

# PRÜFEN VON MESSGERÄTEN FÜR DIE NETZQUALITÄT LEICHT GEMACHT

Lukas Dieterich (OMICRON electronics GmbH / Universität Stuttgart), Cord Mempel (OMICRON electronics GmbH), Adrian Eisenmann (Universität Stuttgart)

lukas.dieterich@omicronenergy.com

Österreich

## Zusammenfassung

Die zunehmende Bedeutung der elektrischen Versorgungsqualität drückt sich in der wachsenden Zahl von Messgeräten für die Netzqualität (Power Quality, PQ) aus, die in elektrischen Netzen auf allen Spannungsebenen installiert werden. In diesem Artikel werden zunächst kurz die Rahmenbedingungen für das Prüfen solcher Geräte gemäß den geltenden IEC-Normen beschrieben. Für die Herstellertypprüfung und vergleichbare Akzeptanzprüfungen bei Versorgungsunternehmen wird eine Reihe von Prüfvorlagen für die geführte Prüfung von PQ-Messgeräten gemäß IEC 62586-2 vorgestellt. Die bereits vorhandenen Prüfpläne eines Prüfgeräteherstellers wurden vollständig überarbeitet, um sie an die neuesten Änderungen innerhalb der Normen anzupassen. Außerdem enthalten sie Prüfanleitungen und bieten eine wichtige Hilfestellung bei der Testbewertung. Es wird auf Erkenntnisse aus der Prüfung eines typischen PQ-Messgeräts eingegangen. Außerdem stellt der Artikel eine geeignete Auswahl von Prüfungen für Feldtests bei der Inbetriebnahme oder für Routineprüfungen von PQ-Messgeräten vor.

## Stichwörter

Power Quality, Netzqualität, Messgerät, PQ-Messgerät, Typprüfung, Prüfvorlagen, IEC 61000-4-30, IEC 62586, EN 50160

## 1 Einleitung

Aufgrund der Ausweitung der dezentralen Energieerzeugung (beispielsweise durch PV-Anlagen) und der Zunahme unkonventioneller Lasten spielt die Netzqualität im elektrischen Netz eine immer größere Rolle. Versorgungsunternehmen müssen die Konformität mit Normen wie EN 50160 nachweisen, Industrieunternehmen lassen sich die Qualität der gelieferten Energie vertraglich zusichern und selbst Verbraucher erleben immer häufiger, welche Auswirkungen eine unzureichende PQ hat. Laut dem European Power Quality Survey Report belaufen sich die Kosten durch unzureichende Netzqualität in der EU auf über 150 Milliarden Euro pro Jahr [1]. Diese Entwicklung wird sich angesichts der zunehmenden Nutzung von Leistungselektronik und nichtlinearen Elementen im Stromnetz, die beide Auswirkungen auf die PQ haben, weiter fortsetzen.

Dies wiederum führt zu immer mehr im elektrischen Netz und an den Anschlusspunkten installierten PQ-Messgeräten. Fehlfunktionen oder eine geringere Genauigkeit können für den Betreiber finanzielle Einbußen bedeuten. Andererseits gibt es wenig Erfahrung und mangelndes Bewusstsein für die PQ, vor allem bei kleinen Versorgungsunternehmen, in der Industrie und bei Endkunden. Dies spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass in der EU nur 10 Prozent der oben genannten Kosten in die Verbesserung der PQ und in die Überwachung der gelieferten PQ investiert werden [2].

Grundvoraussetzungen für ein PQ-Überwachungssystem sind eine hohe Messgenauigkeit und die volle Funktionsfähigkeit der verwendeten Messgeräte. In vielen Fällen wird dieser Tatsache aber beim Installieren neuer PQ-Messgeräte nicht viel Beachtung geschenkt und auch später werden normalerweise keine Überprüfungen oder Wartungsprüfungen durchgeführt. Dies liegt daran, dass es im Gegensatz zu Schutzrelais keine allgemein gültigen Regeln oder Verfahren für die Installation, die Wiederholungsprüfung oder die Kalibrierung gibt. Fehlfunktionen oder eine geringere Genauigkeit können daher unentdeckt bleiben, obwohl sie große finanzielle Folgen haben.

Derzeit besitzen die meisten im Hoch- oder Mittelspannungsnetz verwendeten PQ-Messgeräte eine Klassifizierung nach IEC 61000-4-30 Klasse A oder S. Für diese Geräte definieren die Normen

IEC 62586-1 und IEC 62586-2 Anforderungen und Typenprüfungen, die vom Hersteller durchzuführen sind. Im Prinzip könnten für Akzeptanzprüfungen zur Qualifizierung von PQ-Messgeräten, für Installationsprüfungen und für Wartungsprüfungen geeignete Unterabschnitte dieser Prüfungen eingesetzt werden. Die in diesen Normen festgelegten Prüfungen sind aber zeitaufwendig und nicht leicht zu verstehen. Eine zweite Herausforderung stellt die Auswertung der Prüfung dar, beispielsweise dann, wenn eine Nachbearbeitung der verschiedenen vom Prüfling aufgezeichneten Messwerte erforderlich ist.

