



Green Paper

## **Power Quality im elektrischen Energieverteilnetz**

Der Einsatz von intelligenten Messsystemen für Power Quality mit Anwendungsfällen im Detail.

### **Version 2.0**

25. November 2022

Verein Smart Grid Industrie Schweiz  
[www.swissmig.ch](http://www.swissmig.ch)



# Impressum und Kontakt

## Herausgeber

Verein Smart Grid Industrie Schweiz

[www.swissmig.ch](http://www.swissmig.ch)

## Autoren Arbeitsgruppe Power Quality

Linus Buntschu	Landis+Gyr AG
Jürgen Kasper	EMH metering GmbH
Roland Kiefer	Geschäftsführer Swissmig
Philipp Lötscher	Kamstrup A/S
Hugo Steiner	Girsberger Informatik AG, Lektor
Max Ulrich	Camille Bauer Metrawatt AG, Leiter Arbeitsgruppe
Martin von Euw	VIVAVIS AG

## Beratung

- IEC Arbeitsgruppen: TC85 WG20, TC8 WG11, TC77A WG9
- Berner Fachhochschule Biel – Elektrotechnik + Informationstechnologie
- HES-SO Valais-Wallis – Institute of Systems Engineering
- TU Dresden – IEEH

## Verteiler

- Swissmig Mitglieder
- Anspruchsgruppen
- Interessenten

## Copyright

©Swissmig – Verein Smart Grid Industrie Schweiz

Alle Rechte vorbehalten. Die gewerbliche Nutzung dieses Dokuments 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, ohne weitere Ankündigungen jederzeit Änderungen zu tätigen.

# 1 Inhalt

<b>2</b>	<b>ZU DIESEM DOKUMENT.....</b>	<b>4</b>
2.1	AUSGANGSLAGE.....	4
2.2	INHALT UND ZIELSETZUNG.....	4
2.3	GÜLTIGKEITSBEREICH .....	4
2.4	AUSBLICK.....	4
<b>3</b>	<b>EINFÜHRUNG IN DAS KONZEPT DER POWER QUALITY .....</b>	<b>5</b>
3.1	POWER QUALITY – GESCHICHTLICHER RÜCKBLICK.....	5
3.2	WARUM BETRIFFT UNS NETZQUALITÄT? .....	6
3.3	NORMIERUNGS-LÜCKE MIT RELEVANZ FÜR SMART METER (IMG) .....	7
3.4	POWER QUALITY BEGRIFFE .....	7
3.5	ANSPRUCHSGRUPPEN.....	9
3.6	NORMEN – DER SCHLÜSSEL ZU ZUVERLÄSSIGEN MESSUNGEN.....	13
<b>4</b>	<b>RECHTLICHE ASPEKTE VON POWER QUALITY .....</b>	<b>14</b>
4.1	POWER QUALITY UND PRODUKTHAFTUNG .....	14
4.2	PRODUKTNORM „ELEKTROENERGIE“ UND EN50160.....	14
4.3	RECHTSSICHERHEIT DER MESSUNGEN DURCH UNABHÄNGIGE ZERTIFIZIERUNG .....	15
4.4	STANDPUNKT DER ELCOM .....	15
<b>5</b>	<b>POWER QUALITY IM SMART GRID.....</b>	<b>16</b>
5.1	DEFINITION SMART GRID .....	16
5.2	PLANUNG .....	16
5.3	KONTINUIERLICHE ÜBERWACHUNG IM BETRIEB.....	17
5.4	PERIODISCHE ÜBERWACHUNG MIT MESSKAMPAGNEN.....	18
<b>6</b>	<b>POWER QUALITY ANWENDUNGSFÄLLE MIT INTELLIGENTEN MESSSYSTEMEN .....</b>	<b>19</b>
6.1	DEFINITION INTELLIGENTER MESSSYSTEME.....	19
6.2	PQ-ANWENDUNGSFÄLLE MIT INTELLIGENTEN MESSSYSTEMEN.....	20
<b>7</b>	<b>PQ-PROZESSABLAUF .....</b>	<b>21</b>
7.1	DEFINITION POWER QUALITY.....	21
7.2	VOM PQ-PROZESSABLAUF ZUM KUNDENNUTZEN.....	21
7.3	PQ-MESSGERÄTE.....	22
7.4	MERKMALE FÜR DIE PQ-BEWERTUNG.....	23
7.5	PQ-REFERENZTOPOLOGIEN .....	24
7.5.1	<i>Power Quality Überwachung mit iMS und Netzqualitätsanalysegerät (PQI) .....</i>	<i>24</i>
7.5.2	<i>Power Quality Überwachung mit iMS und multifunktionalen Messgeräten (PMD) .....</i>	<i>24</i>
7.5.3	<i>Power Quality Überwachung mit iMS und IMG mit PQ-Zusatzfunktionen .....</i>	<i>25</i>
7.6	PQ-LANDKARTE.....	26
<b>8</b>	<b>PQ-ANWENDUNGSFÄLLE IM DETAIL MIT INTELLIGENTEN MESSSYSTEMEN .....</b>	<b>28</b>
8.1	STATISTISCHE PQ-KONFORMITÄTSÜBERWACHUNG AN DER ÜBERGABESTELLE Z.B. NACH EN50160 .....	29
8.2	VERBRAUCHERSEITIGE PQ-ÜBERWACHUNG Z.B. NACH IEC TR63191 .....	31
8.3	PQ-EREIGNISÜBERWACHUNG VON BETRIEBSMITTELN Z.B. MITTELS ITIC-KURVE .....	33
8.4	PQ-EREIGNISÜBERWACHUNG, ALARMIERUNG UND DEREN BEWERTUNG z.B. NACH EN50160 ODER IEC61000-2-2 ...	35
8.5	PQ-ÜBERWACHUNG ZUR BESSEREN PQ-NETZAUSNUTZUNG z.B. EINHALTUNG EN50160 VERSUS DACHCZ-BEWERTUNG ....	37
8.6	ZUSTANDS-ÜBERWACHUNG VON SPANNUNG-, STROM- UND LEISTUNG MIT IMS .....	39
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>40</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>41</b>
10.1	POWER QUALITY FORSCHUNGSPROJEKTE UND ARBEITSGRUPPEN .....	41
10.2	ABKÜRZUNGEN UND DEFINITIONEN .....	41
10.3	REFERENZDOKUMENTE.....	42

## 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. Dazu wurde im Jahr 2020 das Green Paper «Power Quality im elektrischen Verteilnetz» ausgearbeitet und öffentlich publiziert. Die Rückmeldungen dazu waren sehr gut, vor allem weil mit diesem Green Paper produkteneutral die aktuelle Situation fundiert und verständlich beschrieben wurde.

