

# EMV - Grenzwertlücke – Wechselrichter stört Zähler

J. Kirchhof und G. Klein

Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) e.V.

Königstor 59, D-34119 Kassel,

Tel.: (0561) 7294-254, Fax: (0561) 7294-200, e-mail: [jkirchhof@iset.uni-kassel.de](mailto:jkirchhof@iset.uni-kassel.de)

## 1 Einleitung

Photovoltaik-Wechselrichter und elektronische Elektrizitätszähler werden normgerecht bezüglich Störaussendung und Störfestigkeit geprüft. Die Inverkehrbringung erfolgt erst, wenn die für das jeweilige Produkt geltenden Normen eingehalten werden. Bei Elektrizitätszählern findet zusätzlich eine Bauartzulassung durch die PTB statt und nur zugelassene und geeichte Zähler werden von den Netzbetreibern verwendet. Dennoch hat es beim Betrieb von elektronischen Elektrizitätszählern in Verbindung mit einigen PV-Wechselrichtern Funktionsstörungen bei der Erfassung des eingespeisten Netzstroms gegeben. Ein Zähler erfasste weniger als 82 % der tatsächlich vom PV-Wechselrichter ins Netz eingespeisten Energie. Der betroffene Zähler wurde in der Zählerprüfstelle gemäß der gültigen Normung überprüft und zeigte dabei keinerlei Mängel. Untersuchungen des ISET haben ergeben, dass die beobachtete Funktionsstörung dann auftritt, wenn der angeschlossene Wechselrichter einen relativ hohen taktfrequenten Ripplestrom über den Zähler in das Niederspannungsnetz einspeist. Der taktfrequente Ripplestrom liegt bei den meisten Wechselrichtern im normativ nicht regulierten Frequenzbereich zwischen 3 kHz und 150 kHz [1]. Auch für Elektrizitätszähler liegen in diesem Frequenzbereich keinerlei EMV-Anforderungen vor.

## 2 Störverhalten von Stromrichtern

Viele Wechselrichter erzeugen den sinusförmigen Einspeisestrom mit Hilfe von getakteten Halbleiterbrücken unter Verwendung von Pulsweitenmodulation. Pulsfrequenzmodulation wird nur selten angewendet. Zur Unterdrückung der taktfrequenten Anteile des Einspeisestroms dienen Filternetzwerke mit Glättungsdrossel und Glättungskondensator gemäß Abbildung 1. Bei niederohmigen Netzen kann es zwischen Glättungskondensator und Netzimpedanz zu einer Stromaufteilung kommen, wodurch ein Teil des hochfrequenten Ripplestroms als Gegentaktstrom über L und N ins Netz gelangt und die Ursache für Zählerstörungen ist. Dieses Verhalten tritt weder an hochohmigen Netzen, noch an der normativen 50 Ohm || (5 Ohm + 50 µH) EMV-

Netznachbildung auf. Daher können unter Umständen Wechselrichter auch dann am niederohmigen Netz Störungen verursachen, wenn sie im Labor alle erforderlichen EMV-Grenzwerte einhalten.

