



„Green Paper“

Power Quality im elektrischen Energieverteilnetz

Der Einsatz von intelligenten Messsystemen für Power Quality.

Version 1.0, 28. Mai 2020

Verein Smart Grid Industrie Schweiz
www.swissmig.ch



Impressum und Kontakt

Herausgeber

Verein Smart Grid Industrie Schweiz
c/o Kieffer ENERgency, Peter Kieffer
Sonnenweg 22, 5507 Mellingen
Tel. 079 403 09 38, www.swissmig.ch

Autoren (AG Power Quality)

Linus Buntschu	Landis+Gyr AG	
Peter Kieffer	Kieffer ENERgency	Protokoll/ Lektor
Philipp Lötscher	Kamstrup A/S	
Hugo Steiner	Girsberger Informatik AG	
Max Ulrich	Camille Bauer Metrawatt AG	AG-Leiter
Martin von Euw	smart grid solutions AG	

Beratung

IEC Arbeitsgruppen:

TC85 WG20

TC8 WG11

TC77A WG9

Berner Fachhochschule – Elektrotechnik + Informationstechnologie
TU Dresden – IEEH

Verteiler

Swissmig Mitglieder
Anspruchsgruppen
Interessenten

Copyright

©Swissmig – Verein Smart Grid Industrie Schweiz

Alle Rechte vorbehalten. Die gewerbliche Nutzung dieses Green Papers ist nur mit Zustimmung der Swissmig und gegen Vergütung gestattet. Die Autoren übernehmen keine Haftung für Fehler im Dokument und behalten sich das Recht vor, es ohne weitere Ankündigungen jederzeit zu ändern.

1 Inhalt

2	ZU DIESEM DOKUMENT.....	4
2.1	AUSGANGSLAGE.....	4
2.2	ZIELSETZUNG.....	4
2.3	GÜLTIGKEITSBEREICH	4
2.4	AUSBlick.....	4
3	EINFÜHRUNG IN DAS KONZEPT DER POWER QUALITY	5
3.1	POWER QUALITY – GESCHICHTLICHER RÜCKBLICK	5
3.2	WARUM BETRIFFT UNS NETZQUALITÄT?	6
3.3	POWER QUALITY BEGRIFFE	7
3.4	ANSPRUCHSGRUPPEN.....	8
3.5	NORMEN – DER SCHLÜSSEL ZU ZUVERLÄSSIGEN MESSUNGEN.....	12
4	RECHTLICHE ASPEKTE VON POWER QUALITY	13
4.1	POWER QUALITY UND PRODUKTHAFTUNG	13
4.2	PRODUKTNORM „ELEKTROENERGIE“ UND EN50160.....	13
4.3	RECHTSSICHERHEIT DER MESSUNGEN DURCH UNABHÄNGIGE ZERTIFIZIERUNG	14
4.4	STANDPUNKT DER ELCOM	14
5	POWER QUALITY IM SMART GRID.....	15
5.1	DEFINITION SMART GRID	15
5.2	PLANUNG	15
5.3	KONTINUIERLICHE ÜBERWACHUNG IM BETRIEB.....	16
5.4	PERIODISCHE ÜBERWACHUNG MIT MESSKAMPAGNEN.....	17
6	POWER QUALITY ANWENDUNGSFÄLLE MIT INTELLIGENTEN MESSSYSTEMEN	18
6.1	POWER QUALITY KONFORMITÄTSÜBERWACHUNG AM PCC Z.B. NACH EN50160	20
6.1.1	<i>Aufgabenstellung</i>	20
6.1.2	<i>Lösungsansatz</i>	21
6.1.3	<i>Nutzen und Herausforderungen</i>	22
6.2	VERBRAUCHERSEITIGE ÜBERWACHUNG DER NETZQUALITÄT Z.B. NACH IEC TR63191	23
6.2.1	<i>Aufgabenstellung</i>	23
6.2.2	<i>Lösungsansatz</i>	24
6.2.3	<i>Nutzen und Herausforderungen</i>	27
6.3	PQ-ÜBERWACHUNG VON BETRIEBSMITTEL	28
6.3.1	<i>Aufgabenstellung</i>	28
6.3.2	<i>Lösungsansatz</i>	28
6.3.3	<i>Nutzen und Herausforderungen</i>	29
6.4	PQ-ÜBERWACHUNG UND ALARMIERUNG VON SCHNELLEN PQ-EREIGNISSEN Z.B. IEC61000-2-2	30
6.4.1	<i>Aufgabenstellung</i>	30
6.4.2	<i>Lösungsansatz</i>	30
6.4.3	<i>Nutzen und Herausforderungen</i>	30
6.5	PQ-ÜBERWACHUNG ZUR BESSEREN NETZAUSNUTZUNG.....	31
6.5.1	<i>Aufgabenstellung</i>	31
6.5.2	<i>Lösungsansatz</i>	31
6.5.3	<i>Nutzen und Herausforderungen</i>	31
7	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	32
8	ANHANG	33
8.1	POWER QUALITY FORSCHUNGSPROJEKTE UND ARBEITSGRUPPEN	33
8.2	ABKÜRZUNGEN UND DEFINITIONEN	33
8.3	REFERENZDOKUMENTE.....	34

2 Zu diesem Dokument

2.1 Ausgangslage

Mit der flächendeckenden Einführung von intelligenten Messsystemen [13] in der Schweiz ist der erste Schritt in Richtung Smart Grid [7] getan. Da der Begriff Smart Grid sehr vielschichtig ist, beschloss die Swissmig eine Arbeitsgruppe einzusetzen, um die Möglichkeiten und den Nutzen von Power Quality [4] für den Einsatz mit intelligenten Messsystemen zu würdigen.

2.2 Zielsetzung

Das vorliegende Dokument dient als Diskussionsbasis zum Einsatz von intelligenten Messsystemen für Power Quality. Dazu wird die aktuelle und zukünftige Situation am Markt aufgezeigt, Beeinflusser sichtbar gemacht und konzeptionelle Lösungen für die korrekte Erfüllung der wichtigsten Power Quality Anwendungsfälle aufgezeigt.

Das Dokument «Green Paper Power Quality» im elektrischen Energieverteilnetz verfolgt drei konkrete Ziele:

- Erstens wird allen Nicht-PQ-Spezialisten in Kurzform das vielschichtige Konzept der Power Quality fundiert erklärt.
- Zweitens werden verständliche Lösungswege anhand von fünf Anwendungsfällen (Use Cases) aufgezeigt.
- Drittens werden die wesentlichen PQ-Überwachungsmöglichkeiten unter Nutzung intelligenter Messsysteme (Smart Metering) aufgezeigt.

2.3 Gültigkeitsbereich

Die Swissmig –Arbeitsgruppe PQ hat sich ausdrücklich auf das Mittel- und Niederspannungsnetz in der Verantwortung der Verteilnetzbetreiber beschränkt, während das Hochspannungsnetz in der Verantwortung von Swissgrid liegt.

2.4 Ausblick

Das Green Paper Power Quality soll lösungsneutral als Diskussionsgrundlage für die Swissmig-Mitglieder sowie für alle anderen Anspruchsgruppen im Smart Grid dienen.

Die Arbeitsgruppe PQ will aufgrund der Veränderungen am Markt (Smart Grid) den physikalischen, normativen und technologischen Sachverhalt von Power Quality aufzeigen sowie mögliche Lösungsszenarien mit allen Anspruchsgruppen diskutieren.

Für die Sicherstellung der elektrischen Energieversorgung im Smart Grid ist es aus Sicht der Swissmig zwingend erforderlich, auch das Konzept der Power Quality (Netzqualität) fundiert für heute sowie für die Zukunft zu würdigen und pragmatische Lösungswege für die Praxis aufzuzeigen.

3 Einführung in das Konzept der Power Quality

3.1 Power Quality – Geschichtlicher Rückblick

Verteilnetze für elektrische Energie werden seit der Fehde zwischen Thomas Edison und Nikola Tesla Ende des 19. Jahrhunderts mit Wechselspannung betrieben. Spannung und Strom waren sinusförmig mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz. Der sinusförmige Verlauf der Spannung ergab sich aus der Verwendung induktiver Generatoren zur Umwandlung mechanischer in elektrische Energie. Der Strom hatte denselben Verlauf, da seinerzeit die meisten Verbraucher, u. a. Glühlampen, Heizgeräte und Motoren lineare Lasten darstellten.

Seit der Erfindung von Halbleitern, insbesondere Leistungshalbleitern wie Thyristoren und Triacs und dem steigenden Einsatz von Leistungselektronik ab den 1970er-Jahren wurde es möglich, moderne Steuersysteme aufzubauen. Diese erlauben zwar eine erhebliche Steigerung der Effizienz und der Flexibilität. Nachteilig ist aber, dass sie nichtlineare Lasten sind, d.h. der aufgenommene Strom hat Frequenzanteile, die in der Spannung nicht enthalten sind. Dies führt einerseits zu einer zunehmenden Verschmutzung des Netzes durch Oberschwingungen und Zwischenharmonische, wodurch auch die Systemverluste steigen (Bild 1). Andererseits sind elektronische Verbraucher zunehmend empfindlich gegenüber solchen Störungen.

Das Konzept der Netzqualität (Power Quality) wurde als Antwort auf diese Problematik eingeführt [1].

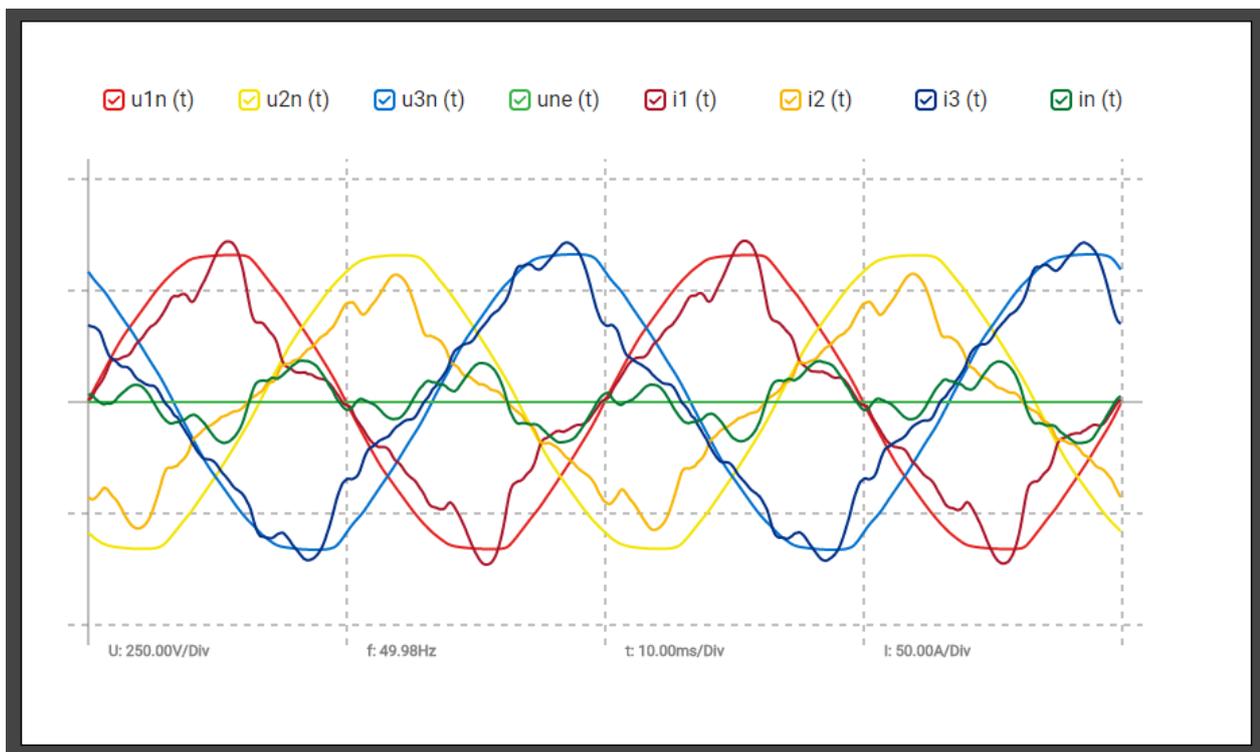


Bild 1: Strom- und Spannungsverlauf in der Haupteinspeisung eines Schweizer Elektronikproduzenten

3.2 Warum betrifft uns Netzqualität?

Die Gewährleistung ausreichender Netzqualität ist für den zuverlässigen Betrieb sowohl von Netzen als auch von an sie angeschlossenen Geräten wichtig. Aufgrund der Zunahme von Invertern und dezentralen Erzeugungsanlagen in Verteilnetzen und der Abnahme von ohmschen Verbrauchern gewinnt die Sicherstellung der Netzqualität an Bedeutung. Insbesondere die bidirektionalen Energieflüsse sowie deren Volatilität, verursacht durch Prosumer, stellen die Verteilnetze vor neue Herausforderungen.

Die verschiedenen Störungen wirken sich auf unterschiedliche Weise aus. Oberschwingungen beispielsweise erhöhen die Systemverluste in Transformatoren, Leitungen und Kabeln – die Übertragungskapazität sinkt. Zudem kann die Scheitelspannung das $\sqrt{2}$ -fache des Effektivwerts überschreiten, wodurch die Isolation belastet wird. Auch Menschen können durch die Netzqualität beeinflusst werden, wenn beispielsweise Spannungsfuktuationen zu flackernden Lampen führen. Spannungseinbrüche können empfindliche Fertigungsprozesse stören und zu teuren Produktionsausfällen führen.