Auf der anderen Seite ist ein geeignetes Prüfgerät häufig bereits vorhanden: Die Genauigkeit vieler moderner Schutzprüfgeräte erfüllt auch die Anforderungen für das Prüfen von PQ-Messgeräten. Und mit einem Prüfplan und den richtigen Softwaremodulen ist das Prüfen von PQ-Messgeräten auch kein Hexenwerk mehr, sondern lässt sich durchaus mit der Komplexität einer Schutzrelaisprüfung vergleichen.

Deshalb stellt dieser Artikel einen einfachen, klaren und praktikablen Weg für die Prüfung von PQ-Messgeräten vor.

## 2 PQ-Phänomene nach IEC 61000-4-30

Einfach ausgedrückt beschreibt die Netzqualität den Grad der Übereinstimmung zwischen einem idealen sinusförmigen Signal und der tatsächlich vorhandenen Wellenform im Stromnetz. Traditionell wird unter PQ die Qualität der Spannung verstanden. Neben den Parametern Frequenz und Spannung werden heute zu ihrer Beurteilung aber noch weitere Kriterien herangezogen, wie die Versorgungszuverlässigkeit und die Stromkennlinie.

Für die Prüfung von PQ-Messgeräten führt die IEC 61000-4-30 folgende Parameter auf:

- Frequenzstabilität
- Spannungsphänomene
  - Amplitudenabweichungen
  - Spannungseinbrüche, -zunahmen und -unterbrechungen
  - Oberschwingungen, Zwischenharmonische
  - Spannungsunsymmetrie
  - Flicker
  - Schnelle Spannungsänderungen
- Stromphänomene
  - Betragsabweichungen
  - Oberschwingungen, Zwischenharmonische
  - Spannungsunsymmetrie
- Rundsteuersignale

Darüber hinaus gibt es Prüfungen für spezielle Gerätefunktionen:

- Kennzeichnung von Messwerten, die auf Spannungsereignisse zurückzuführen sind
- Genauigkeit der internen Geräteuhr
- Abweichungen bei externen Einflussgrößen

Die Auswirkungen einer unzureichenden Netzqualität können von Störungen über Ausfälle bis hin zur Zerstörung der an das Stromnetz angeschlossenen Geräte reichen. Finanzielle Schäden sind vor allem dann zu beklagen, wenn es im industriellen Umfeld zu Spannungseinbrüchen und kurzen Unterbrechungen oder zu Überspannungen und Transienten kommt [1].

## 3 Prüfen von PQ-Messgeräten

### 3.1 Normen für das Prüfen von PQ-Messgeräten

Die normativen Grundbedingungen für das Prüfen von PQ-Messgeräten sind in einem Rahmenwerk von verschiedenen IEC-Normen definiert. Dieses ist nicht immer leicht zu verstehen und soll daher im

Folgenden kurz beschrieben werden. In Abbildung 1 stellt dies grafisch dar. Die Grundlage für die Normierung von PQ-Messungen bildet die Norm IEC 61000-4-30. In ihr sind die grundsätzlichen Methoden definiert und Geräteklassifizierungen (Klasse A oder S) mit den zugehörigen Genauigkeitsanforderungen angegeben. Für allgemeine Gerätespezifikationen verweist der Standard auf die Norm IEC 62586-1 und für die eigentliche Beschreibung von (Typ-)Prüfsignalen auf die Norm IEC 62586-2. In einigen Ausnahmefällen müssen im Prüfverfahren die zusätzlichen Normen IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-7 und IEC 61000-4-15 berücksichtigt werden.