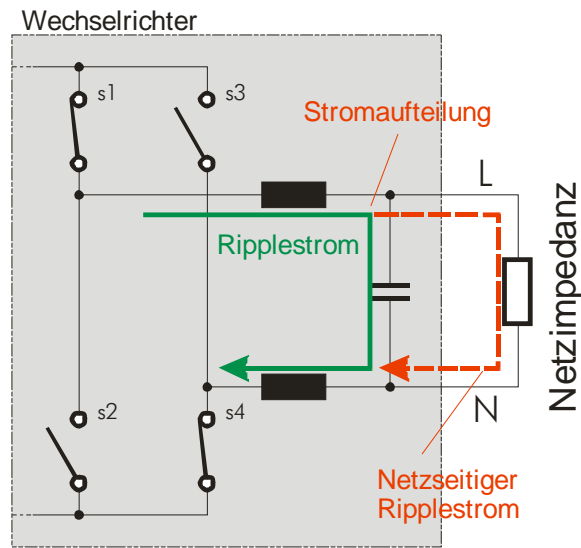


Abbildung 1 Einspeisung von Ripplestrom ins Netz

### 3 Defizite der Normung

Innerhalb von Systemen treten bestimmte Störpegel auf. Der zu erwartende Störpegel wird als Verträglichkeitspegel (siehe Abbildung 2) bezeichnet. Damit sich dieser Pegel durch Hinzufügung weiterer Geräte nicht vergrößert, gelten für alle beteiligten Geräte Störaussendungsgrenzwerte, die gegenüber dem Verträglichkeitspegel einen Sicherheitsabstand aufweisen. Andererseits müssen die Geräte auch derart störfest sein, dass selbst unter ungünstigen Umständen keine Beeinflussung der Geräte stattfindet. Dies wird erreicht, indem an die Geräte Störfestigkeitsanforderungen gestellt werden, die ihrerseits oberhalb des Verträglichkeitspegels liegen.

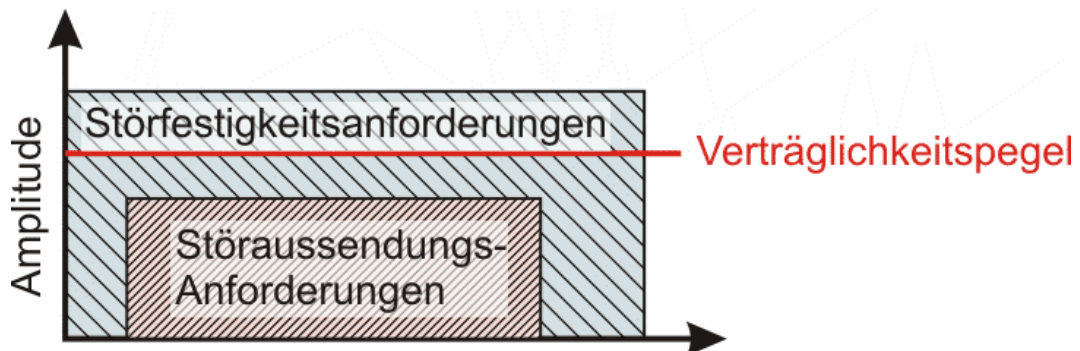


Abbildung 2: Definition der EMV-Anforderungen

Die EMV-Normung berücksichtigt diese Anforderungen, indem sie einerseits die zulässige Störaussendung begrenzt, andererseits aber auch eine entsprechende Stör-

festigkeit von den Geräten fordert. Für das System PV-Wechselrichter – Elektrizitätszähler gelten folgende Regelungen:

Wechselrichter werden derzeit gemäß der Anforderungen der Fachgrundnormen für Haushalts- oder Industrieumgebungen geprüft (EN 61000-6-1 bis -6-4), da es keine eigene EMV-Produktnorm für diese Geräteklasse gibt [2].

In diesen Fachgrundnormen werden Grenzwerte für AC-seitige Störmessungen im Frequenzbereich von 0 kHz bis 3 kHz (Flicker, Stromoberschwingungen) sowie zwischen 150 kHz und 30 MHz (hochfrequente Störspannung, Störstrom) angegeben. Für die Lücke im Bereich zwischen 3 kHz und 150 kHz kann dagegen weder Störaussendung noch Störfestigkeit der untersuchten Geräte garantiert werden, obwohl Wechselrichter, Stromrichter für PFC (Power Factor Correction) und andere getakteten Geräte in diesem Frequenzbereich Störungen aussenden. Für bestimmte Geräteklassen (Geräte mit Powerline Kommunikation / PLC; Induktionskochfelder) existieren auch innerhalb des Frequenzbereichs 3 kHz bis 150 kHz Grenzwerte [3] [4]. Diese müssen aber bisher für Wechselrichter nicht angewendet werden.

Bei der Störfestigkeit von Elektrizitätszählern wird gemäß der Zähler-Produktnormen (EN 50470, EN62052.11) ebenfalls der Frequenzbereich 3 kHz bis 150 kHz ausgespart.