### 2.2 Inhalt und Zielsetzung

Die vorliegende Version 2.0 baut auf dem Swissmig Green Paper Version 1.0 aus dem Jahr 2020 auf.

In diesem neuen Dokument wurden einige Präzisierungen gemacht sowie folgende Kapitel ergänzt:

- 3.3 Normierungs-Lücke mit Relevanz für Smart Meter (iMG)
- 7. PQ-Prozessablauf
- 8. PQ-Anwendungsfälle im Detail mit intelligenten Messsystemen

Unser Ziel ist es, den Kundennutzen einer PQ-Überwachung anwenderspezifisch aufzuzeigen und den Kontext zur Power Quality-Landkarte herzustellen (siehe dazu Kapitel 7.6).

### 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

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

Dazu sollen die beschriebenen PQ-Anwendungsfälle (Kapitel 8) produktneutral als Diskussionsgrundlage für Swissmig-Mitglieder sowie für alle anderen Anspruchsgruppen im Smart Grid dienen.

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

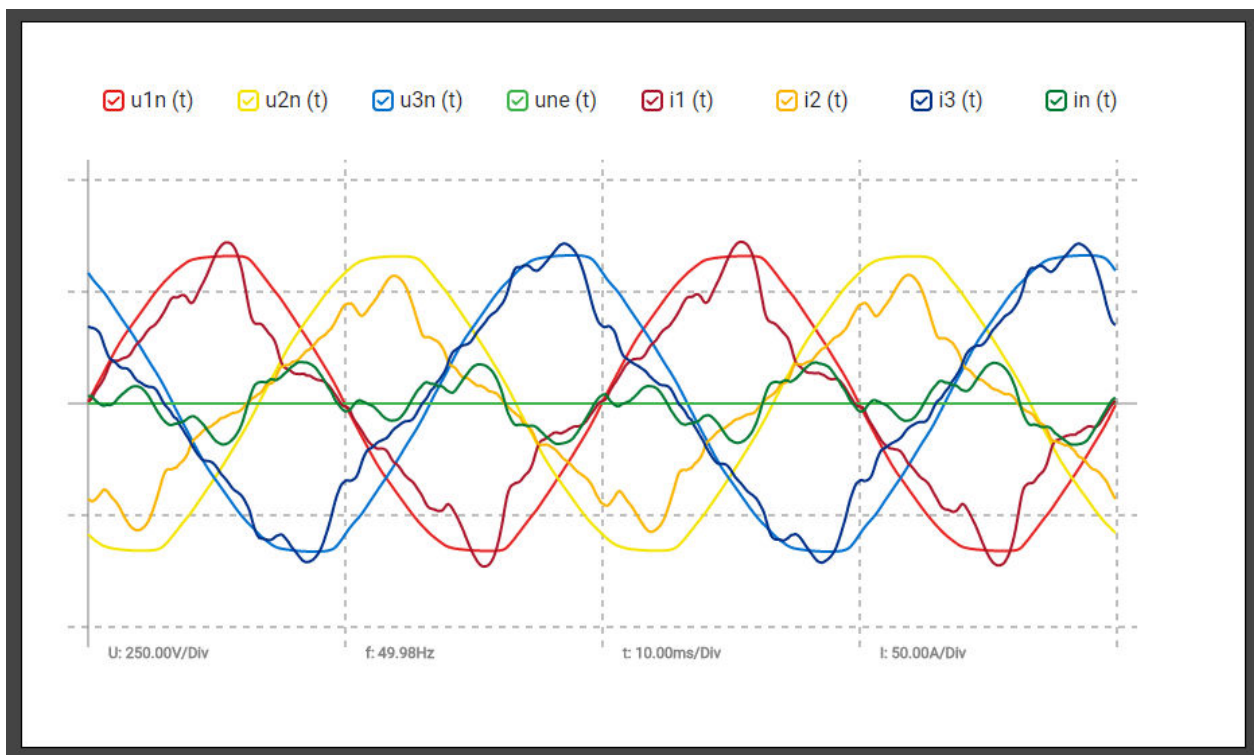
### 3 Einführung in das Konzept der Power Quality

#### 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].



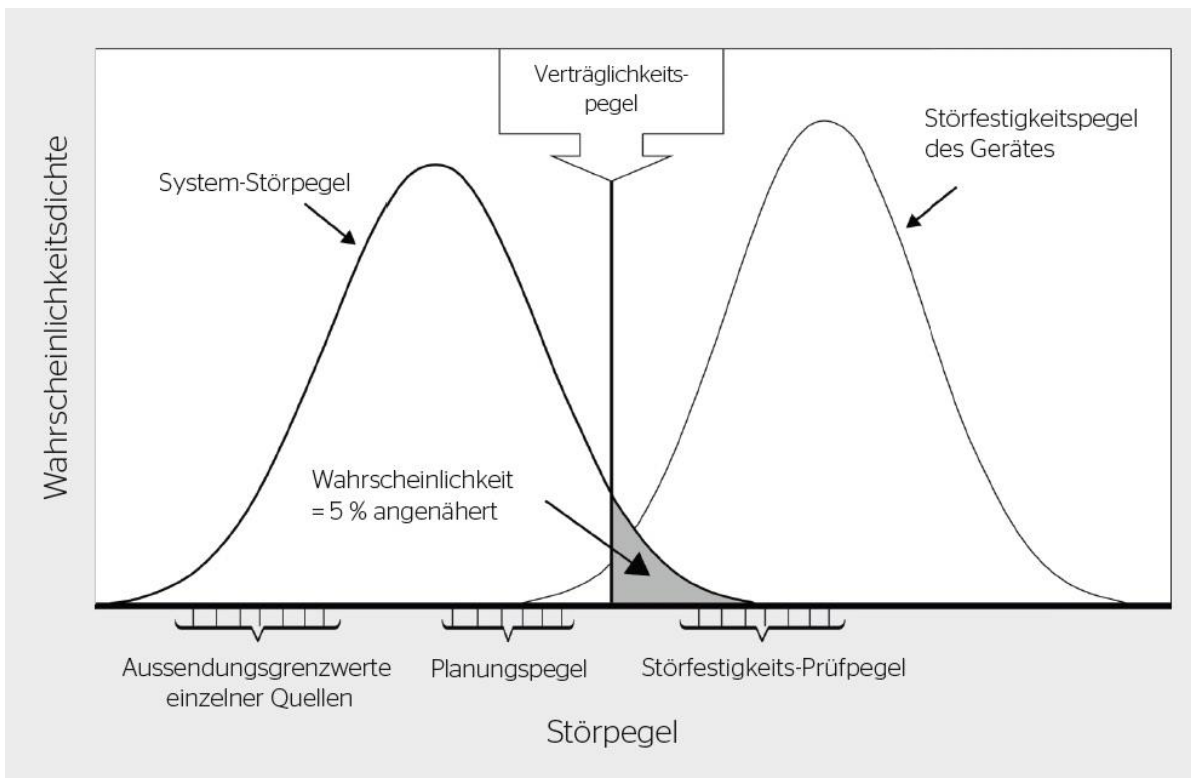
**Bild 1:** Strom- und Spannungsverlauf in der Haupteinspeisung eines Schweizer Elektronikproduzenten