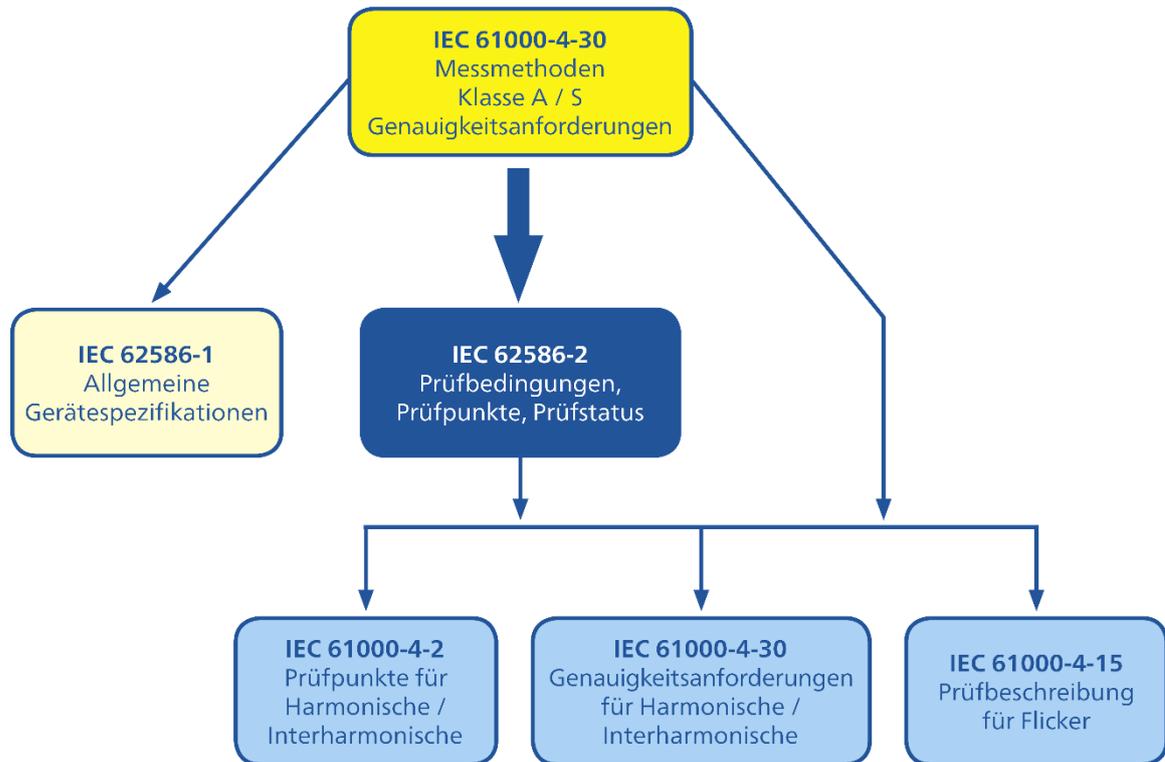


Abbildung 1: Rahmenwerk von IEC-Normen für das Prüfen von PQ-Messgeräten

### 3.2 Prüfaufbau

Prüfgeräte für das Prüfen von PQ-Messgeräten müssen in der Regel die folgenden Anforderungen erfüllen:

- drei Spannungsausgangskanäle
- drei Stromausgangskanäle
- hohe Genauigkeit (entsprechend der Klasse des zu prüfenden PQ-Messgeräts)
- Softwaremodule, die die korrekte Simulation von PQ-Phänomenen ermöglichen
- Fähigkeit, mit automatisierten Prüfplänen zu arbeiten
- Möglichkeit, Prüfungen zeitsynchronisiert und zu einem bestimmten Zeitpunkt zu starten

Bei einigen Prüfungen ist die Zeitsynchronisierung des Prüfgeräts und des PQ-Messgeräts obligatorisch. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn der Kurzzeitflicker  $P_{st}$  oder die Genauigkeit der internen Geräteuhr untersucht werden. Bei vielen anderen Prüfungen ist die Zeitsynchronisierung zwar nicht obligatorisch, aber im Sinne eines reibungslosen Prüfverfahrens und einer einfacheren Auswertung sehr hilfreich.

Bei der praktischen Arbeit für diesen Artikel haben wir die Prüfgeräte OMICRON CMC 256plus und CMC 430 zum Prüfen verwendet, da beide die Genauigkeitsanforderungen für das Prüfen von PQ-Messgeräten der Klasse A erfüllen. Bei den Prüflingen handelte es sich um einen Siemens SICAM Q200 und ein Eberle PQI-DA (beide sind Messgeräte der Klasse A gemäß IEC 61000-4-30). Für die Zeitsynchronisierung wurde ein CMGPS 588 angeschlossen. Bei vielen Prüfungen wurde der Prüfaufbau für Referenzmessungen um das CMC 430 mit integrierter Enerlyzer Live-Funktionalität ergänzt. Der vollständige Prüfaufbau ist in Abbildung 2 gezeigt.

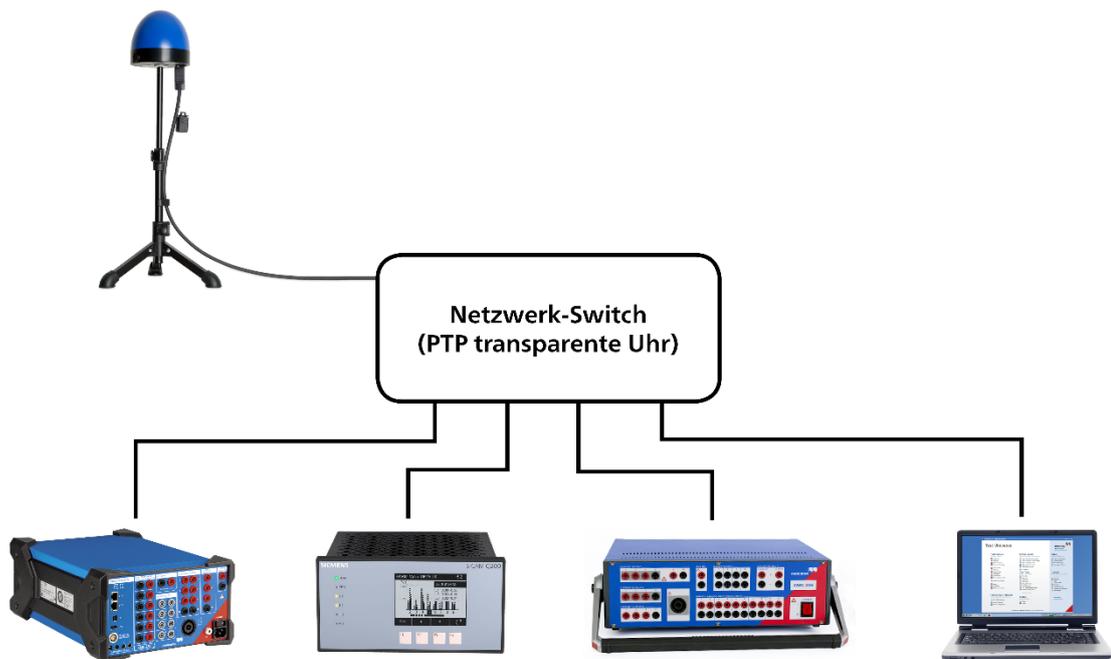


Abbildung 2: Für das Prüfen von PQ-Messgeräten verwendeter Prüfaufbau: CMGPS (oben), CMC 430 (links), SICAM Q200 (Mitte), CMC 256plus (rechts), Computer (eigene Abbildung, Quelle für Einzelbilder: OMICRON [3] und Siemens [4]).