Da es unmöglich ist, entweder alle Störungen der Netzqualität zu verhindern oder alle Geräte vollständig gegenüber diesen Störungen immun zu machen, werden Grenzwerte für die Aussendung von Störungen und für die Immunität vereinbart (Bild 1). Dies ist ein im Themenfeld der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) etabliertes Prinzip, welches Aspekte der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt. Aus diesem Grund lässt das EMV-Prinzip eine 5 % Störungswahrscheinlichkeit zu. Um dagegen gewappnet zu sein, muss man kontinuierlich messen und kann so die Störtrends frühzeitig erkennen und ist damit in der Lage, die geeigneten Gegenmassnahmen einzuleiten, bevor Störungen auftreten.

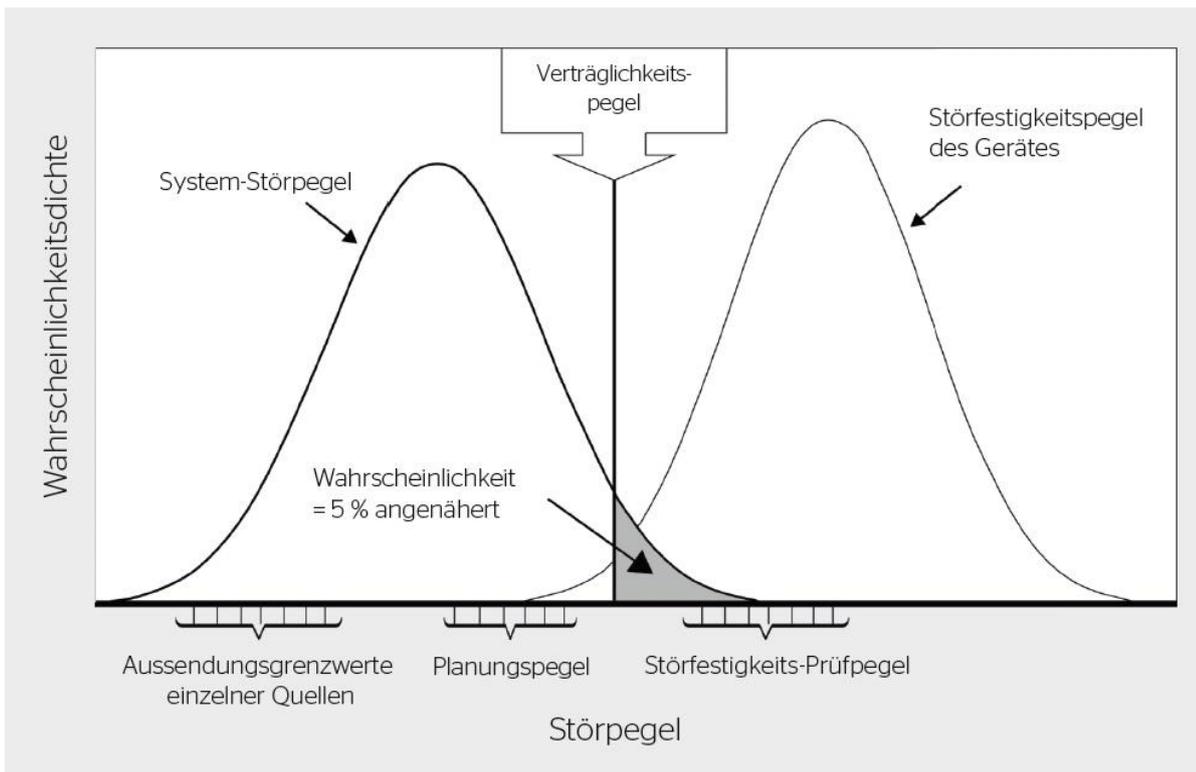


Bild 2: Prinzip der elektromagnetischen Verträglichkeit

Im Bereich der Normung ist die Betrachtung der Netzqualität auf den Frequenzbereich von 0 bis 2 kHz beschränkt, eine Erweiterung auf 150 kHz ist geplant.

Die Messung der Netzqualität erfordert spezifisch hierfür entwickelte Messgeräte. Zentral ist, dass verschiedene Messgeräte bei demselben Eingangssignal auch zumindest ähnliche Messwerte liefern. Diese Anforderung erscheint heute trivial, denn inzwischen gibt es Normen mit Definitionen, die klar, eindeutig und allgemein anerkannt sind. Lange war dies nicht der Fall. Messgeräte, die die relevanten Normen erfüllen, liefern bei demselben Eingangssignal vergleichbare Ergebnisse [1], [6].

3.3 Power Quality Begriffe

Das Thema Netzqualität ist inhaltlich sowie auch was die Begriffe angeht sehr komplex und die PQ-Expertensprache oft sehr schwer verständlich. Zur besseren Verständlichkeit der wichtigsten Power Quality Begriffe werden in einem ersten Schritt anhand von Bild 3 die wichtigsten Begriffe sowie deren Zuordnung kurz erklärt.

Zuerst muss man sich bewusst sein, dass es zwei Betrachtungsbereiche gibt, nämlich die **Qualität der Versorgung** sowie die **Qualität des Verbrauches bzw. der dezentralen Erzeuger**.

Der Netzbetreiber ist für die Qualität der Versorgung zuständig, welche sich zusammensetzt aus:

- der Versorgungszuverlässigkeit
- der Servicequalität
- der Spannungsqualität

Die Spannungsqualität wird am Verknüpfungspunkt (Point of Common Coupling – PCC) in der Regel nach der Norm EN50160 [3] beurteilt (Kapitel 4.1).

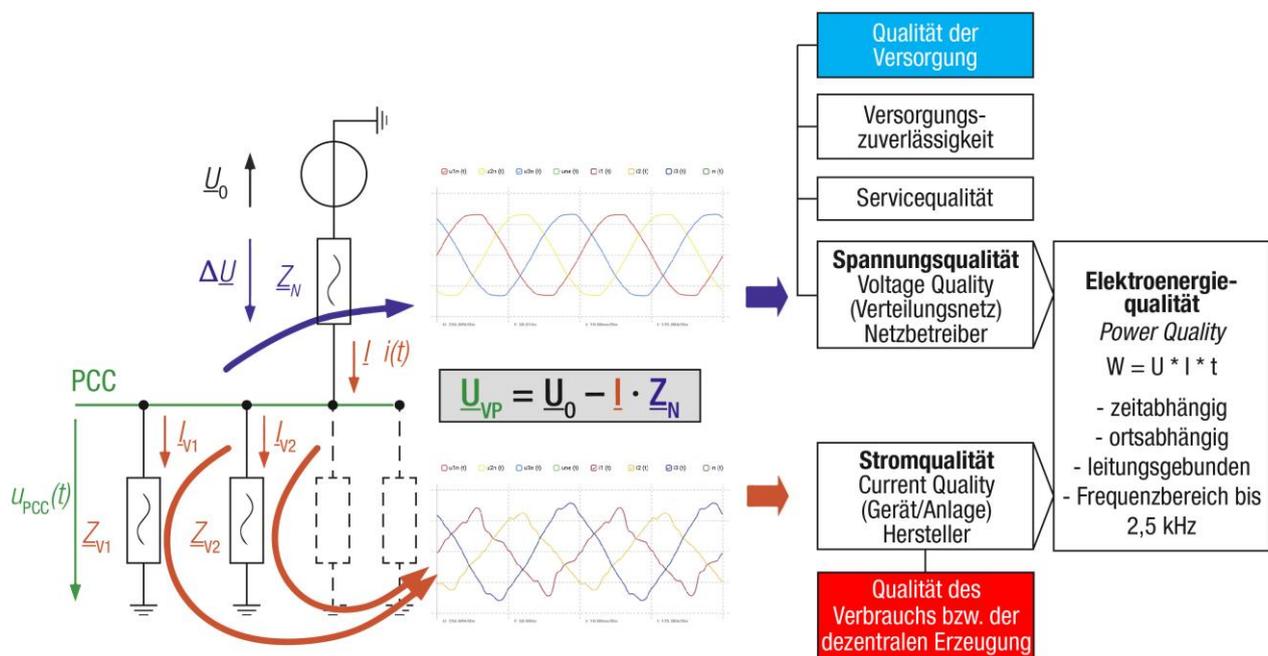


Bild 3: Begrifflichkeiten und Verantwortlichkeiten [2]

Jeder ans Netz angeschlossene Erzeuger oder Verbraucher hat Einfluss auf die Stromqualität, und kann einen erheblichen Einfluss auf die Stromqualität bewirken. Die Stromqualität wird aufgrund der zunehmenden nichtlinearen Verbraucher und steigenden dezentralen Einspeisungen, zum Beispiel von Photovoltaik-Anlagen, stark beeinflusst und wirkt auf die Spannung am Verknüpfungspunkt. Deren Wirkung ist in der Mitte der Grafik durch die aufgeführte Formel auch mathematisch nachvollziehbar und zeigt sich zudem visuell in der nicht sinusförmigen Darstellung des Stromverlaufes. Die durch die nichtlinearen Ströme verursachten Spannungsänderungen, technisch Netzzrückwirkungen genannt, können die Spannungsqualität am Verknüpfungspunkt beeinflussen. Im generellen sind Netzzrückwirkungen unerwünscht, da diese andere Netzteilnehmer stören können.

3.4 Anspruchsgruppen

Die Anspruchsgruppen (engl. Stakeholder) in der elektrischen Umgebung, welche Einfluss auf die Netzqualität ausüben, wurden im vorherigen Kapitel bereits thematisiert, es sind dies die:

- Erzeugerstruktur
- Netzstruktur
- Abnehmerstruktur

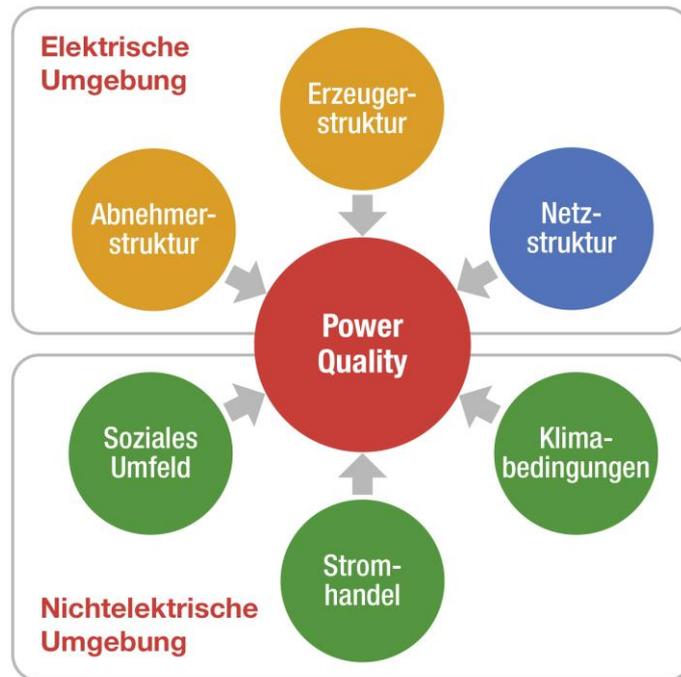


Bild 4: System der Einflussgrößen auf die Power Quality [Dr. Jan Meyer, TU Dresden]

Aufgrund der systemrelevanten Stellung der Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie hat auch die nichtelektrische Umgebung der Power Quality ein grosses Interesse an einem stabilen Stromnetz. Die Anspruchsgruppen in der nichtelektrischen Umgebung sind:

- das soziale Umfeld
- der Stromhandel
- die Klimabedingungen

Als Übersicht zeigen die Tabellen 1 und 2 die wichtigsten Anspruchsgruppen, deren Aufgaben, Interessen und gesetzlichen Pflichten:

PQ Anspruchsgruppen in der elektrischen Umgebung

Wer	Interesse	Pflichten
Energieerzeuger (Betreiber von Produktionsanlagen)	<ul style="list-style-type: none"> • 7x24 h Energie verkaufen 	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung der technischen Anschlussbedingungen des jeweiligen Netzbetreibers
Verteilnetzbetreiber	<ul style="list-style-type: none"> • 7x24 h Energie liefern und Dienste verkaufen • Keine Netzurückwirkungen durch Kundenanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung der EN50160 am Verknüpfungspunkt PCC
Energieverbraucher (Grossverbraucher z.B. Produktionsbetrieb) oder Prosumer	<ul style="list-style-type: none"> • PQ soll keinen Einfluss auf die Geschäftsprozesse haben • Fehlerfreier Betrieb der Maschinen und Anlagen • Keine Alterung der Maschinenanlagen durch PQ-Phänomene 	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung der technischen Anschlussbedingungen am Netzananschlusspunkt
Energieverbraucher (Kleinverbraucher, z.B. Haushalte oder Prosumer)	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlerfreier Betrieb der Geräte. • Keine Alterung der Geräte/ Infrastruktur durch PQ-Phänomene 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von CE-konformen Geräten
Gerätehersteller	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst effizient die Anforderungen für die EMV Zertifizierung einhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfüllung der Produktnormen und CE-Zeichen konform