### 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. Ferner können Spannungseinbrüche empfindliche Fertigungsprozesse stören und zu teuren Produktionsausfällen führen. Auch Menschen können durch die Netzqualität beeinflusst werden, wenn beispielsweise Spannungsfluktuationen zu flackernden Lampen 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 2). 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

Die Messung der Netzqualität erfordert spezifisch hierfür entwickelte Messgeräte. Zentral ist, dass verschiedene Messgeräte bei demselben Eingangssignal metrologisch vergleichbare Messwerte liefern. Diese Anforderung erscheint heute trivial, denn inzwischen gibt es Normen mit Definitionen, die klar, eindeutig und allgemein anerkannt sind. [1], [6].

### 3.3 Normierungs-Lücke mit Relevanz für Smart Meter (iMG)

Im Bereich der Normierung ist die Betrachtung der Netzqualität auf den Frequenzbereich von 0 bis 2 kHz beschränkt, eine Erweiterung auf 150 kHz ist geplant. Diese normative Erweiterung ist für den Roll-Out von intelligenten Messgeräten (Smart Meter) essentiell, weil einige iMG-Hersteller die Kommunikation mittels Power Line Communication (Schmalband PLC von 9 kHz bis 148.5 kHz) realisieren. Bei solchen Smart Metern kann es aufgrund von zu hohen Störpegeln zu Verbindungsproblemen kommen. Ein metrologischer Nachweis von Störungen im Bereich von 9 kHz bis 148.5 kHz kann aufgrund fehlender Normen zurzeit nicht gemacht werden. Die sich im Entwurfsstadium befindende IEC61000-4-30 (PQ-Messmethoden) wird diese Normierungs-Lücke in ca. 2 Jahre schliessen können und damit werden geeignete PQ-Messinstrumente am Markt zur Verfügung stehen.

### 3.4 Power Quality Begriffe

Das Thema Netzqualität ist inhaltlich sowie auch was die Begriffe anbelangt 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 an der Übergabestelle (Point of Supply – POS) in der Regel nach der Norm EN50160 [3] beurteilt (Kapitel 4.1).

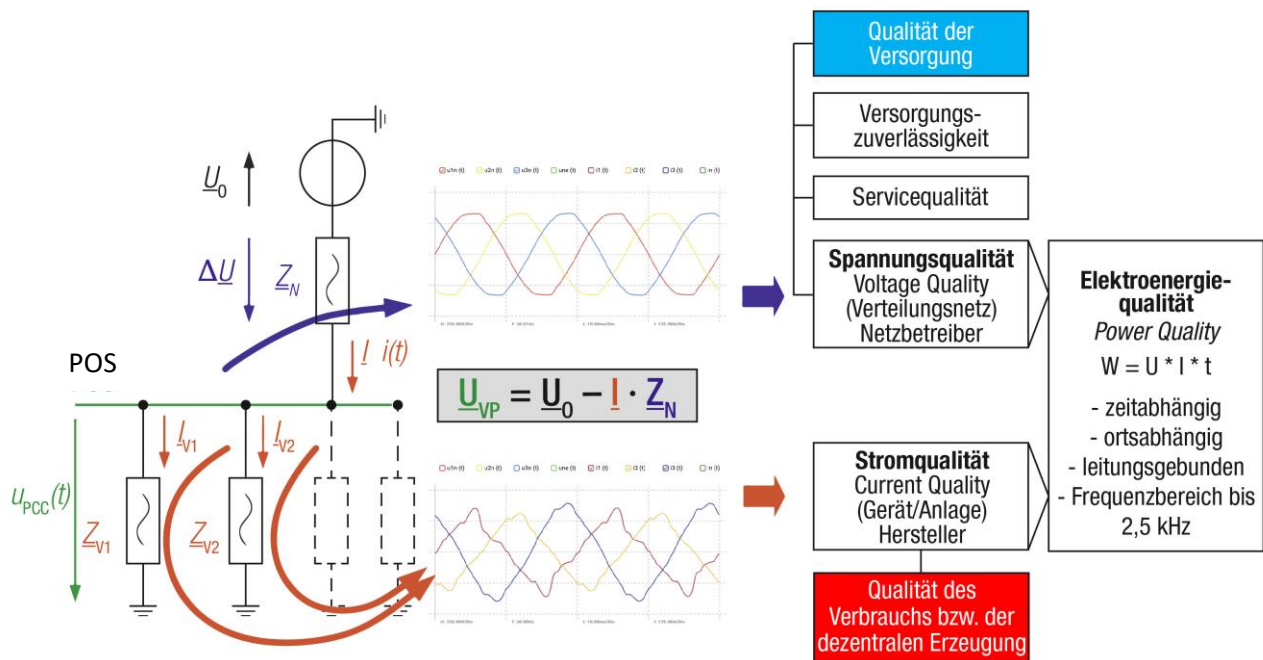


Bild 3: Begrifflichkeiten und Verantwortlichkeiten [2]