### 3.3 Prüfvorlagen

Das Prüfen von PQ-Messgeräten und das Auswerten der Ergebnisse kann ziemlich kompliziert sein. Aus diesem Grund gibt es Prüfpläne, die die durchzuführende Prüfung beschreiben und Anwendern Hilfestellung bei der Auswertung geben. Sie enthalten alle notwendigen Informationen für die Durchführung einer Prüfung, wie beispielsweise die Einstellungen für das Prüfgerät, für das Prüfobjekt und natürlich für das Prüfsignal.

Die Prüfvorlagen können automatisch an die definierte Nennspannung und die Nennfrequenz des zu prüfenden PQ-Messgeräts angepasst werden.

Mit diesen Vorlagen kann der Anwender sofort mit dem Prüfen loslegen. Alle Prüfungen lassen sich problemlos auch ohne genauere Kenntnis des in Kapitel 3.1 beschriebenen Normenrahmenwerks durchführen und auswerten. Die Vorlagen arbeiten alle notwendigen Prüfungen automatisch ab und werden nur durch Programmdialoge unterbrochen, die Informationen für die Anwender enthalten. In jeder Vorlage hat der Anwender die Gelegenheit, konkrete Informationen zum verwendeten Prüfgerät und zum Prüfling einzugeben. Außerdem können die implementierten Prüfungen an Sonderanwendungsfälle angepasst werden; individuelle Änderungen sind möglich (z. B. durchzuführende Prüfschritte, Dauer von Vorfehlerzeiten oder auf PQ-Phänomene bezogene Kriterien wie die Flicker-Amplitude).

### 3.4 Auswertung

Im Vergleich zu Schutzprüfungen, bei denen das Prüfergebnis von einem binären Signal abhängig ist, verursacht die Auswertung von PQ-Prüfungen einen höheren Aufwand. In einigen Fällen kann der Anwender die auswertungsrelevanten Messwerte einfach vom Display des PQ-Messgeräts ablesen. In den meisten Prüffällen erfolgt die Auswertung aber durch Auslesen der gemessenen und berechneten Werte aus dem Speicher des PQ-Messgeräts. Und dann gibt es noch Prüfungen, bei denen die relevanten Daten vor der Auswertung erst nachbearbeitet werden müssen.

Die erstellten Prüfvorlagen fordern den Anwender automatisch nach jeder Prüfung zur Bewertung auf. Als Ergebnis einer Prüfung kommen die folgenden Werte infrage: *Zustand OK*, *Nicht OK* oder *Nicht bewertet*. Über die Option *Manuelle Bewertung* können die Auswertungsergebnisse jederzeit nachträglich geändert werden. Aus diesem Grund empfehlen wir, für die Prüfungen im ersten Schritt den Wert *Nicht bewertet* festzulegen. Später kann in einem zweiten Schritt und unter Nutzung zusätzlicher Tools (beispielsweise Excel) die endgültige Auswertung erfolgen.

Die Prüfvorlagen bieten Anwendern Hilfestellung bei der Auswertung. Dazu gehört auch ein Excel-Werkzeug für die Nachbearbeitung von Prüfdaten. Auf diese Weise können Anwender die Auswertung schnell durchführen, ohne zeitaufwendig in den Normen nachschlagen zu müssen.

## 4 Typ- und Akzeptanzprüfung nach IEC 62586

Es gab bereits einige Prüfpläne, die auf der Grundlage einer früheren Version der Norm IEC 62586 entwickelt wurden. Diese wurden in einem ersten Schritt aktualisiert und erweitert, damit alle in IEC 62586-2 definierten Prüfungen abgedeckt werden. Nur wenige Prüfungen wurden ausgelassen, z. B. die Prüfung des Einflusses der Umgebungstemperatur. Die Vorlagen werden durch ein Benutzerhandbuch ergänzt, um dem Anwender eine zusätzliche Hilfestellung beim Prüfen von PQ-Messgeräten bereitzustellen.

Ziel der erwähnten Programmdialogfelder, in denen dem Anwender wichtige Informationen zu den einzelnen Prüfungen angezeigt werden, ist es, dem Anwender das Studium der IEC-Normen zu ersparen. Gleichzeitig richtet sich der Aufbau der einzelnen Vorlagen nach der Kapitelstruktur in der Norm IEC 62586-2. Dies gilt auch für die Prüfungsnummerierung und -bezeichnung. Dadurch können, falls doch einmal nötig, zusätzliche Informationen schnell gefunden werden.