Tabelle 1: Erzeuger-, Netz- und Abnehmerstruktur

PQ Anspruchsgruppen in der nichtelektrischen Umgebung

Wer	Auftrag/ Aufgaben der staatlichen Stellen gemäss deren Homepages
Politik und Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Gestaltet realistische Rahmenbedingungen für ein funktionierendes Markt-Design zur Gewährleistung einer sehr guten elektrischen Versorgungssicherheit auch in der Zukunft.
BFE Bundesamt für Energie	<ul style="list-style-type: none"> • schafft die Voraussetzungen für eine ausreichende, krisen-feste, breit gefächerte, wirtschaftliche und nachhaltige Energieversorgung; • sorgt für hohe Sicherheitsstandards bei der Produktion, dem Transport und der Nutzung von Energie; • schafft die Rahmenbedingungen für einen effizienten Strom- und Gasmarkt sowie eine angepasste Infrastruktur; • setzt sich ein für eine effiziente Energienutzung, für die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien sowie für die Senkung der CO₂-Emissionen; • fördert und koordiniert die nationale Energieforschung und unterstützt den Aufbau neuer Märkte für eine nachhaltige Energieversorgung und –nutzung.
ELCOM Eidgenössische Elektrizitätskommission	<ul style="list-style-type: none"> • kontrolliert die Elektrizitätstarife der Kunden ohne freien Netzzugang sowie die Netznutzungsentgelte. Die Kommission kann ungerechtfertigte Strompreiserhöhungen untersagen oder bei zu hohen Preisen Absenkungen verfügen. Sie ergreift die Initiative entweder aufgrund einer Klage oder von Amtes wegen. • vermittelt und entscheidet bei Streitigkeiten im Zusammenhang mit dem freien Zugang zum Stromnetz. Grossverbraucher (mit Jahresverbrauch von mindestens 100 MWh) können ab 1. Januar 2009 ihren Stromlieferanten frei wählen. Kleinkonsumenten werden voraussichtlich erst circa 2023 Zugang zum freien Markt erhalten, sofern die volle Marktöffnung politisch akzeptiert wird. • überwacht die Sicherheit der Stromversorgung und den Zustand der Stromnetze. • bestimmt die Verfahren für die Zuteilung von Netzkapazität bei Engpässen in grenzüberschreitenden Leitungen und koordiniert ihre Tätigkeit mit den europäischen Stromregulatoren. • übt eine umfassende Aufsicht über die nationale Netzgesellschaft (Swissgrid AG) aus, nachdem dieser das Eigentum am Übertragungsnetz übertragen worden ist (Entflechtung). • beaufsichtigt seit Inkrafttreten von Art. 26 a ff. StromVV am 1. Juli 2013 neu auch den Stromgrosshandel. • entscheidet in Streitigkeiten zu Rücklieferatarifen sowie zwischen Netzbetreiber und Eigenverbraucher.

Tabelle 2: Soziales Umfeld, Stromhandel, Klimabedingungen

<p>ESTI Eidgenössisches Starkstrominspektorat</p>	<p>Das ESTI ist gemäss der Verordnung über das Eidgenössische Starkstrominspektorat (SR 734.24) mit der technischen Aufsicht und Kontrolle für elektrische Anlagen in der ganzen Schweiz betraut. Das ESTI führt eine eigene Rechnung und untersteht der Aufsicht des Departements UVEK.</p> <p>Die Aufgaben des ESTI sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufsicht und Kontrolle über Bau, Betrieb und Instandhaltung von elektrischen Anlagen • Genehmigung von Schwach- und Starkstromanlagen • Bewilligung von Niederspannungserzeugnissen nach NEV • Erteilung von allgemeinen und eingeschränkten Installationsbewilligungen nach NIV • Erteilung von Kontrollbewilligungen • Führung eines öffentlichen Verzeichnisses der Installations- und Kontrollbewilligungen • Durchführung der Prüfungen, die zur Erlangung der eingeschränkten Installationsbewilligungen nach NIV erforderlich sind • Aufforderung zur Einreichung des Sicherheitsnachweises • Untersuchung und statistische Erfassung von Unfällen und Schadenfällen im Zusammenhang mit elektrischen Anlagen • Anerkennung der Gleichwertigkeit von ausländischen elektrotechnischen Berufsqualifikationen • Überprüfung von Anzeigen wegen möglicher strafbarer Verletzungen der NIV • Durchsetzung der periodischen Kontrollen • Mitwirkung bei der Gesetzgebung über elektrische Anlagen
<p>METAS Eidgenössisches Institut für Metrologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ist das Kompetenzzentrum des Bundes für alle Fragen des Messens, für Messmittel und Messverfahren. • ist das nationale Metrologieinstitut der Schweiz. Als solches hat es den Auftrag, dafür zu sorgen, dass in der Schweiz mit der Genauigkeit gemessen werden kann, wie es für die Belange der Wirtschaft, Forschung und Verwaltung erforderlich ist. • vollzieht seinen Auftrag zusammen mit Dritten: Im gesetzlichen Messwesen mit den Eichstellen sowie den Kantonen und deren Eichmeistern; in der Einheitenweitergabe mit seinen designierten Instituten. • steht an der Spitze der Messgenauigkeit in der Schweiz. Es erarbeitet die nationale Messbasis, das heisst es kümmert sich um die physikalische Realisierung, den gegenseitigen Vergleich und dadurch die internationale Anerkennung der Masseinheiten. Zu diesem Zweck betreibt es die hierfür benötigten Laboratorien und führt die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durch. • vollzieht das Messgesetz; seine weiteren Aufgaben werden durch das Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie beschrieben.

Tabelle 2 Fortsetzung: Soziales Umfeld, Stromhandel, Klimabedingungen

3.5 Normen – der Schlüssel zu zuverlässigen Messungen

Netzqualität zu normieren ist nicht einfach, da sowohl in der Breite als auch in der Tiefe Erfahrung benötigt wird, beispielsweise bezüglich Energietechnik, Netzqualitätsphänomenen, Messtechnik oder Signalverarbeitung. Die wichtigsten Normen zur Netzqualität werden von der Arbeitsgruppe IEC SC 77A WG 9 ausgearbeitet, aber auch Cenelec ist hier aktiv. Die Arbeitsgruppen setzen sich aus Experten von Messgeräteherstellern, aus der Elektrizitätswirtschaft, Hochschulen, nationalen Metrologieinstituten wie dem Eidgenössischen Institut für Metrologie METAS und privaten Prüfinstituten zusammen. Durch die breite Abstützung des erreichten Konsenses können praxiserichte Lösungen auch bei gegensätzlichen Interessen erarbeitet werden.

Die betreffende IEC-Normenreihe besteht aus diversen Teilen, die u. a. allgemeine Grundsätze, Emissionsgrenzen, Prüf- und Messtechniken, Installationsrichtlinien und Abhilfemassnahmen abdecken. Für Netzqualität sind vor allem die in Tabelle 3 aufgeführten Normen bedeutsam.

Allerdings führte die Normung der Messmethoden leider nicht zur beabsichtigten Vereinheitlichung der Implementierung in PQ-Messgeräten. In einigen Fällen haben Messgeräte, die sich auf diese Normen stützen, abweichende Messergebnisse geliefert. Daraufhin mussten Geräteklassen und Prüfverfahren normiert werden (Tabelle 3).

Ausserdem hat die Zertifizierung, also die Prüfung durch unabhängige Dritte, an Bedeutung gewonnen.

Diese Normungsaktivitäten sind Teil eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, der die Veränderungen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft abbildet. Besonders bei der Netzqualität haben sich die Anforderungen in den letzten zwei Jahrzehnten stark gewandelt. Bis 2003 die Norm IEC 61000-4-30 veröffentlicht wurde, waren fast nur Handgeräte zur Netzqualitätsmessung auf dem Markt. Diese verwendeten proprietäre Algorithmen. Die Norm hat einheitlichen Algorithmen für die verschiedenen Netzqualitätsphänomene zum Durchbruch verholfen. Ferner hat sie dazu geführt, dass Messgeräte verschiedener Hersteller vergleichbare Messergebnisse liefern. Erst diese bis dahin nur scheinbar triviale Anforderung erlaubt es, im Streitfall unzweifelhaft und gerichtsverwertbar nachzuweisen, ob die Anforderungen an die Netzqualität eingehalten wurden [1], [6]. Nachfolgend die Auflistung der wichtigsten Normen für Netzqualität, Geräteklassen und Prüfverfahren:

Norm	Kurzbeschreibung
DACHCZ	Technische Regeln zur Beurteilung von Netzzrückwirkungen
EN 50160	Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
IEC61000-2-2	Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen
IEC61000-2-12	Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Mittelspannungsnetzen
IEC 61000-4-7	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Prüf- und Messverfahren Allgemeiner Leitfadens für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen.
IEC 61000-4-15	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren Flickermeter – Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation
IEC 61000-4-30	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Prüf- und Messverfahren Prüf- und Messverfahren – Verfahren zur Messung der Spannungsqualität
IEC 62586-1	Messung der Spannungsqualität in Energieversorgungssystemen – Teil 1: Messgeräte für die Spannungsqualität
IEC 62586-2	Messung der Spannungsqualität in Energieversorgungssystemen – Teil 2: Funktionsprüfungen und Anforderungen an die Messunsicherheit
IEC 61557-12	Kombinierte Geräte zur Messung und Überwachung des Betriebsverhaltens

Tabelle 3: Wichtigste Normen für Netzqualität, Geräteklassen und Prüfverfahren

4 Rechtliche Aspekte von Power Quality

4.1 Power Quality und Produkthaftung

Der Begriff Elektrizität ist im Sinne der Gesetzgebung ein Produkt und untersteht damit dem Produkthaftungspflichtgesetz PrHG. In der folgenden Abbildung ist der relevante Auszug des Gesetzes dargestellt.

Bundesgesetz über die Produktheftpflicht Produktheftpflichtgesetz, PrHG vom 18. Juni 1993	
Artikel 3 Als Produkte im Sinne dieses Gesetzes gelten: a. jede bewegliche Sache, auch wenn sie einen Teil einer anderen beweglichen Sache oder einer unbeweglichen Sache bildet, und b. Elektrizität.	Artikel 4 Ein Produkt ist fehlerhaft, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die man unter Berücksichtigung aller Umstände zu erwarten berechtigt ist; insbesondere sind zu berücksichtigen: a) die Art und Weise, in der es dem Publikum präsentiert wird; ... Erfordernis der Entwicklung einer Produktnorm «Elektroenergie»

Bild 5: Elektrizität als Produkt im Sinne der Produkthaftungspflicht [2], [5]

4.2 Produktnorm „Elektroenergie“ und EN50160

Zum Zeitpunkt der Gesetzesausgabe Produkthaftungspflicht gab es zur „Elektroenergie“ (Kapitel 3.3.), auf Neudeutsch Power Quality, keine Produktnorm so wie wir das von anderen Geräten kennen. Aus diesem Erfordernis heraus entstand die Europäische Norm EN50160 [3], welche die Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizität –Versorgungsnetzen festlegt. Die EN 50160 beschreibt das Produkt „Elektroenergie“ anhand folgender Spannungs-Qualitätskenngrößen:

- Netzfrequenz
- Spannungsänderungen
- Flicker
- Unsymmetrie
- Oberschwingungen
- Netz-Signalübertragungsspannungen

Die EN 50160 gilt an der Übergabestelle zwischen öffentlichem Netz und Kunden für normale Betriebsbedingungen. Eine Ausserkraftsetzung der EN50160 ist für Sonderbedingungen, zum Beispiel bei der Notversorgung, möglich. Zudem kann die EN 50160 durch gesonderte vertragliche Vereinbarungen ganz oder teilweise ausser Kraft gesetzt werden.

In der Norm EN50160 sind die Wertebereiche festgelegt, innerhalb welcher jeder Kunde in Europa die Spannungsqualität in den öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen erwarten kann. Somit hat jeder Verteilnetzbetreiber diese Norm zu erfüllen, ansonsten verletzt er die Produkthaftungspflicht und kann rechtlich belangt werden.

4.3 Rechtssicherheit der Messungen durch unabhängige Zertifizierung

Die Zertifizierung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Sie ist gemäss ISO 17000 die auf Prüfungen gestützte Bestätigung, dass ein Gerät die Anforderungen erfüllt, sofern sie von einem unabhängigen Dritten ausgeführt wird. Dieser ist in der Regel ein nationales Metrologie-Institut oder ein akkreditiertes, privates Prüfinstitut. Rechtlich vorgeschrieben ist die Zertifizierung nicht. Im Gegensatz zur Bestätigung des Herstellers oder Importeurs bietet sie dem Käufer dadurch einen Mehrwert, dass die zertifizierende Stelle unabhängig ist – sie ist weder durch kommerzielle Interessen des Herstellers noch durch eine Beteiligung an der Entwicklung befangen. Die Zertifizierung eines Netzqualitätsmessgeräts nach IEC 62586-2 erfordert mehr als 150 zum Teil aufwändige Prüfungen. Hierzu ist sowohl eine umfangreiche, auf das Internationale Einheitensystem SI durch Kalibrierung zurückgeführte Prüfinfrastruktur als auch Erfahrung notwendig. Das METAS hat seine Mess- und Prüfinfrastruktur für Phasor Measurement Units (PMUs) auf Netzqualitätsgrössen erweitert und kann nun, als eines von wenigen Laboratorien weltweit, PMUs nach IEEE C37.118 und Netzqualitätsmessgeräte nach IEC 62586 kalibrieren, prüfen und zertifizieren. Der PMU-Messplatz erlaubt es, Spannungs- und Stromsignale UTC-synchronisiert zu erzeugen und ist durch Kalibrierung auf das Internationale Einheitensystem SI zurückgeführt [6].

4.4 Standpunkt der ELCOM

Für die Darlegung des Standpunktes der ElCom zur Spannungsqualität verweisen wir auf die immer noch gültige ElCom Mitteilung [9]. An dieser Stelle ein kurzer Auszug davon:

.....

- Die Mehrheit der Netzbetreiber orientiert sich bezüglich den Messkriterien an der europäischen Norm (EN) 50160 über die «Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen».
- Die Netzbetreiber gehen grösstenteils davon aus, dass die Spannungsqualität in den Stromnetzen zukünftig an Bedeutung gewinnen wird.