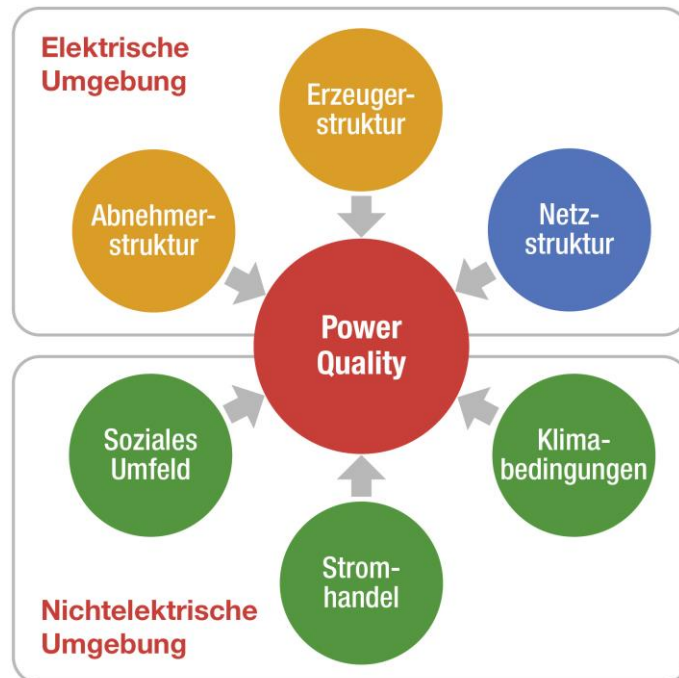
Jeder ans Netz angeschlossene Erzeuger oder Verbraucher hat Einfluss auf die Stromqualität, und kann einen erheblichen Einfluss auf die Stromqualität bewirken. Die Stromqualität wird aufgrund der zunehmenden nichtlinearen Verbraucher und steigenden dezentralen Einspeisungen, zum Beispiel von Photovoltaik-Anlagen, stark beeinflusst und wirkt auf die Spannung am Übergabestelle. 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 Netzurückwirkungen genannt, können die Spannungsqualität am Übergabestelle beeinflussen. Im generellen sind Netzurückwirkungen unerwünscht, da diese andere Netzteilnehmer stören können.



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

**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"> <li>• Gestaltet realistische Rahmenbedingungen für ein funktionierendes Markt-Design zur Gewährleistung einer sehr guten elektrischen Versorgungssicherheit auch in der Zukunft.</li> </ul>
BFE Bundesamt für Energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schafft die Voraussetzungen für eine ausreichende, krisen- feste, breit gefächerte, wirtschaftliche und nachhaltige Energieversorgung;</li> <li>• sorgt für hohe Sicherheitsstandards bei der Produktion, dem Transport und der Nutzung von Energie;</li> <li>• schafft die Rahmenbedingungen für einen effizienten Strom- und Gasmarkt sowie eine angepasste Infrastruktur;</li> <li>• setzt sich ein für eine effiziente Energienutzung, für die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien sowie für die Senkung der CO2-Emissionen;</li> <li>• fördert und koordiniert die nationale Energieforschung und unterstützt den Aufbau neuer Märkte für eine nachhaltige Energieversorgung und –nutzung.</li> </ul>
ELCOM Eidgenössische Elektrizitätskommission	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• überwacht die Sicherheit der Stromversorgung und den Zustand der Stromnetze.</li> <li>• bestimmt die Verfahren für die Zuteilung von Netzkapazität bei Engpässen in grenzüberschreitenden Leitungen und koordiniert ihre Tätigkeit mit den europäischen Stromregulatoren.</li> <li>• übt eine umfassende Aufsicht über die nationale Netzgesellschaft (Swissgrid AG) aus, nachdem dieser das Eigentum am Übertragungsnetz übertragen worden ist (Entflechtung).</li> <li>• beaufsichtigt seit Inkrafttreten von Art. 26 a ff. StromVV am 1. Juli 2013 neu auch den Stromgrosshandel.</li> <li>• entscheidet in Streitigkeiten zu Rücklieferatarifen sowie zwischen Netzbetreiber und Eigenverbraucher.</li> </ul>

**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"> <li>• Aufsicht und Kontrolle über Bau, Betrieb und Instandhaltung von elektrischen Anlagen</li> <li>• Genehmigung von Schwach- und Starkstromanlagen</li> <li>• Bewilligung von Niederspannungserzeugnissen nach NEV</li> <li>• Erteilung von allgemeinen und eingeschränkten Installationsbewilligungen nach NIV</li> <li>• Erteilung von Kontrollbewilligungen</li> <li>• Führung eines öffentlichen Verzeichnisses der Installations- und Kontrollbewilligungen</li> <li>• Durchführung der Prüfungen, die zur Erlangung der eingeschränkten Installationsbewilligungen nach NIV erforderlich sind</li> <li>• Aufforderung zur Einreichung des Sicherheitsnachweises</li> <li>• Untersuchung und statistische Erfassung von Unfällen und Schadenfällen im Zusammenhang mit elektrischen Anlagen</li> <li>• Anerkennung der Gleichwertigkeit von ausländischen elektrotechnischen Berufsqualifikationen</li> <li>• Überprüfung von Anzeigen wegen möglicher strafbarer Verletzungen der NIV</li> <li>• Durchsetzung der periodischen Kontrollen</li> <li>• Mitwirkung bei der Gesetzgebung über elektrische Anlagen</li> </ul>
<p>METAS Eidgenössisches Institut für Metrologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ist das Kompetenzzentrum des Bundes für alle Fragen des Messens, für Messmittel und Messverfahren.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• vollzieht das Messgesetz; seine weiteren Aufgaben werden durch das Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie beschrieben.</li> </ul>

Tabelle 2 Fortsetzung: Soziales Umfeld, Stromhandel, Klimabedingungen

### 3.6 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 Metrologie-Instituten wie dem Eidgenössischen Institut für Metrologie METAS und privaten Prüfinstituten zusammen. Durch die breite Abstützung des erreichten Konsenses können praxisgerechte 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 Netzurückwirkungen
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 Produkthaftungsgesetz PrHG. In der folgenden Abbildung ist der relevante Auszug des Gesetzes dargestellt.

<b>Bundesgesetz über die Produkthaftung</b> Produkthaftungsgesetz, PrHG vom 18. Juni 1993	
<b>Artikel 3</b> 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>b. Elektrizität.</b>	<b>Artikel 4</b> 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 Produkthaftung [2], [5]

### 4.2 Produktnorm „Elektroenergie“ und EN50160

Zum Zeitpunkt der Gesetzesausgabe Produkthaftung 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 Elektrizitäts-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 Produkthaftung 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 ECom zur Spannungsqualität verweisen wir auf die immer noch gültige ECom 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 Schweiz weiten Netzqualität und Versorgungssicherheit angesehen werden.