So können Anwender eine Typ- oder Akzeptanzprüfung durchführen. Natürlich werden diese Prüfungen im Wesentlichen bei den Herstellern der PQ-Messgeräte oder größeren Versorgungsunternehmen zum Zweck der Evaluierung von PQ-Messgeräten ausgeführt. Es bleibt aber festzustellen, dass die Benutzerfreundlichkeit, der einfache Prüfaufbau und die Möglichkeit, bereits vorhandene Prüfgeräte für die Schutzprüfung zu verwenden, den Kreis der möglichen Anwender durchaus erweitert. In Kapitel 5 wird erläutert, wie eine geeignete Auswahl dieser Prüfungen für Vor-Ort-Prüfungen bei der Inbetriebnahme und Wartung genutzt werden kann.

### 4.1 Beispiele für Prüffälle

Die meisten der erforderlichen Prüfbedingungen können auf der Grundlage einfacher charakteristischer Signalformen wie Rampen und Sequenzen oder der Variation von ein oder zwei Spannungs- oder Stromparametern implementiert werden. Es ist aber auch möglich, dem Anschein nach komplizierte Signale wie in der folgenden Gleichung aus IEC 62586-2 darzustellen [5]:

$$u_H(t) = \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi f_n t + \varphi_n) + [1 + A_m \cdot \cos(2\pi f_m t + \varphi_m)] \cdot 0,1 \cdot \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi M f_n t + \varphi_M) \quad (1)$$

mit:  $u_H(t)$  Spannung über die Zeit, Index  $H$  für  
Oberschwingungsanteile

V

$U_{din}$	Nennspannung	V
$f_n, f_m$	Nennfrequenz, Modulationsfrequenz	Hz
$\varphi_n, \varphi_m, \varphi_M$	Phase des Grundsignals, des Modulationssignals, des Oberschwingungssignals	°
$A_m$	Modulationsamplitude	V
$M$	Oberschwingungsordnung	–

Die „Übersetzung“ der Formel würde wie folgt lauten: Ausgabe eines Oberschwingungs-Spannungssignals bei einer bestimmten Oberschwingungsordnung, das bei  $f_m$  moduliert und zur Nennspannung addiert wird.

Bei vielen Prüfsignalen haben wir Referenzmessungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Genauigkeit und das Timing des Ausgangssignals den Anforderungen der Norm entsprechen. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für einen Prüffall, wie er in der Norm beschrieben ist, und in Abbildung 4 ist die Ausgabe des Prüfgeräts für dasselbe Signal abgebildet.

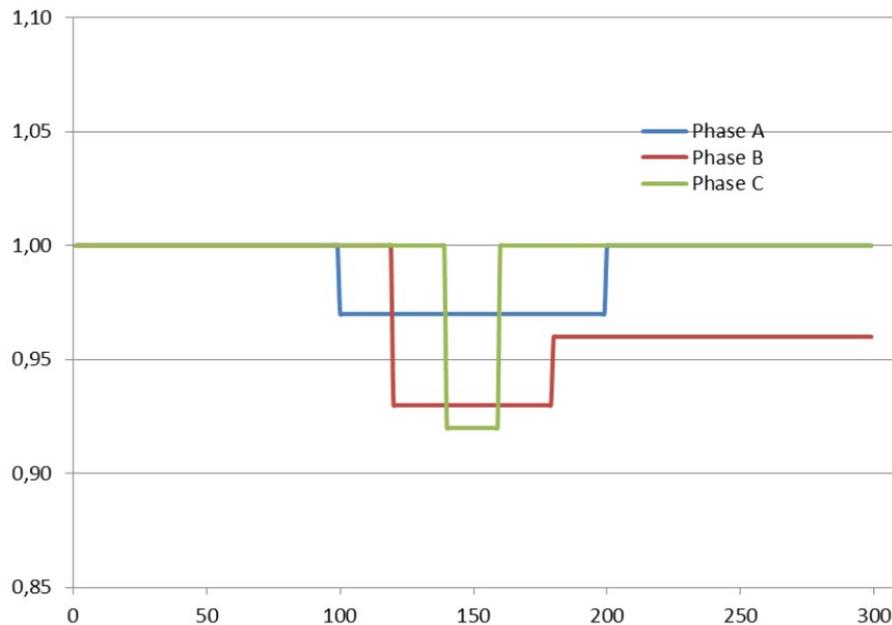


Abbildung 3: Prüfsignal laut Beschreibung in der Norm; x-Achse: Zeit in Halbwellen; y-Achse: Spannung in pu (Quelle: IEC 62586-2 [5])