### 3.1 Normative Störaussendungsmessung

Zur normativen Messung der leitungsgebundenen Störaussendung im Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz wird eine sogenannte EMV-Netznachbildung ( $50 \text{ Ohm} \parallel (50 \mu\text{H} + 5 \text{ Ohm})$ ) verwendet. Dieses Netzwerk stellt für die vom Prüfling kommenden hochfrequenten Störungen eine genormte Impedanz zur Verfügung, an welcher die Störspannung auf dem Neutralleiter sowie den Außenleitern des Prüflings gegenüber dem Schutzleiterpotenzial reproduzierbar gemessen wird. Die normativ vorgeschriebene Netznachbildung weist relativ hohe Impedanzwerte auf (siehe Abbildung 3). Insbesondere zwischen dem Neutralleiter und den Außenleitern liegt bei 9 kHz ein Scheinwiderstand von etwa 10 Ohm vor. Dieser Wert steigt oberhalb von 150 kHz auf 100 Ohm. Gegenüber Masse (PE) tritt jeweils der halbe Impedanzwert auf. Aufgrund der relativ hohen Impedanz können unter realen Bedingungen auftretende netzseitige hochfrequente Rippleströme weder ausgelöst, noch erfasst werden. Die EMV-Netznachbildung mag zwar die Netzimpedanz innerhalb von Wohnhäusern realistisch wiedergeben, jedoch treten am Einspeisepunkt des Wechselrichters oft andere Bedingungen auf, insbesondere wenn sich der Mittelspannungstrafo in unmittelbarer Nähe befindet, oder das Netz viele Verbraucher mit großen X-Kondensatoren enthält. Die relativ hochohmige Netznachbildung stellt für hochohmige Störquellen hohe Entstöranforderungen, niederohmige Störquellen werden bezüglich ihres Stör-

verhaltens jedoch nicht ausreichend geprüft. Hierdurch kann es zu den im Folgenden beschriebenen Störfällen kommen, selbst wenn die verwendeten Geräte die für sie geltenden EMV-Normen erfüllen.