Die Messung der Spannungsqualität ist Aufgabe der Netzbetreiber. Diese haben im Rahmen ihrer Betriebsführungspflichten darauf zu achten, dass den Endverbrauchern eine Spannung in entsprechender Qualität zur Verfügung gestellt wird. Die Spannungsqualität kann auch als Kriterium zur Beurteilung der Schweizer Netzqualität und Versorgungssicherheit angesehen werden.

.....

Die Netzbetreiber haben der ElCom keine Daten zur Spannungsqualität einzureichen. Je nach Entwicklung der Netzqualität und Versorgungssicherheit behält sich die ElCom aber vor, zu einem späteren Zeitpunkt verpflichtende Vorgaben zu erlassen.

5 Power Quality im Smart Grid

5.1 Definition Smart Grid

Als ein Smart Grid wird ein elektrisches System verstanden, das unter Einbezug von Mess- sowie meist digitaler Informations- und Kommunikationstechnologien den Austausch elektrischer Energie aus verschiedenartigen Quellen mit Konsumenten verschiedener Bedarfscharakteristika intelligent sicherstellt. Ein solches System soll den Bedürfnissen aller Marktakteure und der Gesellschaft Rechnung tragen. Die Nutzung und der Betrieb des Systems können dadurch optimiert und effizienter gestaltet werden, die Kosten und der Umwelteinfluss können minimiert und die Versorgungsqualität und –sicherheit in ausreichend hohem Masse gewährleistet werden [7].

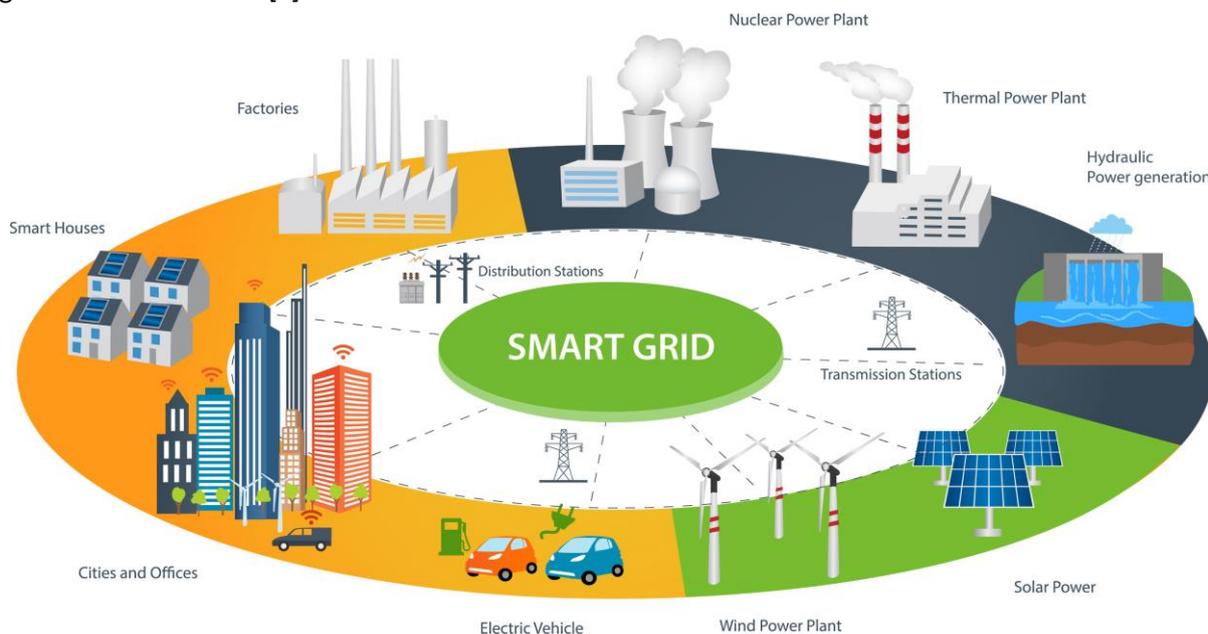


Bild 6: Grafische Darstellung Smart Grid

5.2 Planung

Aufgrund des verstärkten Einsatzes von Leistungselektronik in Smart Grids (Kapitel 3.2) und damit verbunden die Zunahme an nichtlinearen Erzeugern und Verbrauchern in den Verteilnetzen, wurde die Richtlinie zur Beurteilung der Netzurückwirkungen DACHCZ [10] erarbeitet. Damit haben die Netzbetreiber ein Planungswerkzeug, um die von den an ihren Netzen angeschlossenen elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen verursachten Netzurückwirkungen und deren Auswirkungen auch unter den sich ändernden Rahmenbedingungen, im vertraglichen Rahmen zu halten.

Im Sinne einer sachgerechten Aufteilung der resultierenden Verantwortung werden hierfür die folgenden Aktionsfelder betrachtet:

- geeignete planerische und operative Maßnahmen in den Netzen, unter Abwägung der objektiven Qualitätsanforderungen und der wirtschaftlichen Vertretbarkeit
- eine angepasste Setzung von Grenzwerten für Anforderungen an elektrische Geräte und Einrichtungen in den entsprechenden EMV-Normen sowie deren Einhaltung
- nötigenfalls die Auflage zur Vornahme technischer Maßnahmen zur Minderung von Netzurückwirkungen

Die DACHCZ Regel strebt die Sicherung einer einheitlichen Vorgehensweise bei der Beurteilung von Netzurückwirkungen in Niederspannungs- und Mittelspannungsnetzen an Hand der in den Normen angegebenen Grenz- und Richtwerte an.

5.3 Kontinuierliche Überwachung im Betrieb

Dieser Abschnitt erläutert die Anwendungsfelder von Power Quality im operativen Betrieb. Dazu werden die Anwendungen in zwei Hauptgruppen unterteilt:

- Überwachung der Netzqualität am PCC
- Überwachung der verbraucherseitigen Netzqualität

Die beiden oben erwähnten Überwachungsmethoden ermöglichen eine Langzeitbetrachtung der angeschlossenen Verbraucher. Dies ermöglicht eine gezielte Erneuerungs- und Instandhaltungsstrategie. Weiter dienen die Messgrößen einer effizienteren Planung, welche es ermöglicht die Infrastruktur technisch und wirtschaftlich optimal auszulegen.

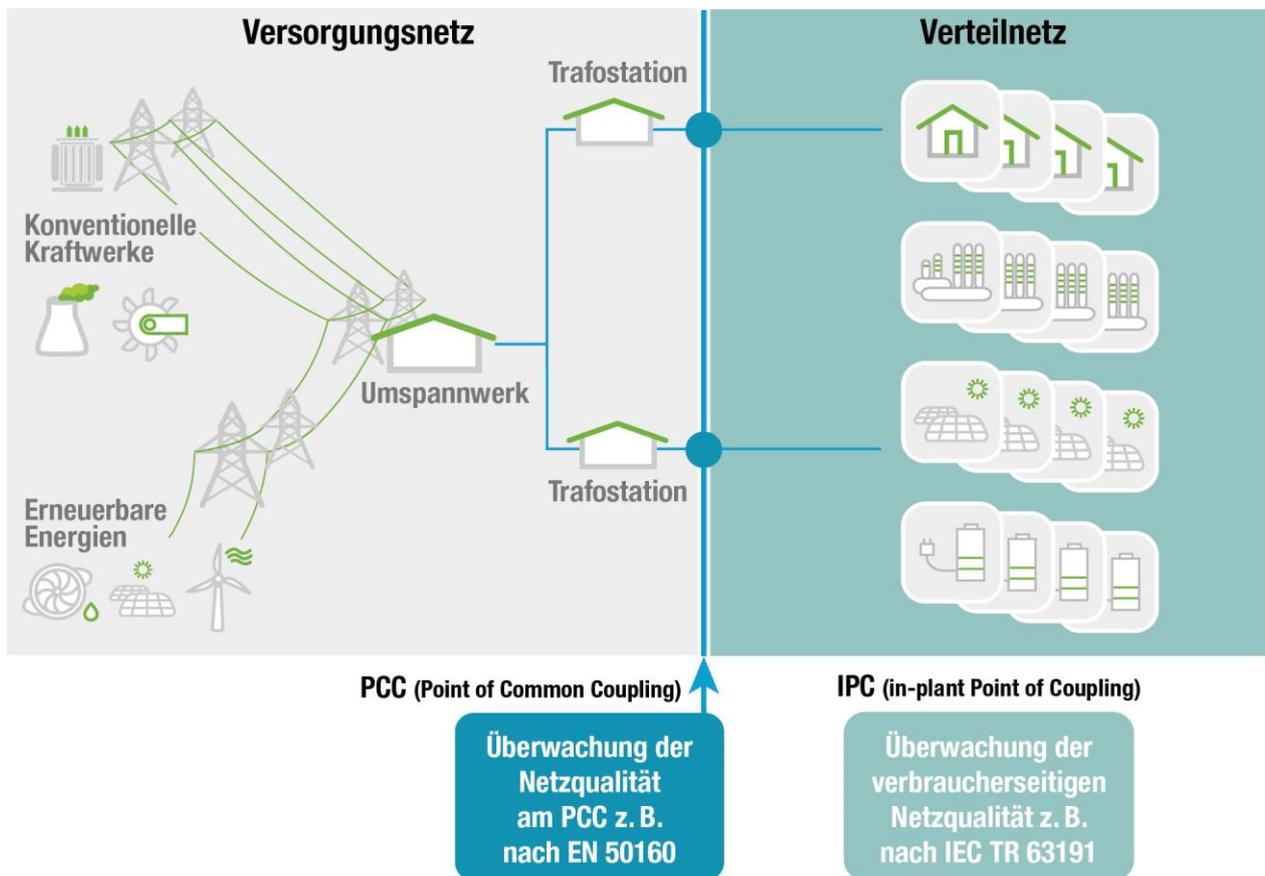


Bild 7: Überwachung der Netzqualität am PCC und IPC (vereinfachte Darstellung)

Überwachung der Netzqualität am PCC z.B. nach EN50160

Derzeit wird die Spannung am Verknüpfungspunkt (PCC) in den meisten Fällen nicht kontinuierlich hinsichtlich der PQ überwacht. Eine permanente PQ-Überwachung kommt oft erst zum Einsatz, wenn der Anschlussnehmer oder Netzbetreiber eine Verletzung der gültigen Normen vermutet oder feststellt.

In Zukunft kann eine dauernde Überwachung sinnvoll sein, da der Netzbetreiber damit wertvolle Informationen, zum Beispiel über die PQ-Netzauslastung erhält und jederzeit den Nachweis erbringen kann, dass er seine Netze normkonform betreibt. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die EN50160 Überwachung der Spannung am PCC erfolgt. Eine Messung von Power Quality z.B. an der Sammelschiene in der Transformatorenstation kann dazu nicht als Nachweis beigezogen werden.

Überwachung der verbraucherseitigen Netzqualität z.B. nach IEC TR 63191 [4]

Eine Überwachung auf der Seite des Netzanschlussnehmers, also nach dem Verknüpfungspunkt (PCC), kann sehr nützlich sein. Insbesondere bei Verbrauchern mit grossen Umrichtern, (z.B. Heizzentralen), kommt es möglicherweise zwar zu keinen Grenzwertverletzungen der geltenden Norm, jedoch beschleunigt z.B. die gesamte harmonische Verzerrung (THD) den Alterungsprozess von Geräten und führt zu ungeplanten Ausfällen (Kapitel 6.3.1).

Mittels lokalen Messungen beim Netzanschlussnehmer kann eine problematische Netzqualität frühzeitig erkannt und somit präventive Massnahmen ergriffen werden.

5.4 Periodische Überwachung mit Messkampagnen

Um die geforderte Netzqualität zu überprüfen, respektive stichprobenartig nachzuweisen, wird heute in der Schweiz vereinzelt mit der VSE-Messkampagne gearbeitet, welche mittels Stichproben (2-mal pro Jahr) die Netzqualitätsgrössen für EN50160 Auswertungen erfasst.

Zur Standardisierung solcher PQ-Auswertungen, entwickelte der VSE das Online Tool NeQual© – Power Quality Monitoring nach SN EN 50160 [8]. Dieses Tool ermöglicht es, die gemessenen Daten standardisiert zu erfassen und auszuwerten. Mit diesem Tool ist die Vergleichbarkeit der Messwerte gegeben und ein Benchmarking zwischen den Netzbetreibern durchführbar.

Heute hat der Netzbetreiber keine gesetzliche Nachweispflicht der Netzqualität zu leisten [9]. Aus diesem Grund wird Überschreitungen von normativen Grenzwerten (z.B. EN50160), insbesondere bei zu hohen Harmonischen, nicht nachgegangen. Eine gezielte Störfallanalyse erfolgt oft erst dann, wenn der Kunde reklamiert oder es zu betrieblichen Einschränkungen beim Verteilnetzbetreiber kommt.

6 Power Quality Anwendungsfälle mit intelligenten Messsystemen

Definition intelligenter Messsysteme

Vor der Markteinführung von intelligenten Messsystemen (iMS) wurden die rechtlichen Grundlagen und Rahmenbedingungen durch den Gesetzgeber festgelegt [13]. Diese sind wie folgt definiert:

(1) Im StromVG, Art. 17a ist das iMS wie folgt definiert:

«Ein intelligentes Messsystem beim Endverbraucher, Erzeuger oder Speicher ist eine Messeinrichtung zur Erfassung elektrischer Energie, die eine bidirektionale Datenübertragung unterstützt und den tatsächlichen Energiefluss und dessen zeitlichen Verlauf erfasst.»