Abbildung 4: Prüfsignal aus Referenzmessung

## 4.2 Erkenntnisse aus dem Prüfen von PQ-Messgeräten mithilfe von Vorlagen

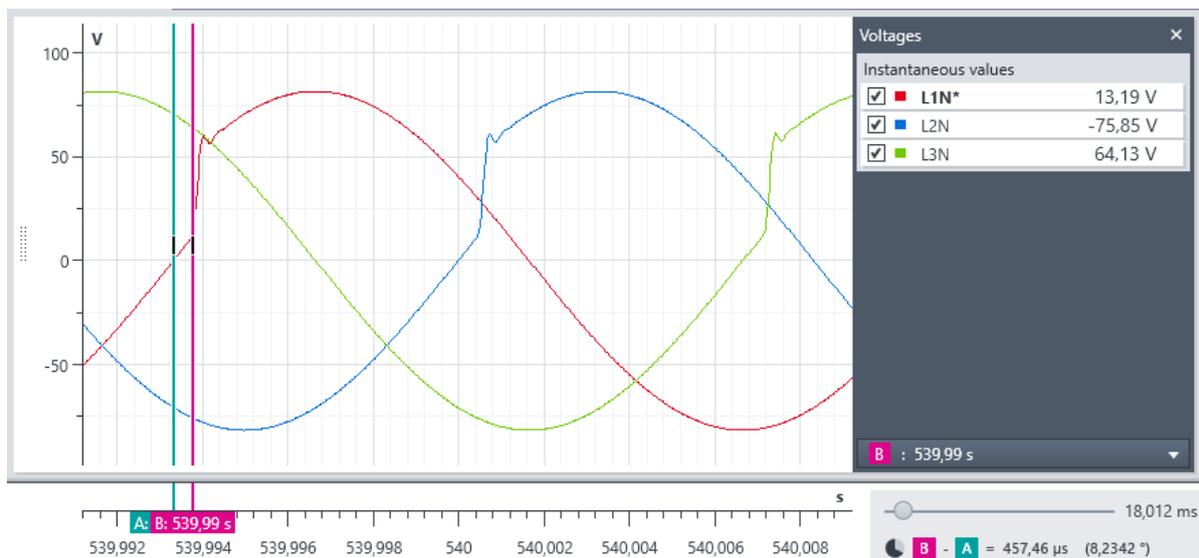
Als allgemeine Erkenntnisse haben wir zunächst festgestellt, dass die Vorlagen ordnungsgemäß implementiert und ausführbar sind und dass sie die Prüfsignale wie erforderlich erzeugen. Außerdem haben wir festgestellt, dass es etwa zwei Wochen dauert, alle in IEC 62586-2 definierten Prüfungen durchzuführen und auszuwerten (trotz der durch die Vorlagen erzielten Zeiteinsparungen).

Speziellere Erkenntnisse beziehen sich auf die Zeitsynchronisierung und die korrekte Anpassung der Zeiten vor und nach einem Ereignis. Durch die Zeitsynchronisierung und den zeitgesteuerten Start der Prüfungen vereinfacht sich die Auswertung der Messwerte deutlich, und bei einigen Prüfungen ist die Verwendung einer externen Zeitquelle sogar obligatorisch. Dies ist beispielsweise bei allen Prüfungen der Fall, bei denen die lückenlose und nicht überlappende Messung geprüft wird, weil eine bestimmte Sequenz von Messwerten ausgewertet werden muss. Zudem ist eine externe Zeitquelle bei allen Arten von Prüfungen erforderlich, bei denen es um die Aggregation von Messwerten geht, die zu den nächsten vollen zehn Minuten starten müssen. Das Signal vor einem Ereignis (Vorlaufzeit) und nach einem Ereignis (Nachlaufzeit) ist durch die Ausgabe von Nennwerten gekennzeichnet und stellt den Normalzustand des Stromnetzes dar. Bei der Mehrzahl der Prüfungen, bei denen Momentanwerte ausgewertet werden, sind diese Zeiten aufgrund der hohen Messrate und -genauigkeit der PQ-Messgeräte weniger wichtig. Gleichzeitig gibt es aber Prüfungen, z. B. für Kurzzeitflicker  $P_{st}$ , bei denen eine bestimmte Vorlaufzeit festgelegt sein muss. Der Grund dafür ist, dass der  $P_{st}$  über zehn Minuten ermittelt wird und ein abrupter Schritt von keiner Signalausgabe hin zu dem festgelegten Prüfsignal zu einem falschen Messwert führen würde. Ein ähnliches Problem in diesem Zusammenhang besteht darin, dass die erforderliche Genauigkeit für den maximalen Flicker-Momentanwert  $P_{inst,max}$  erst nach mehreren Minuten einer konstanten Signalausgabe erreicht wird. Darüber hinaus unterscheiden sich diese Einschwingzeiten nach unserer Untersuchung von einem PQ-Messgerät zum anderen.

### 4.3 Einschränkungen und Verbesserungsmöglichkeiten

Wir haben sowohl bei der für den Prüfaufbau verwendeten Hardware als auch bei der Software verschiedene Einschränkungen festgestellt.

- Bei der verwendeten Software Test Universe besteht das Hauptproblem darin, dass das für PQ-Phänomene vorgesehene Prüfmodul für bestimmte Prüfsignale, wie für Oberschwingungen und Zwischenharmonische bei Strömen, nur beschränkte Einstellungsmöglichkeiten und Prüfoptionen bietet. Diese Prüfungen wurden bei der letzten Überarbeitung in die Norm aufgenommen, aber das PQ-Modul scheint noch nicht entsprechend angepasst worden zu sein.
- Der DC-Hilfsspannungsausgang des CMC 256plus ist auf 264 VDC begrenzt. Je nach zu prüfendem Gerät kann aber bei einer Prüfung eine höhere Ausgangsspannung benötigt werden (möglicherweise ist eine zusätzliche Standard-DC-Spannungsquelle erforderlich).
- Die Norm definiert bevorzugte Nennspannungen und -ströme für PQ-Messgeräte (auch für direkt angeschlossene PQ-Messgeräte). Auch hier gilt: Je nach PQ-Messgerät reicht der Ausgangsbereich für Spannungsamplituden bei direkt angeschlossenen PQ-Messgeräten möglicherweise nicht aus. Bei den gängigsten Typen von PQ-Messgeräten und allen über einen Messwandler angeschlossenen PQ-Messgeräten gibt es aber kein Problem.
- Der interne Systemtakt des CMC 256plus für die Ausgabe analoger Größen beträgt 10 kHz. Dementsprechend wird alle 0,1 ms ein Signalwert am Analogausgang erzeugt. Für die Prüfungen bei Phasensprüngen, die alle auf jeder Phase genau beim Nulldurchgang auftreten, muss dies berücksichtigt werden. Bei 50 Hz würde dies eine Zeitverzögerung zwischen den Phasen von 6,67 ms bedeuten ( $t = \frac{1}{3} \cdot 20 \text{ ms} = 6,66 \text{ ms}$ ). In diesem Fall muss beim Definieren der Prüfung (-Vorlage) bewusst eine Rundung vorgenommen werden. Abbildung 5 zeigt die Ausgangssignale:
  - a) ohne entsprechende Rundung. Die Phasensprünge treten nicht exakt am Nulldurchgang auf.
  - b) mit entsprechender Rundung. In diesem Fall liegt die verbleibende Verzögerung deutlich innerhalb der Genauigkeitsgrenzen für das Prüfen von PQ-Messgeräten der Klasse A.



