungen. Der Messfehler bezieht sich wiederum auf die seit Beginn der Integration auftretenden Abweichungen zwischen EUT und Power Analyzer.

Bild 8 zeigt die Bedienoberfläche des LabVIEW™ Steuerprogramms mit dessen Hilfe gleichzeitig die drei für die Prüfung erforderlichen Geräte (Störgenerator, Power Analyzer und ein Oszilloskop zur Erfassung der Zähler-Impulse) gesteuert werden. Die Einstellungen der Prüfungen können über Initialisierungsdateien geändert werden. Zusätzlich werden neben den eigentlichen Messergebnissen auch Informationen zum Prüfling dokumentiert.



**Bild 8:** LabVIEW™ Software zur automatischen Steuerung der Störfestigkeitsprüfung an einem Elektrizitätszähler

Der Gesamt-Prüfaufbau ist in Bild 9 dargestellt. Zusätzlich zu den in Bild 5 dargestellten Komponenten wurde für die Prüflingsüberwachung noch ein optischer Tastkopf und ein Oszilloskop zur Detektion der optischen Zählerimpulse verwendet. Im Bildhintergrund sind die AC-Quelle und Lastwiderstände zu sehen. Der Steuer-Computer kommuniziert über GPIB und RS 232 mit den angeschlossenen Geräten. Am rechten Bildrand sind Kondensatoren zur wechsellspannungsmäßigen Überbrückung von Last und 50-Hz-Quelle sowie zwei Schalter sichtbar, mit denen einerseits die AC-Quelle abgetrennt und andererseits die Lastwiderstände zugeschaltet werden können. Mit Hilfe der Lastwiderstände wird die vom Zähler zu erfassende Wirkleistung abgeführt.



**Bild 9:** Prüfaufbau für die Störfestigkeitsprüfung an einem Elektrizitätszähler.

## Zusammenfassung

Mit der IEC 61000-4-19 soll die derzeit bestehende Normungslücke im Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz bezüglich der Störfestigkeit geschlossen werden. Für die unterschiedlichen Störphänomene und Prüflingsimpedanzen sind entsprechende Spannungs- und Stromtests vorgesehen. Mit den während der Normentwicklung durchgeführten Untersuchungen, die in diesem Beitrag am Beispiel einer Elektrizitätszählerprüfung gezeigt wurden, konnten erste Erfahrungen mit den konzipierten normativen Ansätzen gewonnen werden und auch die technische Realisierbarkeit und Anwendbarkeit des erforderlichen Prüfequipments bestätigt werden.

## Literatur

- [1] 77A/815e/CDV, IEC 61000-4-19: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-19: Testing and measurement techniques – Test for immunity to conducted, differential mode disturbances and signalling in the frequency range 2 kHz to 150 kHz at a.c. power ports, Genf, 2013
- [2] DIN EN 61000-4-16, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-16: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte, asymmetrische Störgrößen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 150 kHz (IEC 61000-4-16:1998 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 61000-4-16:1998 + A1:2004, VDE Verlag, Berlin
- [3] J. Kirchhof: “Grenzwertlücke - Wechselrichter stört Elektrizitätszähler”, EMV2010, Mesago Messe Frankfurt GmbH, Düsseldorf, 2010