(2) Die Definition des StromVG umfasst nebst iMS noch weitere Einrichtungen, die nicht unmittelbar zum intelligenten Messgerät gehören, aber mit demselben noch zu verbinden sind. Diese Betrachtung erfolgt unter dem Gesichtspunkt, dass ein intelligentes Messgerät letztlich nur dann seinen Nutzen vollumfänglich entfalten kann, wenn es in ein entsprechend funktionsfähiges Kommunikationssystem und in ein Zähldatenverarbeitungssystem eingebunden werden kann.

(3) Bild 8 veranschaulicht die Logik der Definition von iMS

(4) Die technischen Mindestanforderungen und die Einführung der iMS sind in der StromVV, im Art. 8a geregelt, welche seit 1. Januar 2018 in Kraft ist. Das schafft Rechts- und Investitionssicherheit für den VNB.

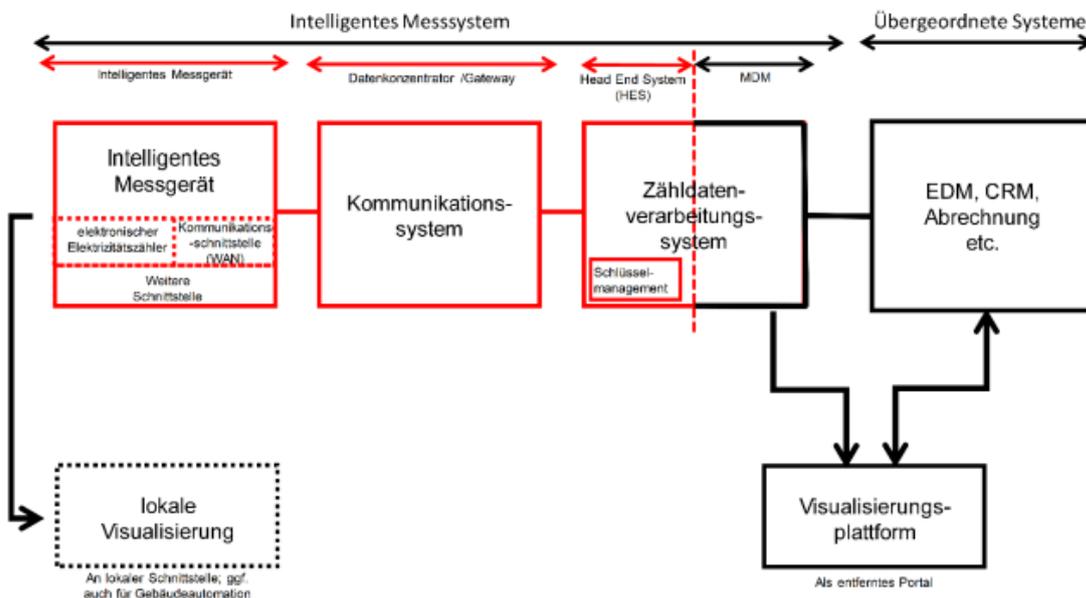


Bild 8: Intelligentes Messsystem [13]

Anwendungsfälle von intelligenten Messsystemen für Power Quality

Am Beispiel der wichtigsten Power Quality Anwendungsfälle (Use-Cases) werden die Aufgabenstellung, die Lösung und der Nutzen sowie die Herausforderungen einer PQ-Überwachung mit intelligenten Messsystemen aufgezeigt. Die bedeutendsten fünf Anwendungsfälle für die PQ-Überwachung im Verteilnetz sind:

1. **Power Quality Konformitätsüberwachung am PCC** z.B. nach EN50160
2. **Verbraucherseitige PQ-Überwachung** z.B. nach IEC TR63191
3. **PQ-Überwachung von Betriebsmitteln mit ITIC-Kurve** [14]
4. **PQ Überwachung und Alarmierung bei schnellen PQ-Ereignissen** z.B. nach IEC61000-4-30
5. **PQ Überwachung zur besseren Netzausnutzung** (Realität vs DACHCZ-Bewertung)

Anwendungsfall	Auswertung von	Kundennutzen
Power Quality Konformitätsüberwachung am PCC z.B. nach EN50160	1-wöchiges, gleitendes Auswertefenster z.B. nach EN50160 in welchem die Einhaltung von 95% überwacht und bewertet wird	Überwachung der PQ-Qualität im Sinne vom PrHG
Verbraucherseitige PQ-Überwachung z.B. nach IEC63191	Verfolgung der Tendenz spezifischer Messwerte betreffend deren Veränderung des Median und der Gauss-Verteilung	Erkennen von Trends via Indizes (Perzentils)
PQ-Überwachung von Betriebsmitteln	PQ-Ereignisse gemessen nach IEC61000-4-30 werden in die drei Bereiche der ITIC-Kurve abgebildet und auf Funktion, Schädigung ausgewertet.	Auswertung in der ITIC Kurve zur vorausschauenden Wartung von Betriebsmitteln und Anlagen
PQ Überwachung und Alarmierung bei schnellen PQ-Ereignissen z.B. IEC61000-2-2	Sofortige Alarmmeldungen aufgrund auftretender PQ-Ereignisse z.B. gemäss IEC61000-2-2	Suche nach dem Verursacher, Abhilfemassnahmen einleiten und Wirksamkeit überprüfen
PQ Überwachung zur besseren Netzausnutzung	Gemessene PQ-Grenzwertverletzungen nach DACHCZ und Bewertung des Einflusses auf die Einhaltung z.B. der EN50160	Messen mit proaktivem Handeln als Alternative zum Netzausbau

Tabelle 4: Anwendungsfälle, Auswertung und Kundennutzen

Die Power Quality Informationen aus dem Feld können je nach Anwendungsfall an der dafür geeigneten Stelle in die IMS-Infrastruktur eingespeist werden. Dafür ist sicher zu stellen, dass das iMS-Kommunikationssystem, für die Übertragung der Power Quality Informationen, über eine genügend grosse Bandbreite verfügt.

6.1 Power Quality Konformitätsüberwachung am PCC z.B. nach EN50160

6.1.1 Aufgabenstellung

Die Konformitätsüberwachung der Power Quality nach der EN50160 erfolgt an den Übergabestellen (PCC) vom Verteilnetzbetreiber zu Kundenanlagen (Bild 3). Dazu werden die für die EN50160-Bewertung notwendigen Daten über ein Netzwerk von Messgeräten erfasst und mittels einer dazu geeigneten Software ausgewertet, visualisiert und in einer Datenbank gespeichert.

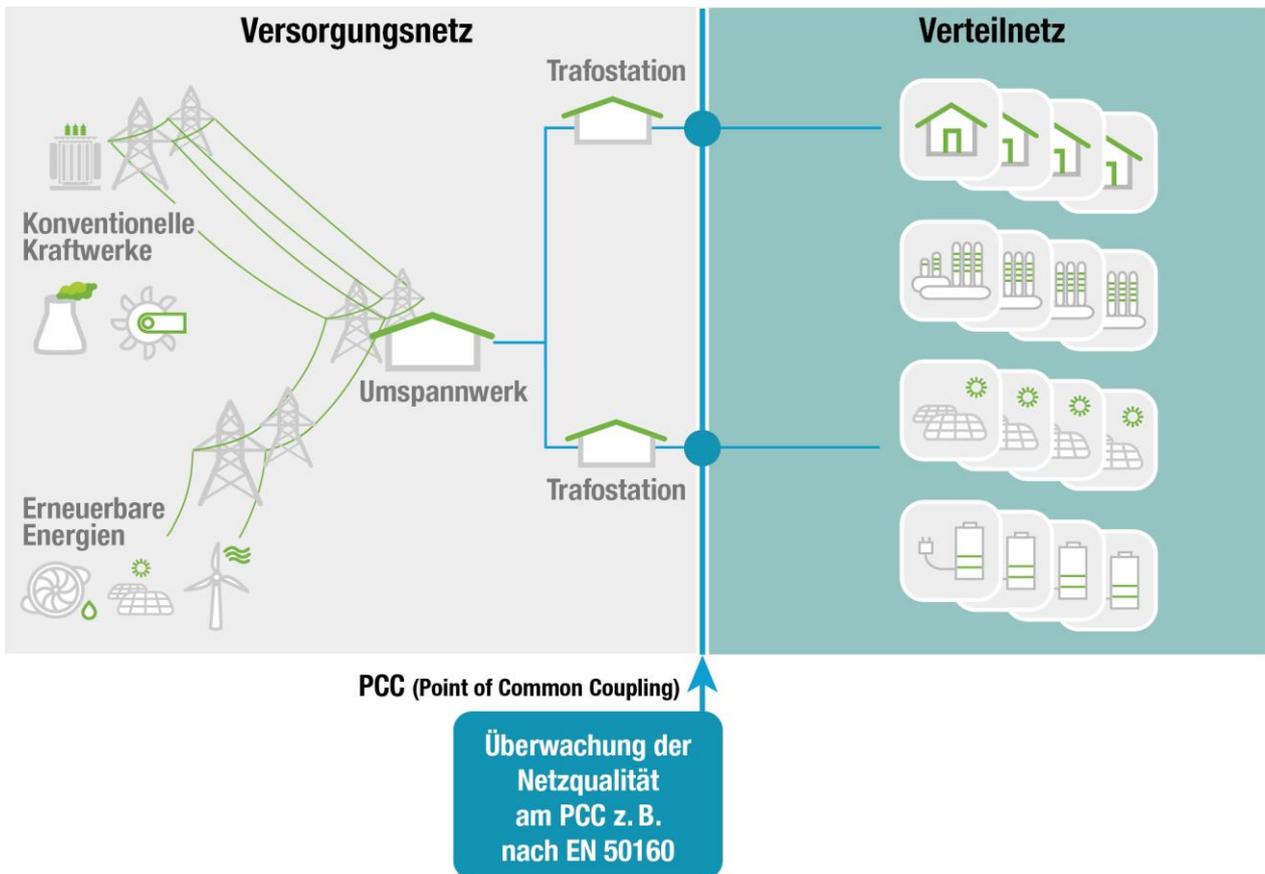


Bild 9: Anwendungsbereich der Spannungsqualitätsüberwachung nach EN50160 am PCC (vereinfachte Darstellung)

6.1.2 Lösungsansatz

Die Power Quality Konformitätsüberwachung am PCC wird mittels PQI Klasse A Messgeräten durchgeführt. Dazu werden die in der EN50160 vorgeschriebenen Messungen ausgeführt, die Daten normativ aggregiert und über ein IMS-Kommunikationssystem in ein übergeordnetes System eingebunden, dort analysiert, visualisiert und archiviert.

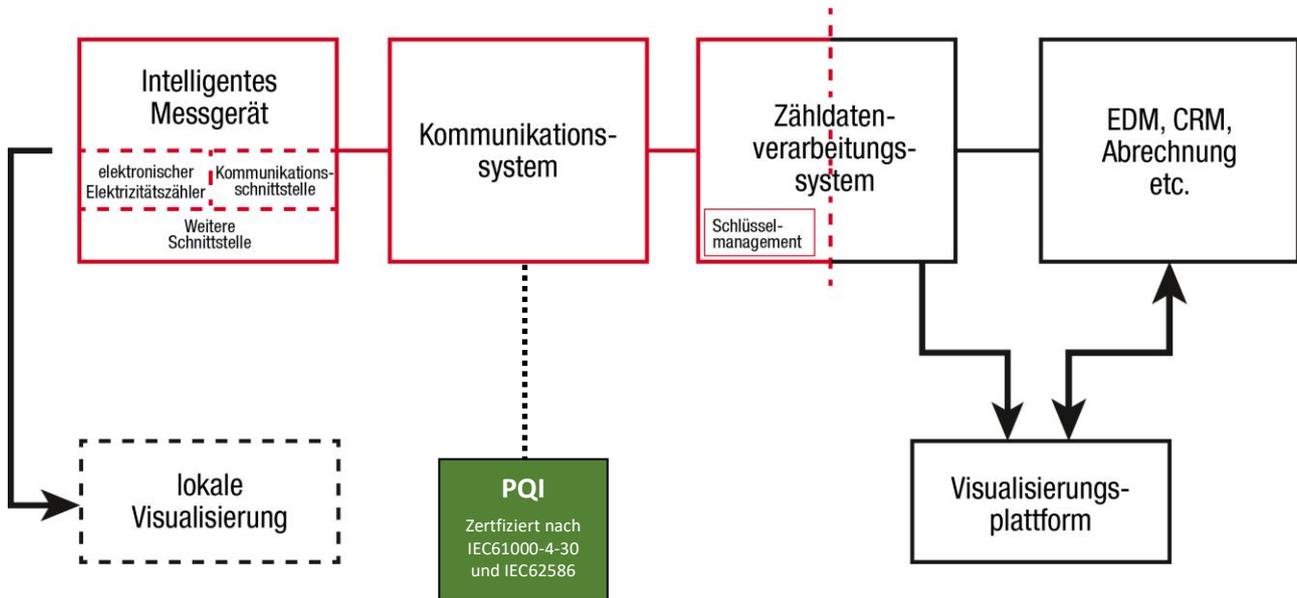


Bild 10: Intelligentes Messsystem (iMS) Systemarchitektur erweitert mit PQI

Die europäische Norm EN50160 legt den Messumfang und die einzuhaltenden Grenzwerte am PCC fest. Die EN50160 fordert die statistische Bewertung der Spannungskennwerte von Netzfrequenz, Spannungsänderungen, Flicker, Unsymmetrie, Oberschwingungen und Netz-Signalübertragungsspannungen und erfolgt kontinuierlich in einem gleitenden 1-Wochen Fenster.

Die Bewertung wird zum besseren und schnelleren Verständnis üblicherweise in grafischer Form dargestellt (Bild 11). Die farbliche Darstellung der Kennwerte zeigt in grüner Farbe welche Werte der Norm genügen und die roten Werte stehen für normative Grenzwertverletzungen. Zudem geben die gelben Balken einen Überblick, welche Werte nicht vollständig erfasst worden sind.