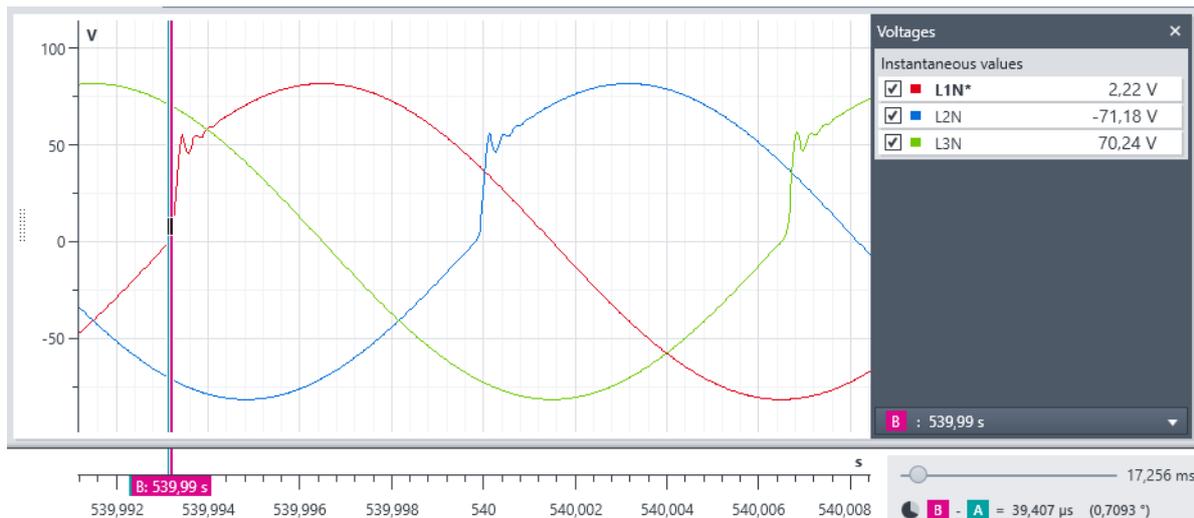


Abbildung 5: Ausgangssignale bei der Prüfung zu Phasensprüngen; a) ohne entsprechende Rundung (oben); b) mit entsprechender Rundung (unten)

## 5 Wiederholungs-/Wartungsprüfung

Inbetriebnahme- oder Wartungsprüfungen erfordern eine deutliche Verringerung der Zahl der Prüffälle. Die Prüfdauer muss von 2 Wochen auf z. B. 2 Stunden (was der Dauer von Schutzrelaisprüfungen entspräche) reduziert werden.

Wir haben als Erstes die Prüfungen weggelassen, die bei Installations- oder Wartungsprüfungen nicht sinnvoll sind. Dabei haben wir uns nach den folgenden Kriterien gerichtet:

- Prüfen der Messmethode: Das Prüfen der korrekten Umsetzung einer Messmethode ist Teil einer Typprüfung. Für den Endanwender ist aber die Genauigkeit der Messwerte wichtiger als die zugrunde liegende Messmethode.
- Vorhersehbares Ergebnis: Wenn es keinen begründeten Verdacht gibt, würden wir nicht empfehlen, eine Prüfung mit vorhersehbarem Ergebnis durchzuführen. So würde beispielsweise eine Prüfung ohne angewandte Oberschwingungsverzerrung keinen Messwert für die Untergruppe-Gesamtverzerrung (THDS) erbringen, der signifikant von Null abweicht.
- Praktische Relevanz: Prüfungen sind nicht praktikabel, wenn der Anwender ihre Auswertung nicht verstehen und interpretieren kann oder wenn es nur sehr wenige Anwendungsfälle gibt. Beispielsweise dürften Prüfbedingungen mit einer Spannung von 10 Prozent des Nennwerts bei  $-10\text{ °C}$  in einem Schaltanlagegebäude nicht sehr häufig vorkommen. Und sollte der Fall doch einmal eintreten, gibt es vorrangigere Probleme als die Genauigkeit eines PQ-Messgeräts.
- Anwendbarkeit: Prüfungen mit bestimmten Umgebungsbedingungen können bei Vor-Ort-Prüfungen nicht reproduziert werden.