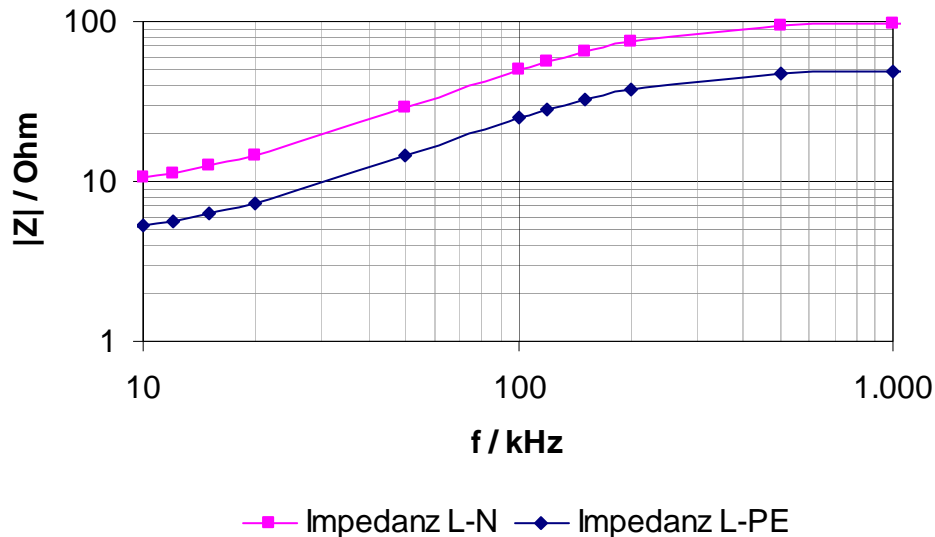


Abbildung 3: Normimpedanz einer AC-Netznachbildung

### 3.2 Normative Störfestigkeitsprüfung

Bei der Störfestigkeitsprüfung im Bereich von 9 kHz bis 80 MHz wird auf die Prüflingsleitungen ein Gleichtakt-Störsignal über spezielle Koppel-Entkoppel-Netzwerke (CDN) eingespeist (siehe Abbildung 4). Das CDN weist eine Gleichtaktimpedanz von 150 Ohm auf und ist für Prüfpegel (Quellenspannung) von maximal 30 V ausgelegt. Hieraus ergibt sich ein maximaler Störstrom von 200 mA, der als Gleichtakt-Strom über die Prüflingsanschlüsse sowie durch Streukapazitäten zu PE fließt. Das Prüfverfahren mit CDN dient hauptsächlich dazu, die von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in den Leitungen des Prüflings induzierten Störgrößen zu simulieren. Störgrößen, die sich rein leitungsgebunden und als Gegentaktstörung ausbreiten, werden von diesem Prüfverfahren nur ungenügend nachgebildet. Dies betrifft insbesondere die von manchen Wechselrichtern verursachten hochfrequenten Rippleströme, die als Gegentaktstrom über den angeschlossenen Elektrizitätszähler fließen können. Das Prüfverfahren kann weder die erforderliche Stromamplitude liefern, noch gestattet es die Einspeisung symmetrischer Störströme, obwohl die elektrischen Niederspannungsnetze zunehmend von Geräten mit getakteter Leistungselektronik durchdrungen werden und andererseits die Zahl der störempfindlichen Geräte im Rahmen von Smart Metering ständig wächst.

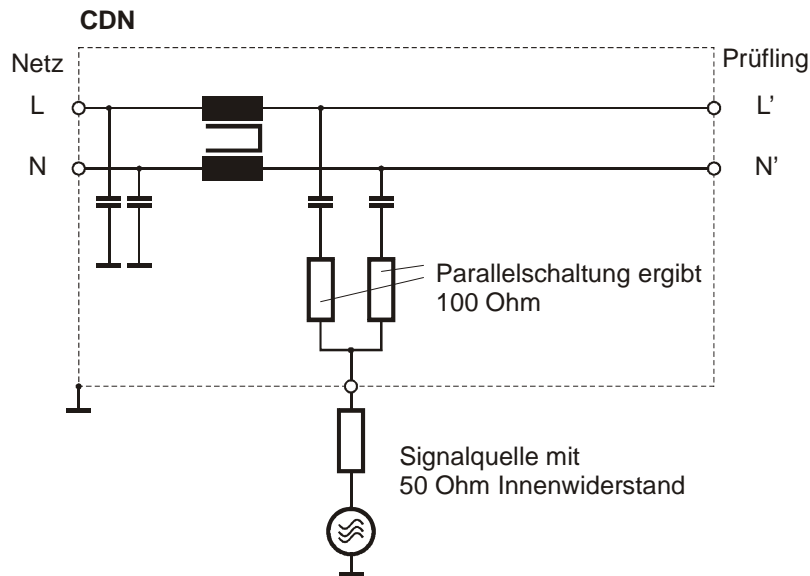


Abbildung 4: Schaltbild eines CDN

#### 4 Ergebnis von Zähleruntersuchungen

Das ISET hat im Auftrag eines Industriepartners energetische Vorortmessungen an zwei PV-Anlagen durchgeführt, da der vom installierten elektronischen Elektrizitätszähler erfasste Messwert zweifelhaft erschien. Die Energiemessung an einer gestörten Anlage erfolgte über einen Zeitraum von einer Woche und erbrachte das Ergebnis, dass der installierte elektronische Elektrizitätszähler im Beobachtungszeitraum eine um 18,55 % zu geringe Energiemenge erfasst hat. Abbildung 5 zeigt das Zwischenergebnis der Energiemessung für einen Tag.