Übersicht

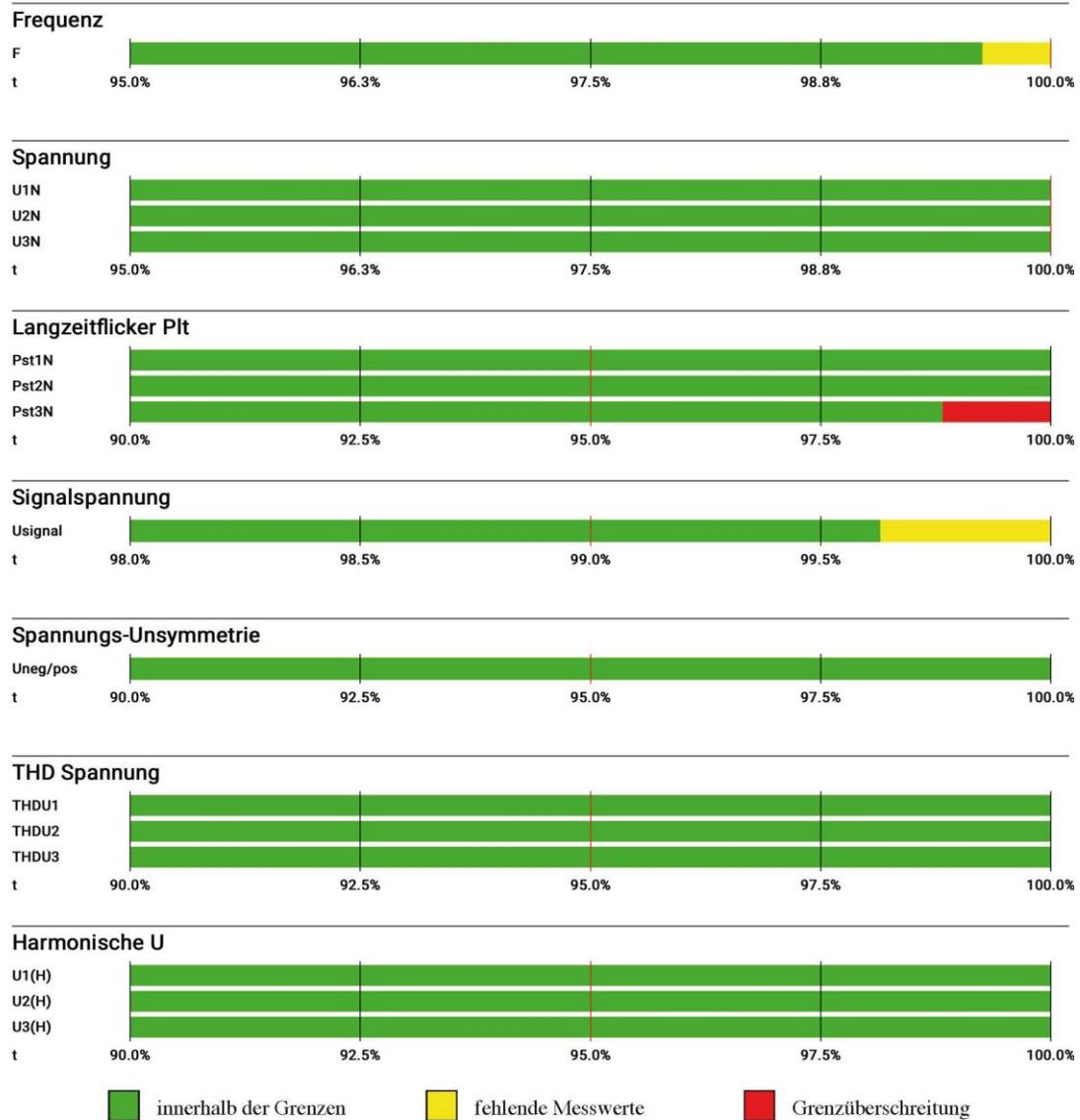


Bild 11: Grafische Darstellung der Auswertung nach EN50160 am PCC

6.1.3 Nutzen und Herausforderungen

Der Nutzen einer Konformitätsüberwachung liegt in der Protokollierung, um Rechtsansprüche im Sinne der Produkthaftung geltend zu machen. Diese Art von Überwachung ist für den Netzbetreiber auch ein sehr guter, vorlaufender Indikator, um frühzeitig zu erkennen, wohin der PQ-Netzauslastungstrend läuft. Eine Herausforderung der sehr hilfreichen und anerkannten Konformitätsüberwachung nach EN50160 sind sicher die Kosten. Denn neben den Geräte- und Installationskosten sind die Kosten für die kontinuierliche Datenauswertung und die abzuleitenden Massnahmen sicher die wichtigsten Ausgaben bei einer grossflächigen Überwachung der EN50160. Die Kosten werden jedoch um Faktoren kleiner, wenn eine Konformitätsüberwachung der Spannungsqualität als Baustein einer Smart Metering und/ oder Smart Grid Lösung geplant und als Teil einer Gesamtlösung umgesetzt werden kann.

6.2 Verbraucherseitige Überwachung der Netzqualität z.B. nach IEC TR63191

6.2.1 Aufgabenstellung

Für die verbraucherseitige Überwachung der Netzqualität (Demand Side Power Quality, DSPQ) hat die Expertengruppe des IEC TC85 den Technical Report IEC TR63191 verfasst und publiziert. In diesem Report wird die Vorgehensweise zur kontinuierlichen Überwachung von relevanten Netzqualitätsmerkmalen bei Verbrauchern detailliert beschrieben. Das Konzept der DSPQ wird für die systematische Einführung, den Betrieb und den Unterhalt eines PQ-Überwachungssystems angewendet. Der Anwendungsbereich der DSPQ ist in Bild 12 dargestellt und ist eine folgerichtige Ergänzung zur Überwachung der Netzqualität am PCC.

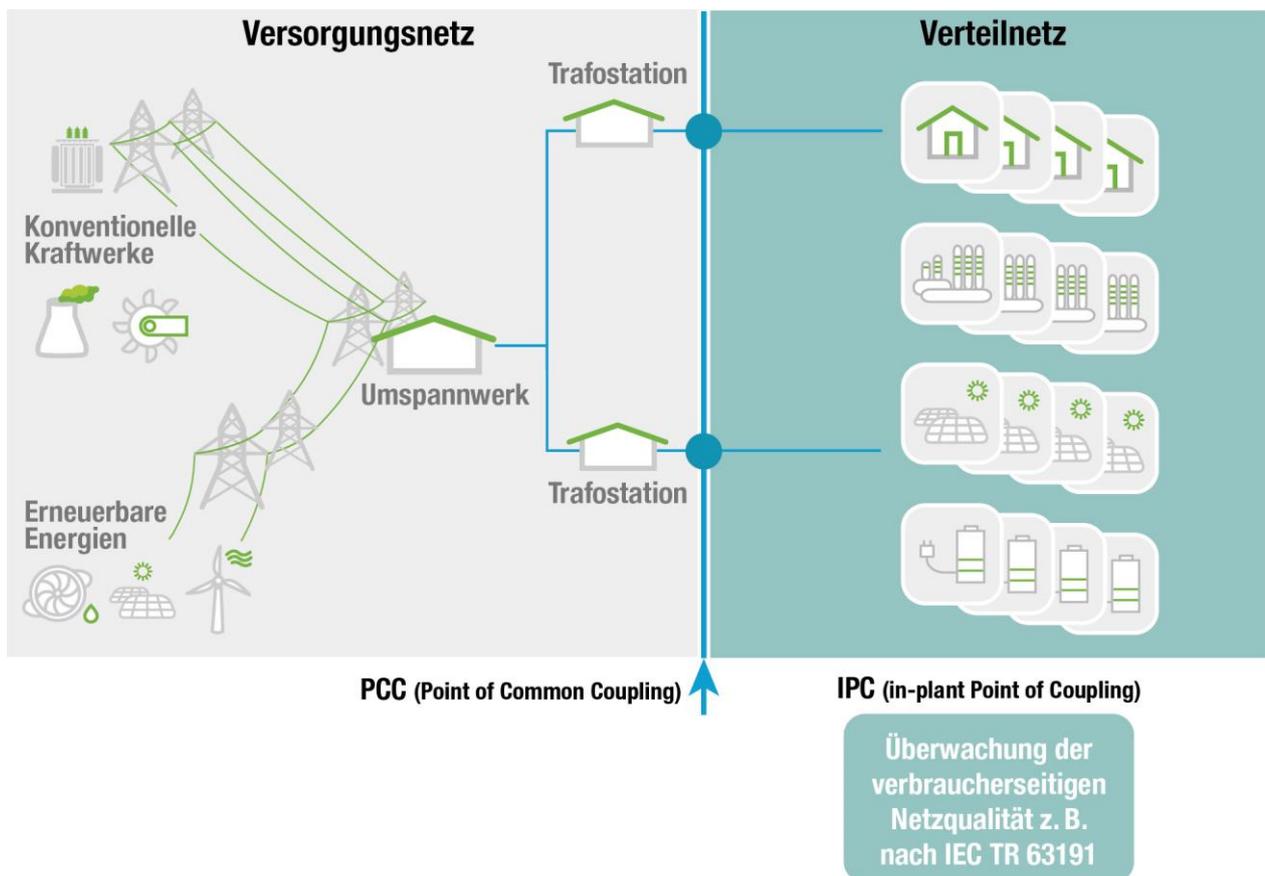


Bild 12: Anwendungsbereich der verbraucherseitigen Netzqualitätsüberwachung (DSPQ nach IEC TR 63191, vereinfachte Darstellung)

6.2.2 Lösungsansatz

6.2.2.1 Übersicht

Einige auf dem Markt erhältliche iMS sind bereits heute in der Lage, die Netzqualitätsinformationen zu erfassen und an das Head End System bzw. an das Meter Data Management System weiterzugeben. Die erfassten PQ-Daten werden im übergeordneten System analysiert und gespeichert.

Zur Erfassung von relevanten Netzqualitätsinformationen aus dem Feld gibt es drei Möglichkeiten:

1. Netzqualitätsmessgerät (PQI) zertifiziert nach IEC61000-4-30 und IEC62586
2. Multifunktionale Messgeräte (PMD) nach IEC61557-12
3. Intelligentes Messgerät mit PQ-Zusatzfunktionen (keine Gerätenorm vorhanden)

Die Auswahl des Messgerätes erfolgt aufgrund der für die Messaufgabe geforderten Qualität sowie dem notwendigen PQ-Informationsumfang. Die nachfolgende Gegenüberstellung gibt auszugswise einen Überblick über den Leistungsumfang sowie die typischen Preise von PQI, PMD sowie iMG mit PQ-Zusatzfunktionalität. Diese Angaben können je nach Hersteller abweichen.

	PQI Klasse A	PMD Klasse 3X	iMG mit PQ- Zusatzfunktionen
PQ-Messfunktionalität	Vollständig nach PQ-Normen IEC61000-4-30 und IEC62586 für Spannung und Strom	<ul style="list-style-type: none"> • Oberschwingungsanalyse nach IEC 61000-4-7 • Störschreiber: Aufzeichnung von Spannungsergebnissen nach PQ-Norm IEC 61000-4-30 für Spannung und Strom 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht normative Erfassen von Spannungsoberwellen • rudimentäre Spannungspegelüberwachung
EN50160 Report-Fähigkeit	ja	teilweise	nein
PQ-Ereigniserkennung nach IEC61000-4-30	ja	teilweise	nein
ITIC Kurve Report-Fähigkeit	ja	ja	nein
Kommunikationsschnittstellen	Ethernet RS485	Ethernet RS485	RS485, RF-Mesh, PLC, LTE, NB-IoT etc.
Protokolle	Modbus/ TCP IEC61850 Web- und REST-Interface	Modbus IEC61850	DLMS, Modbus, M-Bus LON
Datenformate	PQDIF CSV COMTRADE	teilweise CSV	-
Security	https/ Firewall RBAC	teilweise https/ Firewall, RBAC	gem. Strom VV Passwort
Signal Bandbreite	0.05 bis 2.5 kHz	0.05 bis 2.5 kHz	0.05 bis 1 kHz
Preis	ca. CHF 2000.-	ca. CHF 200 bis 800.-	ca. CHF 150 bis 300.-

Tabelle 4: Gegenüberstellung PQI, PMD und iMG mit PQ-Zusatzfunktionalität

6.2.2.2 Power Quality Überwachung mit iMS und Netzqualitätsanalysegerät (PQI)

Die zertifizierten PQI erfassen und aggregieren die Netzqualitätsinformationen gemäss den dafür gültigen Normen (Kapitel 3.5). Solche PQI können in ein iMS integriert werden und haben aufgrund der im Messgerät erfolgten PQ-Auswertung den Vorteil, dass das iMS-Kommunikationssystem nur wenig mit zusätzlichen Daten belastet wird. Das Messgerät stellt dem übergeordneten System zum Beispiel die angeforderten Ereignisse oder den Konformitätsbericht nach EN50160 zur Verfügung. Mit diesen PQ-Informationen können bedarfsgerecht und direkt, ohne weitere Verarbeitungsschritte, die notwendigen Massnahmen eingeleitet werden.