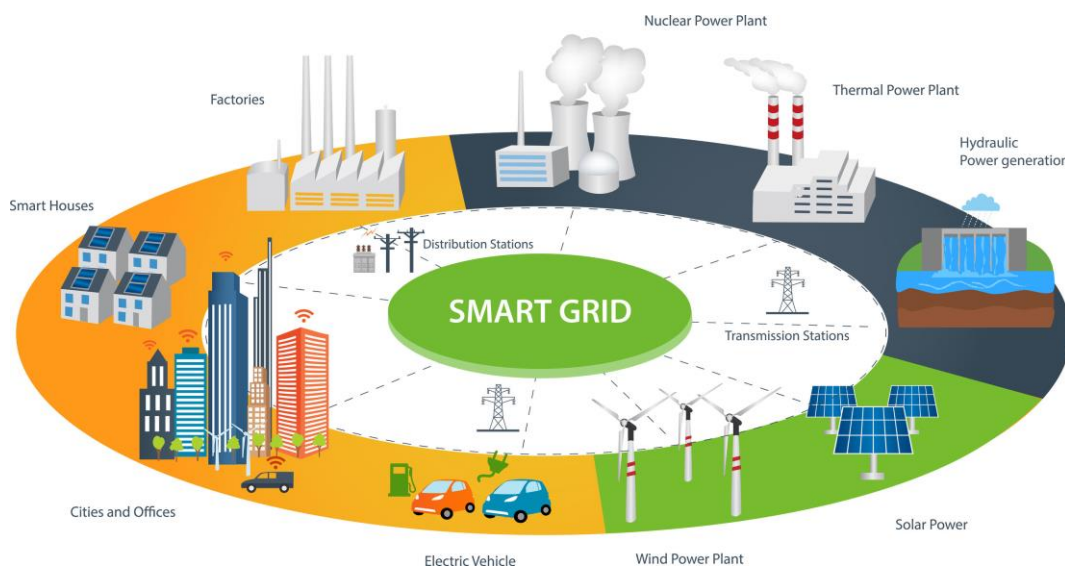
.....

Die Netzbetreiber haben der ECom keine Daten zur Spannungsqualität einzureichen. Je nach Entwicklung der Netzqualität und Versorgungssicherheit behält sich die ECom 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 Netzzrückwirkungen DACHCZ [10] erarbeitet. Damit haben die Netzbetreiber ein Planungswerkzeug, um die von den an ihren Netzen angeschlossenen elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen verursachten Netzzrückwirkungen 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 Netzzrückwirkungen

Die DACHCZ Regel strebt die Sicherung einer einheitlichen Vorgehensweise bei der Beurteilung von Netzzrückwirkungen 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 z.B. am POS
- 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.

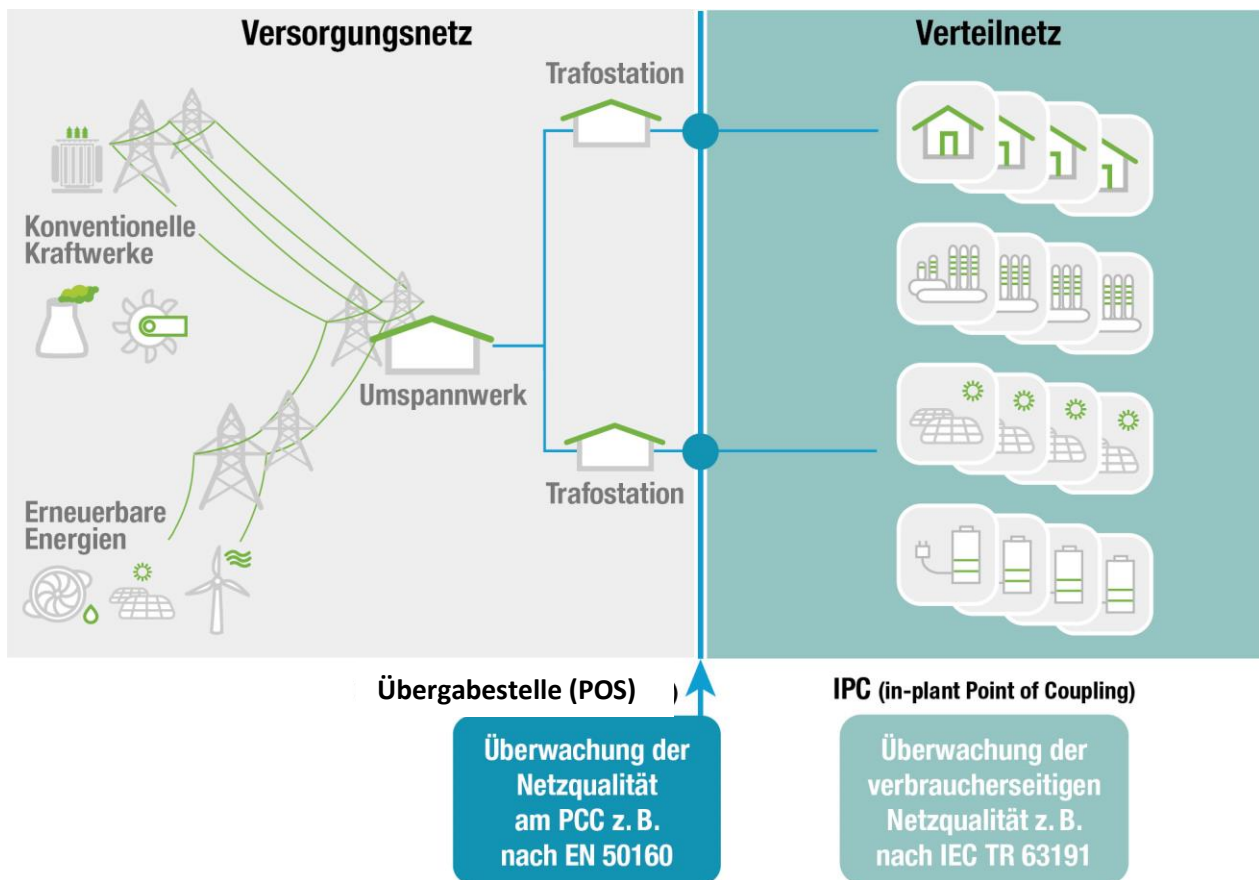


Bild 7: Überwachung der Netzqualität am POS und IPC (vereinfachte Darstellung)

### **Überwachung der Netzqualität z.B. an der Übergabestelle (POS) nach EN50160**

Derzeit wird die Spannung am Übergabestelle (POS) 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 an der Übergabestelle 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 Übergabestelle (POS), 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 lokaler 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.