Als Zweites haben wir jede einzelne Prüfung nach ihrer Dauer, Komplexität und Wichtigkeit bewertet, um am Ende ein Ergebnis für die Relevanz einer Wartungsprüfung zu erhalten. Das Ergebnis ist eine Auswahl mit einer Gesamtprüfdauer von etwa einer Stunde (reine Prüfdauer ohne Auswertung, Lesen der Programmdialogfelder usw.), die mindestens die in Abbildung 6 genannten Prüfungen umfasst. Es handelt sich dabei derzeit nur um einen Entwurf zur weiteren Diskussion.

Template	Topic	Number	Description
6.1	Frequency	A1.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.2	Voltage magnitude	A2.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.3	Flicker	F6.2.1	Check response characteristic for sinusoidal and rectangular voltage changes
6.3	Flicker	F6.2.2	Check response characteristic for sinusoidal and rectangular voltage changes
6.4	Swells, dips	A4.1.2 a)	Check amplitude and duration accuracy for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.2 b)	Check amplitude and duration accuracy for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 a)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 b)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 c)	Check threshold for swells and dips
6.4	Swells, dips	A4.1.3 d)	Check threshold for swells and dips
6.5	Voltage unbalance	A5.1.4	Check accuracy of voltage unbalance measurement
6.6	Voltage harmonics	A6.2.1	Check measuring uncertainty – single even harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.2	Check measuring uncertainty – single odd harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.3	Check measuring uncertainty – single high harmonic
6.6	Voltage harmonics	A6.2.4	Check measuring range – low end
6.6	Voltage harmonics	A6.2.5	Check measuring range – high end
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.2	Check measuring uncertainty – single low order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.3	Check measuring uncertainty – single medium order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.4	Check measuring uncertainty – single high order interharmonic
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.5	Check measuring range – low end
6.7	Voltage interharmonics	A7.2.6	Check measuring range – high end
6.8	MSV	A8.2.1 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.8	MSV	A8.2.2 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.8	MSV	A8.2.3 a)	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.13	RVC	A13.4.1	Check correct detection of RVC in a polyphase system
6.14	Current magnitude	A14.2.2	Check measuring uncertainty under reference conditions
6.15	Current harmonics	A15.2.1	Check measuring uncertainty – single even harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.2	Check measuring uncertainty – single odd harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.3	Check measuring uncertainty – single high harmonic
6.15	Current harmonics	A15.2.4	Check measuring range – low end
6.15	Current harmonics	A15.2.5	Check measuring range – high end
6.16	Current interharmonics	A16.2.2	Check measuring uncertainty – single low order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.3	Check measuring uncertainty – single medium order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.4	Check measuring uncertainty – single high order interharmonic
6.16	Current interharmonics	A16.2.5	Check measuring range – low end
6.16	Current interharmonics	A16.2.6	Check measuring range – high end
6.17	Current unbalance	A17.1.5	Check accuracy of current unbalance measurement

Abbildung 6: Auswahl von Prüfungen zum Prüfen von PQ-Messgeräten aus der Norm IEC 62586-2.

## 6 Zusammenfassung und nächste Schritte

Etwa 250 Einzelprüfungen für das Prüfen von PQ-Messgeräten wurden in 17 Prüfvorlagen implementiert, wobei Klarheit, Anwendbarkeit und Benutzerfreundlichkeit im Vordergrund standen. Nicht-PQ-Experten sollte es möglich sein, anhand dieser Vorlagen und eines 90-seitigen Benutzerhandbuchs alle in IEC 62586-2 aufgeführten Arten von Prüfungen für PQ-Messgeräte gemäß IEC 61000-4-30 durchzuführen.

Zusätzlich wird ein Entwurf für zukünftige Wartungsprüfungen von PQ-Messgeräten vorgestellt. Er enthält insbesondere Prüfungen, deren Ergebnis und Auswertung für Endanwender wie Versorgungs- oder Industrieunternehmen aussagekräftig und wichtig sind.

In einem nächsten Schritt wird das Konzept einer Wartungsprüfung weiterentwickelt werden. Die aktuelle Auswahl von Prüfungen soll wissenschaftlich begründet und angepasst werden.

Für die praktische Durchführung von Feldtests suchen wir nach Partnern, mit denen wir in Zusammenarbeit sicherstellen können, dass die ausgewählten Prüffälle für die Ausführung vor Ort geeignet sind und die gewünschten Ergebnisse zur Funktionalität und Genauigkeit der verwendeten PQ-Messgeräte erbringen.

## Referenzen

- [1] J. Manson und R. Targosz, „European Power Quality Survey Report,“ Leonard Energy, 2008.
- [2] R. Targosz und D. Chapman, „The Cost of Poor Power Quality,“ Leonardo Energy, 2015.
- [3] OMICRON, CMGPS 588 User Manual, Klaus: OMICRON, 2015.
- [4] Siemens, „Siemens.com,“ 2019. [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/energie/energieautomatisierung-und-smart-grid/netzqualitaet-und-messung/netzqualitaetsrekorder-sicam-q200.html>. [Zugriff am 21. Januar 2019].
- [5] IEC, 62586-2:2017 Power quality measurement in power supply systems - Part2: Functional tests and uncertainty requirements, Geneva: IEC, 2017.