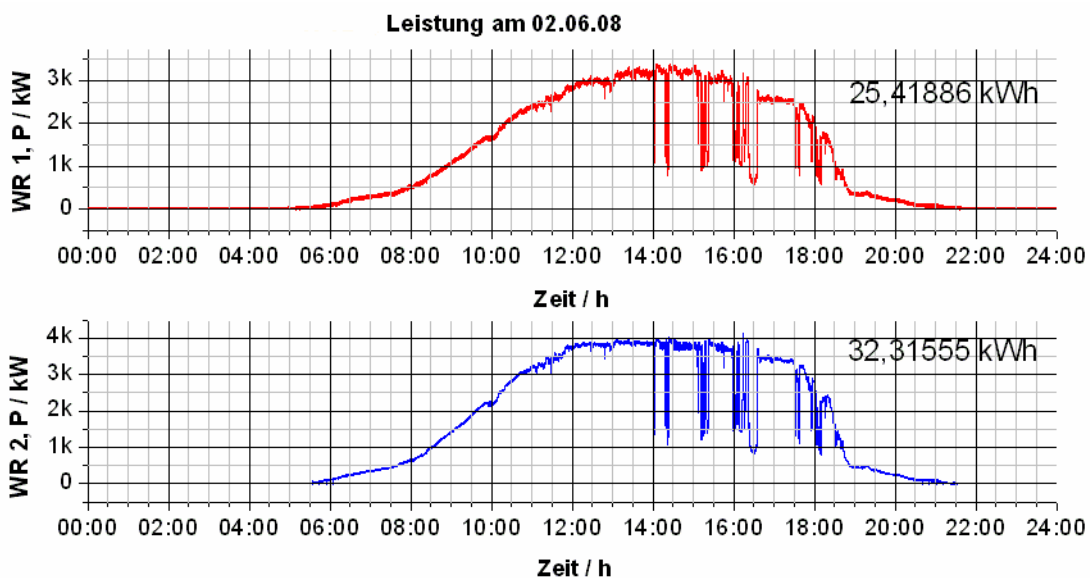


Abbildung 5: Energiemessung an einer PV-Anlage

Um den Sachverhalt näher zu untersuchen, wurden Labormessungen mit gleichem Elektrizitätszähler und gleichem Wechselrichter durchgeführt. Hierzu erfolgte der Betrieb an einer synthetischen Netzquelle. Eine zeitgleiche Messung der Energie erfolgte mit einem KOCOS METES Prüfzähler sowie einem LEM Norma 5000 Power Analyser. Der Wechselrichter wurde über einen Konstanter gespeist.

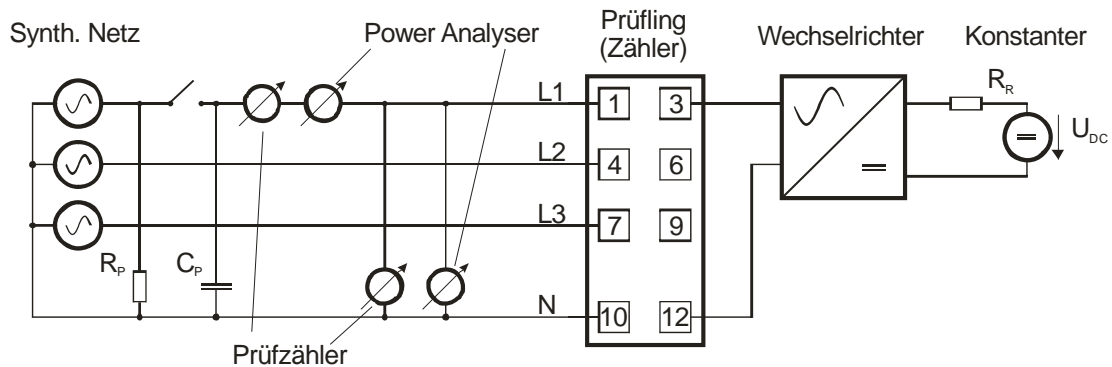


Abbildung 6: Zähler-Prüfschaltung im Labor mit Wechselrichter

Auch hier konnte eine Fehlmessung des elektronischen Elektrizitätszählers nachgewiesen werden. Bei der besonders geringen Netzimpedanz des Prüfaufbaus wurde ein hochfrequenter Ripplestrom (Siehe Abbildung 7) mit etwa 0,8 A Effektivwert gemessen. Der Elektrizitätszähler erfasste unter diesen Messbedingungen nur 40,6 % der tatsächlich eingespeisten Energie von ca. 1,2 kWh. Die Überprüfung anderer elektronischer Zählermodelle von verschiedenen Herstellern zeigte jedoch keine Beeinflussung.