## 6.2 PQ-Anwendungsfälle mit intelligenten Messsystemen

Die wichtigsten sechs Power Quality-Anwendungsfälle (Use-Cases) werden als detaillierte Use Cases mit der Aufgabenstellung, der Beschreibung, des Lösungsansatzes und weiteren Parametern mit einem generischen Grundgerüst beschrieben. Ebenso lassen sich daraus der Nutzen sowie die Herausforderungen mit intelligenten Messsystemen aufzeigen. Die bedeutsamsten Anwendungsfälle für die PQ-Überwachung im Verteilnetz sind:

1. **Statistische PQ-Konformitätsüberwachung an der Übergabestelle** z.B. nach EN50160
2. **Verbraucherseitige PQ-Überwachung** z.B. nach IEC TR63191
3. **PQ-Ereignisüberwachung von Betriebsmitteln** z.B. mit ITIC-Kurve
4. **PQ-Ereignisüberwachung und Alarmierung bei schnellen PQ-Ereignissen** z.B. nach IEC61000-4-30
5. **PQ-Überwachung zur besseren Netzausnutzung**  
z.B. Einhaltung EN50160 versus DACHCZ-Bewertung
6. **Zustands-Überwachung von Spannung-, Strom und Leistung mit iMS**

	Anwendungsfall (Use Case)	Auswertung von	Kundennutzen
1	<b>Statistische PQ-Konformitätsüberwachung an der Übergabestelle</b> , 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 des Produkthaftpflichtgesetzes (PrHG)
2	<b>Verbraucherseitige PQ-Überwachung</b> , z.B. nach IEC TR63191	Verfolgung der Tendenz spezifischer Messwerte betreffend deren Veränderung des Medians und der Gauss-Verteilung	Erkennen von Trends z.B. via Indizes (Perzentils)
3	<b>PQ-Ereignisüberwachung von Betriebsmitteln</b>	PQ-Ereignisse gemessen nach IEC61000-4-30 werden in die drei Bereiche der ITIC-Kurve abgebildet und auf Funktion, Schädigung ausgewertet.	Auswertung z.B. in der ITIC-Kurve zur vorausschauenden Wartung von Betriebsmitteln und Anlagen
4	<b>PQ-Ereignisüberwachung und Alarmierung bei schnellen PQ-Ereignissen</b> , z.B. IEC61000-2-2 oder IEC61000-2-12	Sofortige Alarmmeldungen aufgrund auftretender PQ-Ereignisse z.B. gemäss IEC61000-2-2 oder IEC61000-2-12	Suche nach dem Verursacher, Abhilfemassnahmen einleiten und Wirksamkeit überprüfen
5	<b>PQ-Überwachung zur besseren Netzausnutzung</b> , z.B. Einhaltung EN50160 versus DACHCZ-Bewertung	PQ-Grenzwertverletzungen nach DACHCZ und deren Einflüsse auf die Einhaltung z.B. der EN50160	Messen mit proaktivem Handeln als Alternative zum Netzausbau
6	<b>Zustands-Überwachung von Spannung-, Strom- und Leistung mit iMS</b>	Anwendungsspezifischen Zustandsgrössen und Referenzparametern	Erkennen von Trends aufgrund der über die Zeit sich verändernden Zustandsgrössen

**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. Dazu ist sicher zu stellen, dass das iMS-Kommunikationssystem, für die Übertragung der PQ-Informationen, über eine genügend grosse Bandbreite verfügt.

## 7 PQ-Prozessablauf

### 7.1 Definition Power Quality

Der Begriff Power Quality (PQ) ist gemäss den weltweit grössten Standardisierungs-Verbänden IEC [1] und IEEE wie folgt definiert:

*“Characteristics of the electric current, voltage and frequency at a given point in an electrical system, evaluated against a set of reference technical parameters.”*

*Note to entry: These parameters might, in some cases, relate to the compatibility between electricity supplied on a network and the loads connected to that network.”*

Die deutsche Übersetzung dazu ist:

“Merkmale des elektrischen Stroms, der Spannung und der Frequenz an einem bestimmten Punkt in einem elektrischen System, die anhand einer Reihe von technischen Referenzparametern bewertet werden.

Anmerkung zum Eintrag: Diese Parameter können sich in einigen Fällen auf die EMV-Kompatibilität zwischen der in einem Netz gelieferten Elektrizität und den an dieses Netz angeschlossenen Lasten beziehen.“

Die Referenzparameter werden dabei durch Normen [3], [4], [6] vorgegeben.

### 7.2 Vom PQ-Prozessablauf zum Kundennutzen

Für eine PQ-Bewertung ist die konsequente Anwendung des Prozesses unter Berücksichtigung von relevanten Normen notwendig. Die Geräte-Messmethoden nach IEC61000-4-30 stellen sicher, dass die Messresultate bei Verwendung von unterschiedlichen PQ-Messgeräten vergleichbar sind. Zudem sind auf diese Weise die Messresultate auch rechtlich belastbar.

Anbei sind die wichtigsten Standards (Normen) für Netzqualität aufgelistet sowie der generische PQ-Prozessablauf. In diesem allgemein gültigen Ablauf stellt das PQ-Messgerät die Basisinformationen für die PQ-Bewertung (Kundennutzen) zur Verfügung. Durch die Klassifizierung und/oder statistische Bewertung entsteht aus Messwerten ein Kundennutzen, indem transparent wird, ob vorgegebene Grenzwerte eingehalten werden (mit Verweis auf Kapitel 3.1). Für die genaue inhaltliche Beschreibung verweisen wir auf die aufgelisteten Normen.

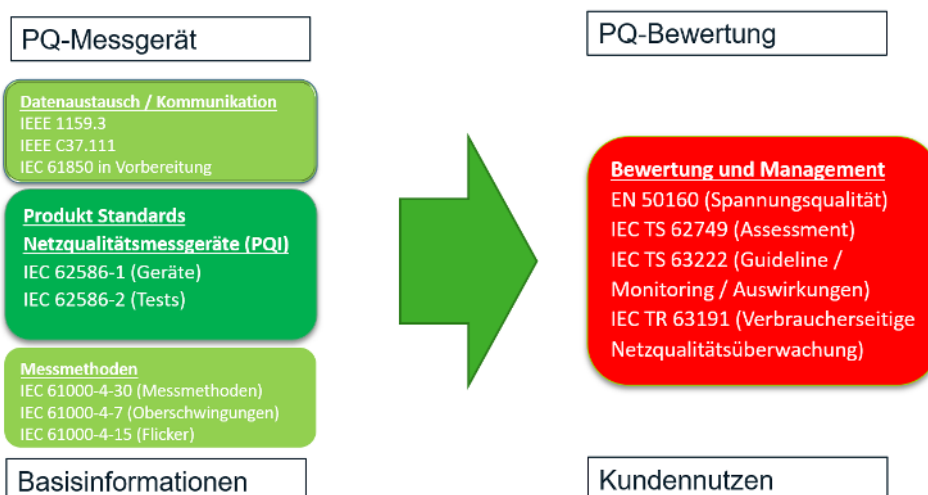


Bild 9: Der generische PQ-Prozessablauf

### 7.3 PQ-Messgeräte

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)