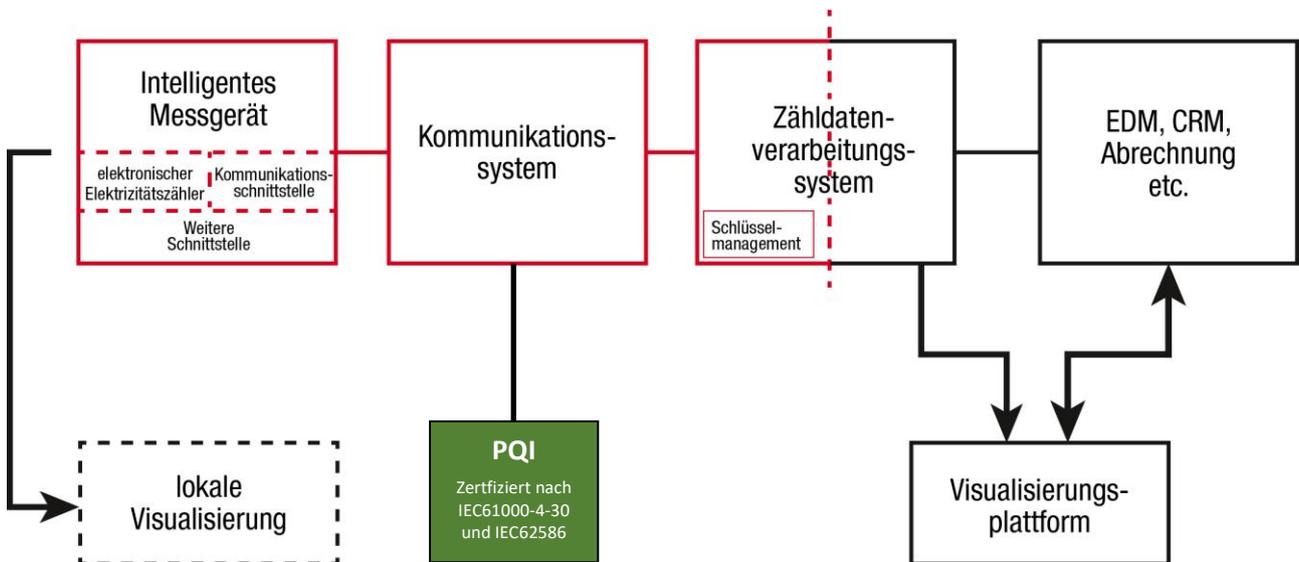


Bild 13: Intelligentes Messsystem (iMS) Systemarchitektur erweitert mit PQI

6.2.2.3 Power Quality Überwachung mit iMS und multifunktionalen Messgeräten (PMD)

Die IEC 61557-12 legt Anforderungen an kombinierte Geräte für die Messung und Überwachung des Betriebsverhaltens (Performance Metering and monitoring Devices, PMD) fest, welche die elektrischen Parameter in elektrischen Verteilnetzen messen und überwachen [4].

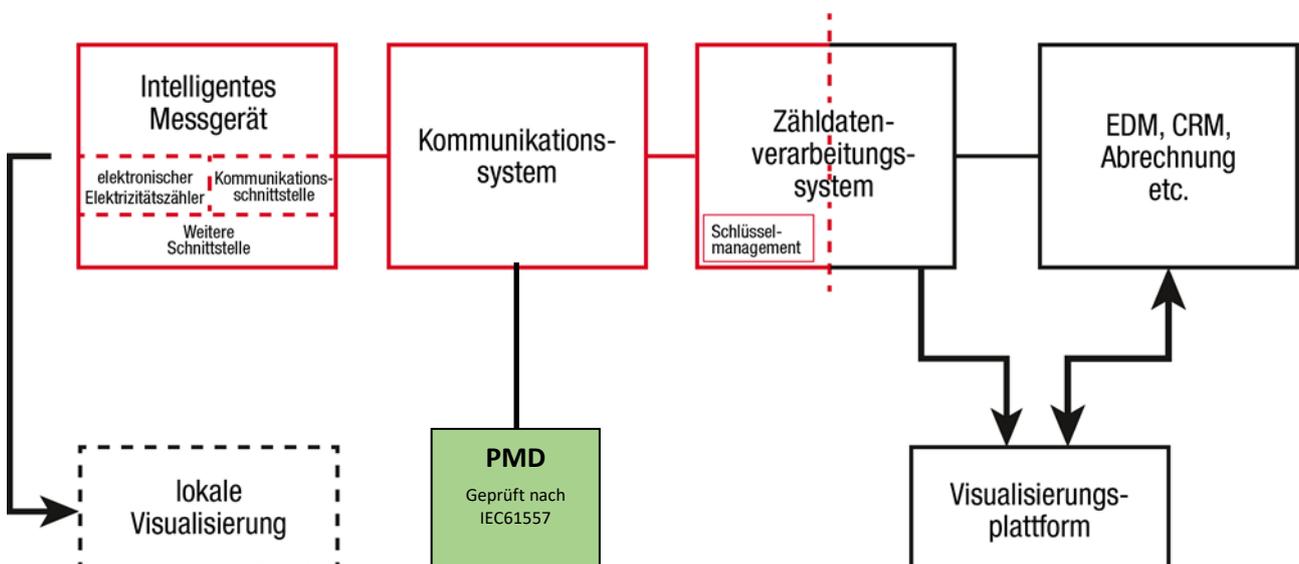


Bild 14: Intelligentes Messsystem (iMS) Systemarchitektur erweitert mit PMD

6.2.2.4 Power Quality Überwachung mit iMS und iMG mit PQ-Zusatzfunktionen

Aus den Daten von Smart Metern können oft auch rudimentäre Informationen über den Netzqualitätszustand gewonnen werden. Solche Daten müssen, je nach Informationsgehalt, jedoch noch aufbereitet und analysiert werden. Diese Datenaufbereitung führt eine externe Analyseplattform durch, welche auch die Resultate visualisieren und archivieren kann.

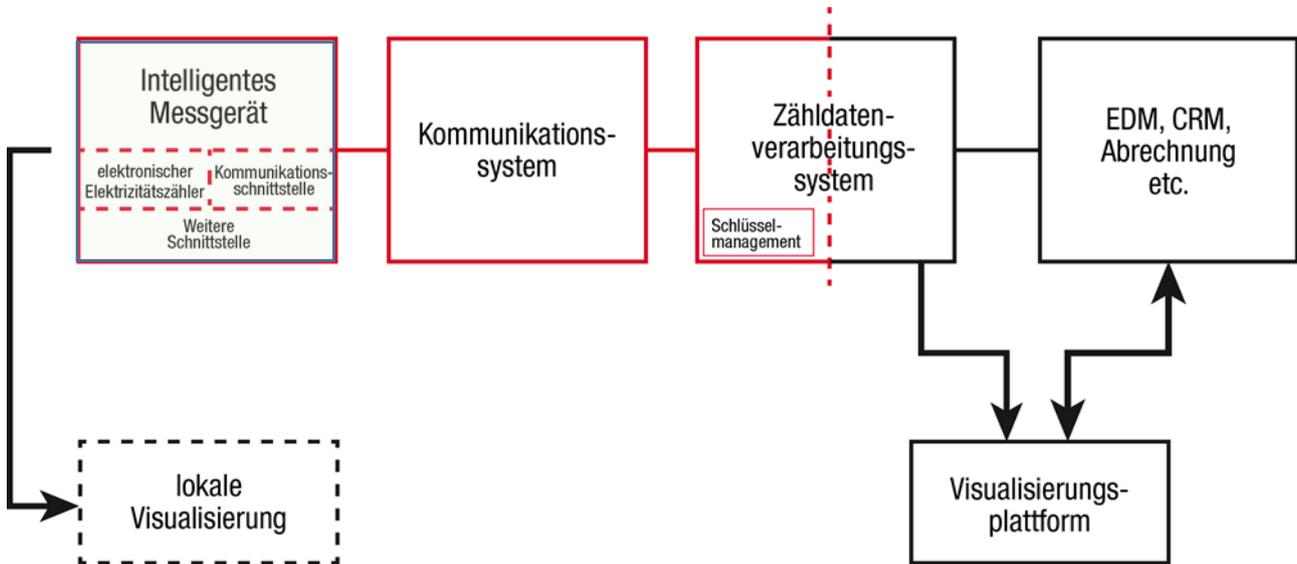


Bild 15: Intelligentes Messsystem (iMS) Systemarchitektur mit iMG mit PQ-Zusatzfunktionen

Die Nutzung der zusätzlichen Netzqualitätsmessfunktionen von iMG (Smart Meter) erscheint in Anbetracht der wachsenden Anzahl von möglichen Störquellen, eine sinnvolle Möglichkeit für einen rudimentären Überblick des Netzzustandes auf Netzebene 7. Basierend auf diesen Zusatzinformationen können frühzeitig Störungen, die von Netzteilnehmern verursacht werden, erkannt und weitere Massnahmen eingeleitet werden. Dies ist typischerweise eine genauere Abklärung der Störung durch PQ-Spezialisten mit geeigneteren Messmitteln. Die iMG's mit PQ-Zusatzfunktionen verfügen über eine Bandbreite von typischerweise 0.05 bis 1 kHz. Diese technische Limitierung, aufgrund des tiefen Marktpreises von iMG (Smart Meter), erlaubt es nur in sehr begrenztem Mass, neben der eigentlichen Energiemessfunktion auch aussagekräftige PQ-Ereignisse zu erfassen.

6.2.3 Nutzen und Herausforderungen

Die Netzebene 7 verzeichnet eine stete Zunahme von Lasten und/ oder Erzeugern welche die Netzqualität negativ beeinflussen können. Dies sind tagsüber die zunehmende Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen (PV) und nachts die Ladevorgänge der Elektromobilität. Vermehrt sind die Verursacher einer Verschlechterung der Power Quality auch unterschiedlichste Geräte, mit teilweise grenzwertigen EMV-Produkteigenschaften, welche über den Onlinehandel direkt aus andern Ländern importiert werden.

Die meisten Netzqualitätsverschlechterungen werden im Einzelnen nicht direkt als solche erkannt. Obwohl sich heute die PQ-Phänomene nicht qualitativ von den bisher bekannten unterscheiden, steigt die Anzahl der PQ-Ereignisse verursacht auf der Verbraucherseite sehr stark. Der Grund dafür ist, dass jeder noch so kleine Energiebezüger und Erzeuger (PV) heute die Netzqualität verschlechtern kann. Folglich steigt das Risiko für Betriebsausfälle aufgrund der sich summierenden Auswirkungen der sogenannten Netzurückwirkungen am PCC auf das Verteilnetz.

Bisher wurde auf Netzqualitätsverschlechterungen erst dann aktiv reagiert, wenn entsprechende Meldungen gemacht wurden oder dies bei Grossanlagen bei der Inbetriebnahme festgestellt wurde. Aufgrund der grossen und zunehmenden Anzahl störender PQ-Ereignisse durch die oben genannten Verbraucher und Erzeuger sind neue Methoden zur Beurteilung der Risiken erforderlich.

Durch den flächendeckenden Einsatz von iMS bietet sich zukünftig die Möglichkeit, relevante Power Quality Informationen grossflächig und kontinuierlich an sehr vielen Messpunkten zu überwachen. Die Messdatenerfassung für eine solche PQ-Überwachung kann abhängig von Mess-Ort, -Umfang, -Ereignisart – Auswertintervall und dem anvisiertem Nutzen mittels Netzqualitätsmessgerät (PQI), multifunktionale Messgeräten (PMD) oder mit dafür geeigneten iMG (Smart Meter) realisiert werden.

Der Einsatz von iMG (Smart Metern) für die PQ-Überwachung wird bisher nur in wenigen Dokumenten explizit genannt, zwei uns bekannte Quellen sind:

- Das Handbuch Intelligente Messsysteme [13] führt in Kapitel 6.6 die Verbreitung von iMG's in der Netzebene 7 als potentielle PQ-Sensoren auf.
- Smart Metering – intelligente Netz- und Ressourcensteuerung [11], Die PQ-Überwachung wird als einer der zukünftigen Anwendungsfälle eines intelligenten Messsystems aufgeführt.