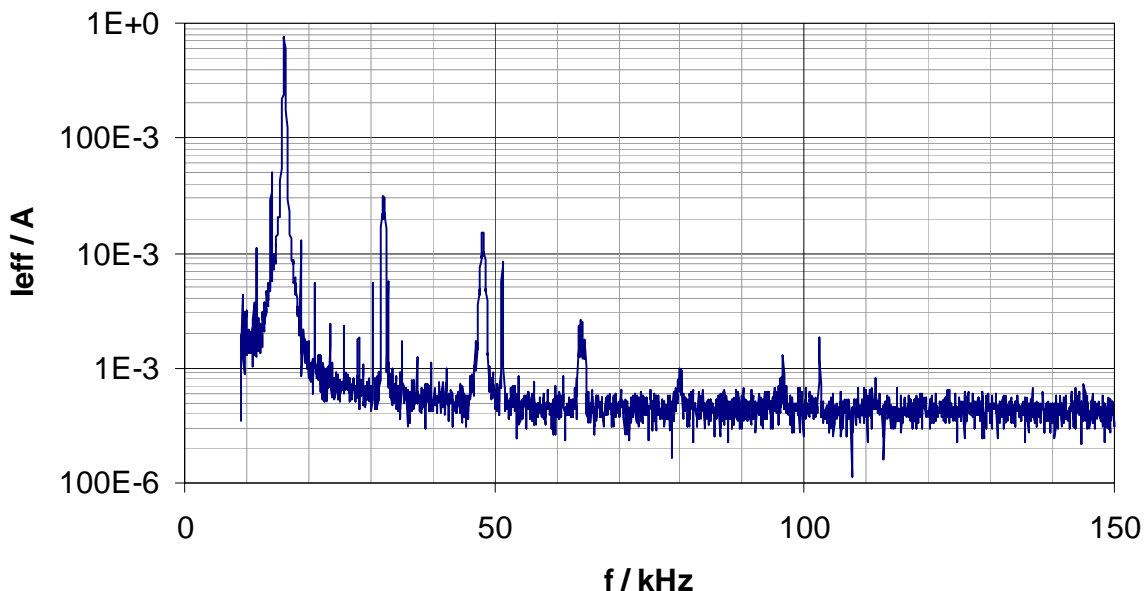


Abbildung 7: Spektrum des gemessenen hochfrequenten Ripplestroms

Um bei der Prüfung von Zählern unabhängig von bestimmten Wechselrichtern zu sein und andererseits, ein messtechnisch rückführbares Prüfverfahren zu erhalten, wurde im Verlauf der weiteren Untersuchung ein Zähler-Prüfaufbau entwickelt, mit dem das Störsignal eines Wechselrichters nachgebildet werden kann. Der Aufbau ermöglicht die Einspeisung eines hochfrequenten Störstroms in den Zähler, wobei gleichzeitig ein Netzstrom von der synthetischen Netzquelle über den Elektrizitätszähler in einen Lastwiderstand fließt. Die vom Lastwiderstand aufgenommene Energie lässt sich wieder mit Hilfe eines Power Analyzers oder eines Prüfzählers erfassen. Bei Einspeisung eines rein sinusförmigen hochfrequenten Störstroms von 1A zeigte der Elektrizitätszähler nur 32,1 % der tatsächlich übertragenen Energie von 1,36 kWh an.