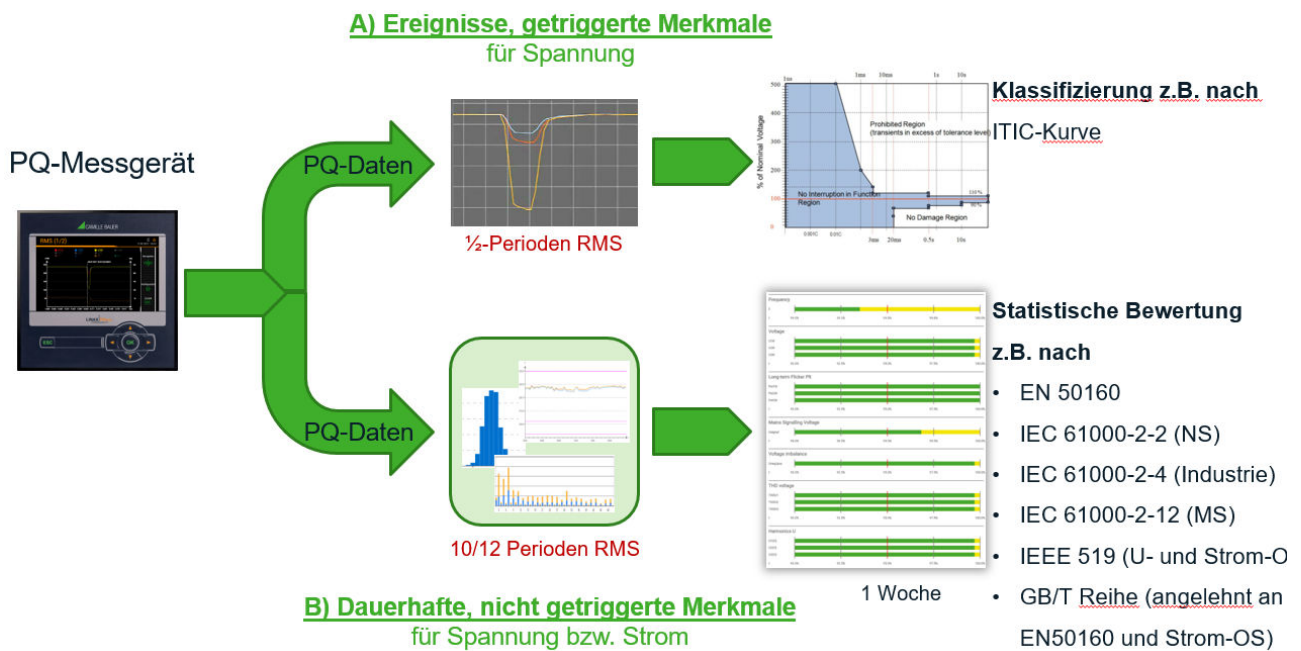
Die Auswahl des Messgerätes erfolgt aufgrund der für die Messaufgabe geforderten Qualität sowie dem notwendigen PQ-Informationsumfang. Die nachfolgende Gegenüberstellung gibt auszugsweise einen Überblick über den Leistungsumfang sowie die typischen Preise von PQI, PMD sowie iMG mit PQ-Zusatzfunktionalität.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

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

Tabelle 5: Gegenüberstellung PQI, PMD und iMG mit PQ-Zusatzfunktionalität

## 7.4 Merkmale für die PQ-Bewertung

Generell wird für die PQ-Bewertung zwischen sogenannten getriggerten Ereignissen sowie dauerhaften, nicht getriggerten Merkmalen unterschieden. Für Ereignisse werden  $\frac{1}{2}$ -Perioden RMS Spannungswerte und für dauerhafte Merkmale 10 Perioden (bei 50 Hz) RMS Spannungs- bzw. Strom-Werte verwendet. Die erfassten Ereignisse werden zur Bewertung nach einer Vorgabe klassifiziert, die dauerhaften Merkmale werden normativ, statistisch ausgewertet.



**Bild 10:** PQ-Prozessablauf und Merkmale für die PQ-Bewertung

Für die genaue inhaltliche Beschreibung der Klassifizierungen und statistischen Bewertungen verweisen wir auf die aufgelisteten Normen und Konventionen.