6.3 PQ-Überwachung von Betriebsmittel

6.3.1 Aufgabenstellung

Die Betriebsmittel, wie zum Beispiel elektrische Maschinen, Messgeräte und Leistungselektronik sind für ein sinusförmiges Netz konstruiert worden (Kapitel 3.1 und 3.2). Die Verzerrungen von Strom- und Spannung (Kapitel 3.3) führen zusammen mit dem Wandel in der elektrischen Erzeuger- und Verbraucherstruktur sowie dem veränderten gesellschaftlichen Verhalten (7x24 h) zu einer stetig abnehmenden Power Quality im Verteilnetz. Diese negative Entwicklung der Power Quality wirkt sich vor allem auch auf die Lebensdauer, Genauigkeit und Verfügbarkeit von Betriebsmitteln aus. Einige, nicht abschliessende Auswirkungen von schlechter Power Quality sind:



- Überhitzung von Transformatoren oder Motoren
- Übermässige Erwärmung von Betriebsmitteln
- Erwärmung von Leitungen
- Erhöhte Stromaufnahme



- Flackern der Beleuchtung
- Summ-, Pfeif-Geräusche
- Unerwartete Versorgungsunterbrüche



- Reduzierte Lebensdauer von Geräten
- Ausfall von Steuerungen, Datenverluste
- Defekt empfindlicher Geräte (z.B. Serverausfall)

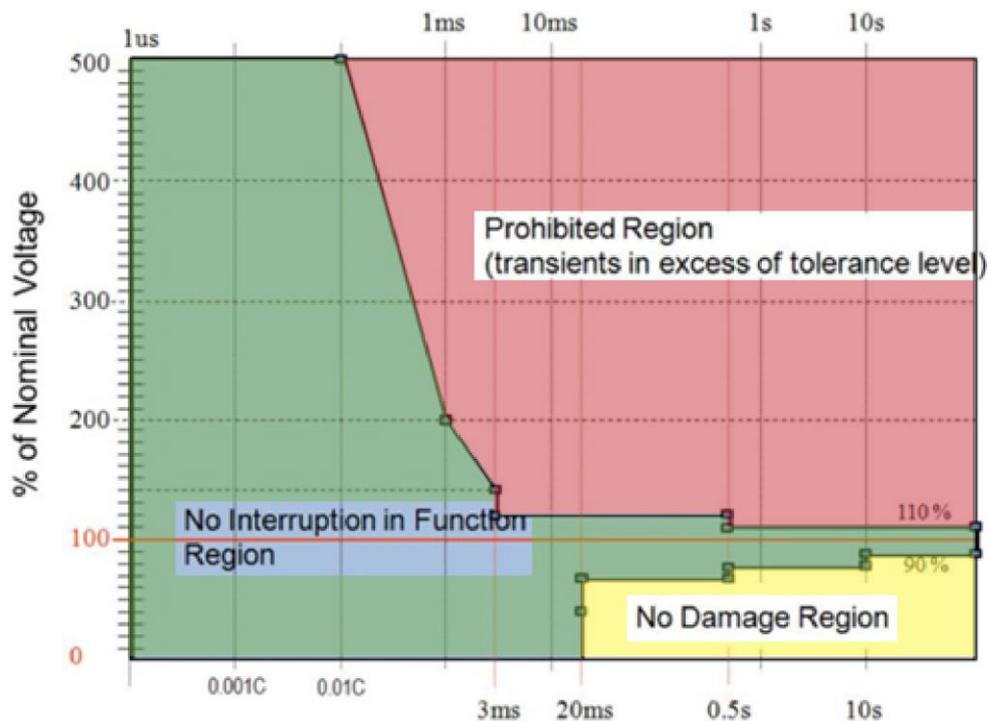
Bild 16: Auswirkungen schlechter Power Quality

6.3.2 Lösungsansatz

Für die PQ-Überwachung von Betriebsmitteln eignen sich zur Nutzung von iMS grundsätzlich alle in Kapitel 6.2.2. aufgeführten Architekturen und Messgeräte.

Die Wahl der geeigneten Messmittel und Kommunikations-Architektur wird durch die Zielsetzung der Überwachungsaufgabe definiert. Vor allem bei sehr teuren Betriebsmitteln, (z.B. Computertomograph) oder wenn ein Ausfall eines Betriebsmittels aus Sicherheitsgründen um jeden Preis verhindert werden muss, empfiehlt sich eine professionelle PQ-Überwachung mit PQI Klasse A Geräten. Nur derartige Geräte sind in der Lage, schnelle PQ-Ereignisse gemäss IEC61000-4-30 zu identifizieren.

Im Sinne einer vorausschauenden Wartung werden die schnellen Spannungsereignisse, welche durch PQI oder teilweise auch höherwertige PMD's erfasst werden können, in der sogenannten ITIC-Kurve [14] dargestellt und ausgewertet.



●	Kein Funktionsausfall, keine Schädigung
●	Funktionsausfall, keine Schädigung
●	Möglicher Funktionsausfall, mögliche Schädigung

Bild 17: ITIC-Kurve und Regionen

Neben der Auswertung in einer ITIC-Kurve können auch weitere anwendungsspezifische und nützliche Auswertungen durchgeführt werden, wie z.B. die Trendverfolgung der Gauss'schen Verteilung. Wie bei der ITIC-Kurve auch, ist bei der Trendverfolgung (percentile) wesentlich, die Power Quality Ereignisse konsequent zu erfassen und auszuwerten. Basierend auf einer ITIC- oder anderen Auswertung kann eine vorausschauende Wartung etabliert und deren Intervall je nach Risiko und Ausfallkosten angesetzt werden.

6.3.3 Nutzen und Herausforderungen

Eine PQ-Überwachung von Betriebsmitteln spart Geld, weil frühzeitig negative Trends in den Versorgungsleitungen erkannt und proaktiv darauf reagiert werden kann.

Die Hauptherausforderung ist sicher die anwendungsspezifische Auslegung einer PQ-Überwachung, welche der Zielsetzung auch gerecht werden kann. Eine PQ-Überwachung muss von Fall zu Fall genau analysiert und effizient ausgelegt werden.

6.4 PQ-Überwachung und Alarmierung von schnellen PQ-Ereignissen z.B. IEC61000-2-2

6.4.1 Aufgabenstellung

Die Kunden im Verteilnetz werden aufgrund der veränderten Energieerzeugung und -verteilung zunehmend durch sogenannte Power Quality Ereignisse gestört und diese können zu Versorgungsunterbrüchen führen. Solche PQ-Ereignisse werden z.B. nach z.B. IEC61000-4-30 gemessen und die Einhaltung der Grenzwerte z.B. nach der Norm IEC61000-2-2 überwacht.

6.4.2 Lösungsansatz

PQI Messgeräte der Klasse A messen die schnellen PQ-Ereignisse gemäss IEC61000-4-30 und sind damit wichtige Sensoren, um die Verursacher zu identifizieren und die Grenzwertverletzungen an übergeordnete Systeme zu melden. Die Alarmierung erfolgt typischerweise in einer Push-Kommunikation d.h. die PQ-Messgeräte setzen nach Eintreten eines Ereignisses selbstständig eine Meldung ab. Die Alarmierung kann zum Beispiel via SMS, E-Mail oder dem Versand von Ereignissen erfolgen. Basierend auf diesen wertvollen Meldungen aus dem Feld, können geeignete Abhilfemassnahmen ergriffen und deren Wirksamkeit überprüft werden (PDCA).

6.4.3 Nutzen und Herausforderungen

Der Nutzen einer PQ-Überwachung und Alarmierung bei spezifischen PQ-Ereignissen liegt in der sofortigen Alarmierung und damit in der Möglichkeit, schnell auf die Ereignisse reagieren zu können bevor diese Schaden bzw. noch mehr Schaden anrichten können.

Eine Herausforderung ist das Multi-Alarmhandling, vor allem wenn fast gleichzeitig viele Alarmer von unterschiedlichsten Ereignissen im übergeordneten System eintreffen. Für diese Fälle ist eine sorgfältige Bewertung und Priorisierung der Risiken unabdingbar, was aufgrund der zunehmenden Netzdynamik immer schwieriger wird. Eine mögliche Abhilfe ist eine kombinierte PQ-Überwachung der PQ-Ereignisse (Kapitel 6.4) und Betriebsmittel (Kapitel 6.3).

Die PQ-Überwachung für zeitlich unterschiedliche Ereignisse, wie schnelle Ereignisse für die Fehlersuche und langsamere Ereignisse zur Überwachung von Betriebsmitteln, gewährleistet ein richtiges Priorisieren der Alarmmeldungen.

6.5 PQ-Überwachung zur besseren Netzausnutzung

6.5.1 Aufgabenstellung

Der steigende Einsatz von Leistungselektronik in elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen sowie die Zunahme dezentraler Einspeisung und flexibler Lasten führen dazu, dass Rückwirkungen auf das Versorgungsnetz, deren Beurteilung sowie das Bestimmen von geeigneten Abhilfemassnahmen immer mehr in den Vordergrund treten (Kapitel 3.3). Aufgrund der verflochtenen Zusammenhänge in der Praxis und der gegebenen Randbedingungen in Bezug auf Verfügbarkeit und Qualität unter Berücksichtigung von wechselnden Topologiezuständen ist es grundsätzlich schwierig, Stromnetze wirtschaftlich zu optimieren.

Für einen technisch korrekten und kosteneffizienten Betrieb der sich verändernden Verteilnetze der Zukunft ist es eminent wichtig zu wissen, welchen Einfluss verschiedene Netzvarianten und Belastungszustände auf die Spannungsqualität haben und wodurch kritische Zustände im Netz hervorgerufen werden.

6.5.2 Lösungsansatz

Eine kontinuierliche PQ-Überwachung im Verteilnetz macht sichtbar, welche Auswirkungen auf die Einhaltung z.B. der EN 50160 auftreten, wenn Anlagen über die Grenzen der DACHCZ-Richtlinien hinaus betrieben werden.

6.5.3 Nutzen und Herausforderungen

Aufgrund der kontinuierlichen PQ-Messungen kann beurteilt werden, ob sich ein Netzausbau lohnt oder ob es möglich ist, in Situationen in denen man an die Grenzwerte der EN50160 stösst, geeignete betriebliche Massnahmen zu ergreifen.

Eine zentrale Herausforderung ist sicher die Auslegung des Überwachungskonzeptes unter Berücksichtigung der neuen, teilweise unbekanntenen Dynamiken in den Verteilnetzen.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Basierend auf den durchgeführten Power Quality Recherchen, Diskussionen und Analysen von Praxisberichten, Forschungsprojekten, Arbeiten von IEC- und IEEE-Arbeitsgruppen, kann folgendes festgehalten werden:

- Aufgrund der gegebenen physikalischen Verbindung von Energieerzeuger-, Verteiler und Verbraucher sowie deren gegenseitigen Wechselbeziehungen (Netzurückwirkungen) betrifft die Eigenschaft von Power Quality alle Anspruchsgruppen (Kapitel 3.4).
- Die Möglichkeiten und der Kundennutzen von Power Quality konnten aufgrund der relevanten Anwendungsfälle aufgezeigt werden und sind praktisch umsetzbar (Kapitel 6). Das Konzept Power Quality ist normativ sehr gut abgedeckt und damit für alle Anspruchsgruppen nachvollziehbar.
- Für eine anwendungsgerechte Power Quality Überwachung ist es erforderlich, neben einer gezielten Planung, die richtigen PQ-Messmittel wie PQI, PMD oder iMG mit PQ-Zusatzfunktionen auszuwählen. Die richtige Auswahl der Messmittel ist abhängig von Mess-Ort, -Umfang, -Ereignisart – Auswerteintervall und dem anvisierten Nutzen (Kapitel 6.2.2.1).
- Der Einsatz von intelligenten Messsystemen für Power Quality ist ein weiterer, signifikanter Schritt auf der Smart Grid Roadmap und kann einen wesentlichen, mehrfachen Beitrag für die effiziente Sicherheit der elektrischen Energieversorgung leisten.

Schlussfolgerung

1. Die Power Quality Arbeitsgruppe von Swissmig empfiehlt, aufgrund der im Green Paper Power Quality zusammengefassten Erkenntnisse und Lösungsvorschläge, zukünftig bei der Planung von intelligenten Messsystemen das Konzept Power Quality konsequent zu berücksichtigen. Dies vor allem im Hinblick auf mögliche Dateneinforderungen der ElCom zur Spannungsqualität [9].
2. Die Realisierung von intelligenten Messsystemen mit Power Quality Überwachung ist für unterschiedliche Anwendungsfälle mit geeigneten Messmitteln und ausbaufähig, im Hinblick auf die wachsende Netzdynamik, zu planen.
3. Das Konzept der Power Quality ist auch als eine sinnvolle Alternative zum Netzausbau zu verstehen.

8 Anhang

8.1 Power Quality Forschungsprojekte und Arbeitsgruppen

Schweiz zusammen mit BFE

Swinging Grids

OpitQ

Remigate

iREF-Grid

International

CIREN

IEC

IEEE

8.2 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
PQ	Power Quality
Power Quality	Netzqualität
PV	Photovoltaik
BEV	Batterie Electric Vehicle -> Elektrofahrzeuge
DACHCZ	DACHCZ -> Technische Regeln zur Beurteilung von Netzzrückwirkungen
PCC	Point of Common Coupling Verknüpfungspunkt von Versorgungsnetz und Vertragspartner
EN50160	Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
AG	Arbeitsgruppe
NeQual	VSE Online-Tool zur Erfassung und Auswertung von Netzqualitätsmessungen nach SN EN 50160 in NE 2–NE 7
iMS	Intelligentes Messsystem
iMG	Intelligentes Messgerät
PQI	Power Quality Instrument -> Netzqualitätsmessgerät
IEC	International Electrotechnical Commission
TC	Technical Committee
WG	Working Group
CENELEC	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
THD	Total Harmonic Distortion – Gesamte harmonische Verzerrung
UTC	Coordinated Universal Time – Weltzeit
IEC	International Electrotechnical Commission
PMD	Power Metering and Monitoring Device Kombinierte Geräte zur Messung und Überwachung des Betriebsverhaltens
CIREN	Congrès International des Réseaux Electriques de Distribution
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Swissmig	Verein Smart Grid Industrie Schweiz

8.3 Referenzdokumente

	Titel	Herausgeber
[1]	Trends bei Power Quality-Messgeräten	Bulletin 12/2017
[2]	EMV und Power Quality im Kontext der Normung	VSE Fachtagung Versorgungsqualität 11/2018
[3]	EN50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen	CENELEC
[4]	Diverse IEC-Normen und Technische Reports mit PQ-Relevanz	IEC
[5]	Wenn der Strom seine makellose Form verliert	Swissmig Fachtagung 2019
[6]	The Certification of Power Quality Analyzers	METAS - METinfo 2/2017
[7]	Smart Grid Roadmap Schweiz	BFE 3/2015
[8]	NeQual	VSE
[9]	Messung der Spannungsqualität	ElCom Mitteilung 2/2015
[10]	DACHCZ – Technische Regeln zur Beurteilung von Netzzrückwirkungen	VSE
[11]	Smart Metering – intelligente Netz- und Ressourcensteuerung	Stadt und Stadtwerke Winterthur 6/2016
[12]	Richtlinien für die Datensicherheit von intelligenten Messsystem, Anhang 1	VSE, Swissmig 2018
[13]	Handbuch Intelligente Messsysteme	VSE 2019
[14]	PQ-Ereignisbewertung in der ITIC-Kurve	Information Technology Industry Council (ITIC)