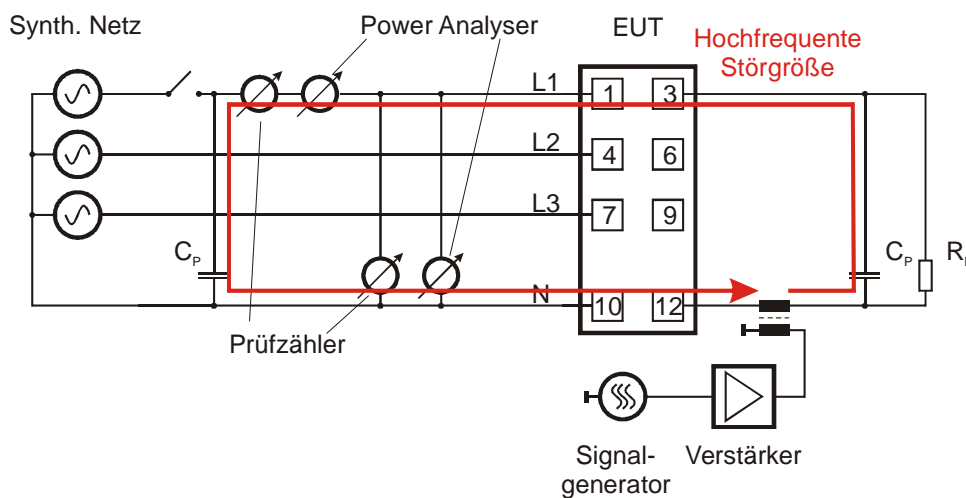


Abbildung 8: Prüfaufbau zur synthetischen Erzeugung des Ripplestroms

Um nachzuweisen, dass das Messergebnis nur von der Amplitude des eingespeisten Störstroms abhängt, nicht aber von dem verwendeten Prüfaufbau, wurde die Prüfung unter sonst gleichen Bedingungen mit einem reduzierten Störpegel von nur 0,1 A (Reduktion um 20 dB) wiederholt. Bei diesem Test trat lediglich eine Abweichung des Zählerergebnisses um 0,3 % auf. Es wurde also 99,7 % der übertragenen Energie erfasst. Dieses Ergebnis liegt innerhalb der zulässigen Messunsicherheit des geprüften Elektrizitätszählers.

## 5 Zusammenfassung und Perspektiven

Untersuchungen des ISET haben ergeben, dass manche elektronischen Elektrizitätszähler unter bestimmten Umständen von PV-Wechselrichtern beeinflusst werden und als Folge dieser Beeinflussung falsche Ergebnisse liefern, auch wenn die Zähler alle für sie geltenden Normen und Anforderungen erfüllen. Als Auslöser der Störung wurde der vom Wechselrichter ins Netz eingespeiste hochfrequente Ripplestrom festgestellt, der innerhalb des EMV-seitig nicht regulierten Frequenzbereichs zwi-

schen 3 kHz und 150 kHz liegt. Ursache der Störung ist jedoch, dass weder die Störaussendungspegel des Wechselrichters noch die Störfestigkeit des Zählers in diesem Frequenzbereich einer normativen Festlegung unterliegen. Zukünftig können weitere Störfälle nur dann vermieden werden, wenn auch der bisher in der EMV unbeachtete Frequenzbereich von 3 kHz bis 150 kHz normativ reguliert wird.

Zwar gibt es Prüfverfahren, die auch in diesem Frequenzbereich anwendbar sind, jedoch kann der in PV-Anlagen teilweise auftretende hohe Ripplestrom (Abbildung 7) mit genormten Störfestigkeits-Prüfverfahren nicht nachgebildet werden. Auch das normativ festgelegte Verfahren für Störaussendungsmessungen auf Leitungen bedarf einer Überarbeitung, da die von niederohmigen Störquellen ausgehenden Störströme im bisherigen Messverfahren nicht ausreichend erfasst werden können. Vom ISET sind Vorortmessungen an betroffenen Anlagen sowie umfangreiche Laboruntersuchungen zur Klärung der aufgetretenen Störungen durchgeführt worden. Hierbei wurde auch ein neues Störfestigkeits-Prüfverfahren entwickelt, welches die Einspeisung synthetisch erzeugter hochfrequenter Ströme mit Amplituden von mehreren Ampere ermöglicht. Für ein fehlerfreies Zusammenspiel von Elektrizitätszähler und Wechselrichter ist sowohl eine realistische Störfestigkeitsprüfung der Zähler, als auch eine Begrenzung der vom Wechselrichter ins Netz eingespeisten Rippleströme im bisher nicht regulierten Frequenzbereich erforderlich. Diese Ergebnisse werden in die zuständigen DKE-Arbeitskreise eingespeist. Zusätzlich wurden die betroffenen Hersteller in anonymisierter Form auf die Defizite ihrer Produkte hingewiesen.

## 6 Literatur:

- [1] Kirchhof et. al.: „Ergebnisse aus dem Projekt OPTINOS – Defizite und Unsicherheiten bei Prüfprozeduren von Photovoltaik-Stromrichtern“, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2008
- [2] Kirchhof: “EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen”, OTTI-Seminar, 2008
- [3] DIN EN 55011, „Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Hochfrequenzgeräte (ISM-Geräte) - Funkstörungen - Grenzwerte und Messverfahren“
- [4] DIN EN 50065-1, „Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Frequenzbänder und elektromagnetische Störungen“