## 7.5 PQ-Referenztopologien

### 7.5.1 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.

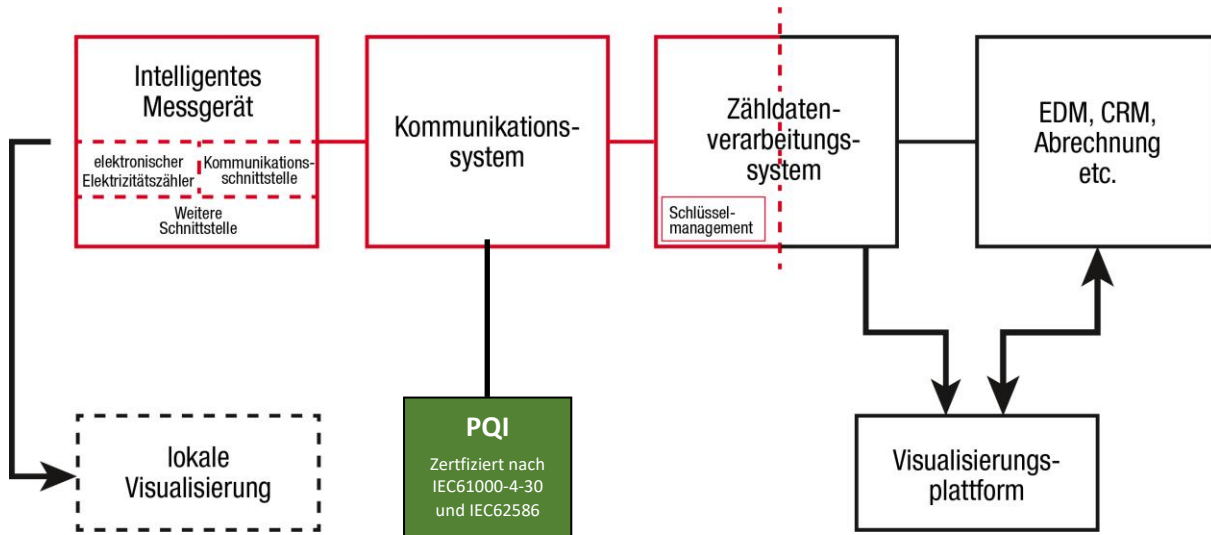


Bild 11: Intelligentes Messsystem (iMS) Systemarchitektur erweitert mit PQI

### 7.5.2 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].

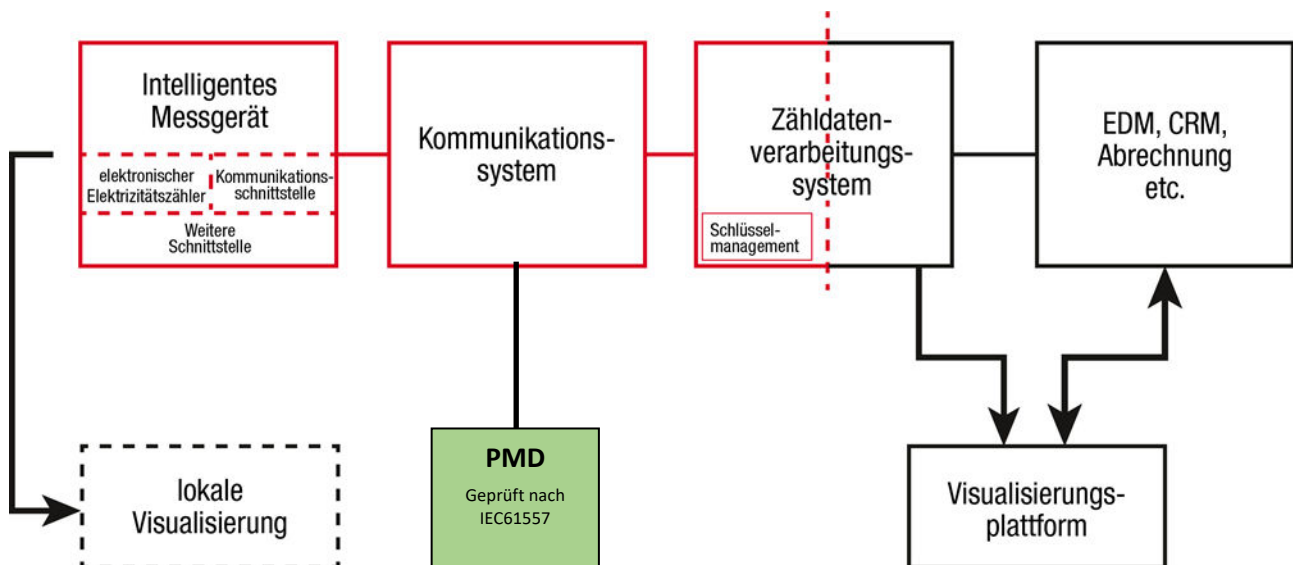
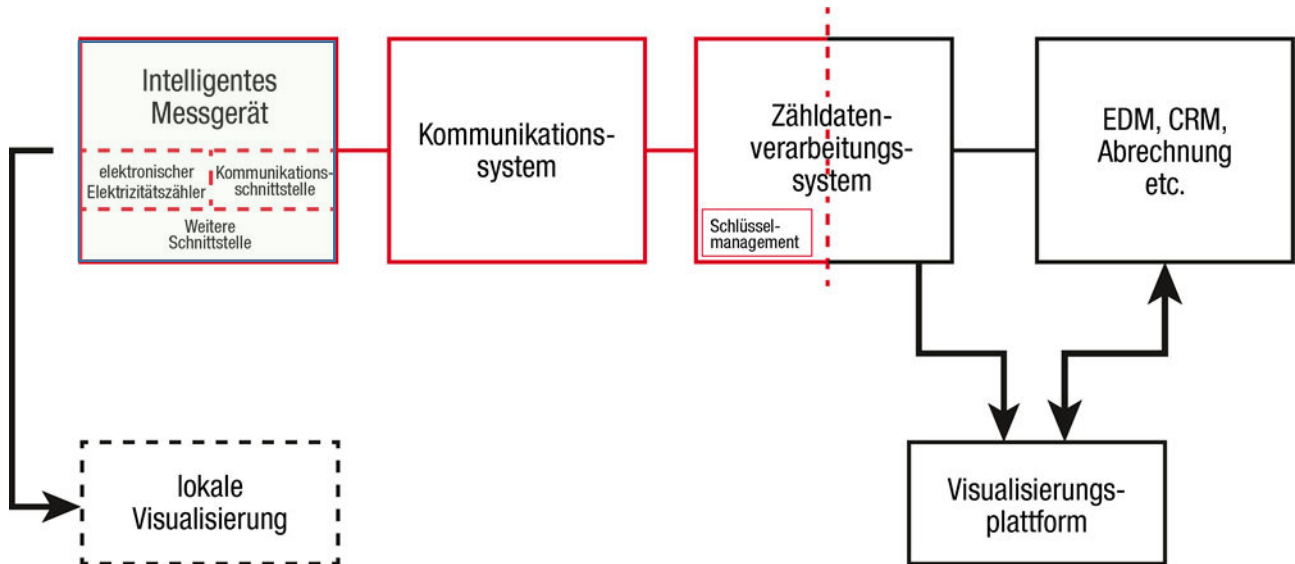


Bild 12: Intelligentes Messsystem (iMS) Systemarchitektur erweitert mit PMD



### 7.5.3 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 13:** 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.

## 7.6 PQ-Landkarte

Die PQ-Landkarte wurde innerhalb der Swissmig Arbeitsgruppe Power Quality mit dem Ziel erarbeitet, das Thema PQ in den Gesamtkontext einer Smart Grid Lösung zu setzen. Der Bezug zur PQ-Landkarte wird in den Use Cases im Detail in der Zeile «Referenz auf PQ-Landkarte» hergestellt und aufgezeigt.

Die PQ-Landkarte zeigt von der Feldebene über die Systemebene zur der Metaebene die Systemkomponenten, Daten, Prozesse und Rahmenbedingungen auf. Die Arbeitsgruppe pocht dabei nicht auf eine vollständige Landkarte, sondern regt die Betrachter an, ganzheitlich die Fragestellungen der Power Quality in einem Gesamtkontext zu betrachten. Auf der nächsten Seite wird die PQ-Landkarte gezeigt.

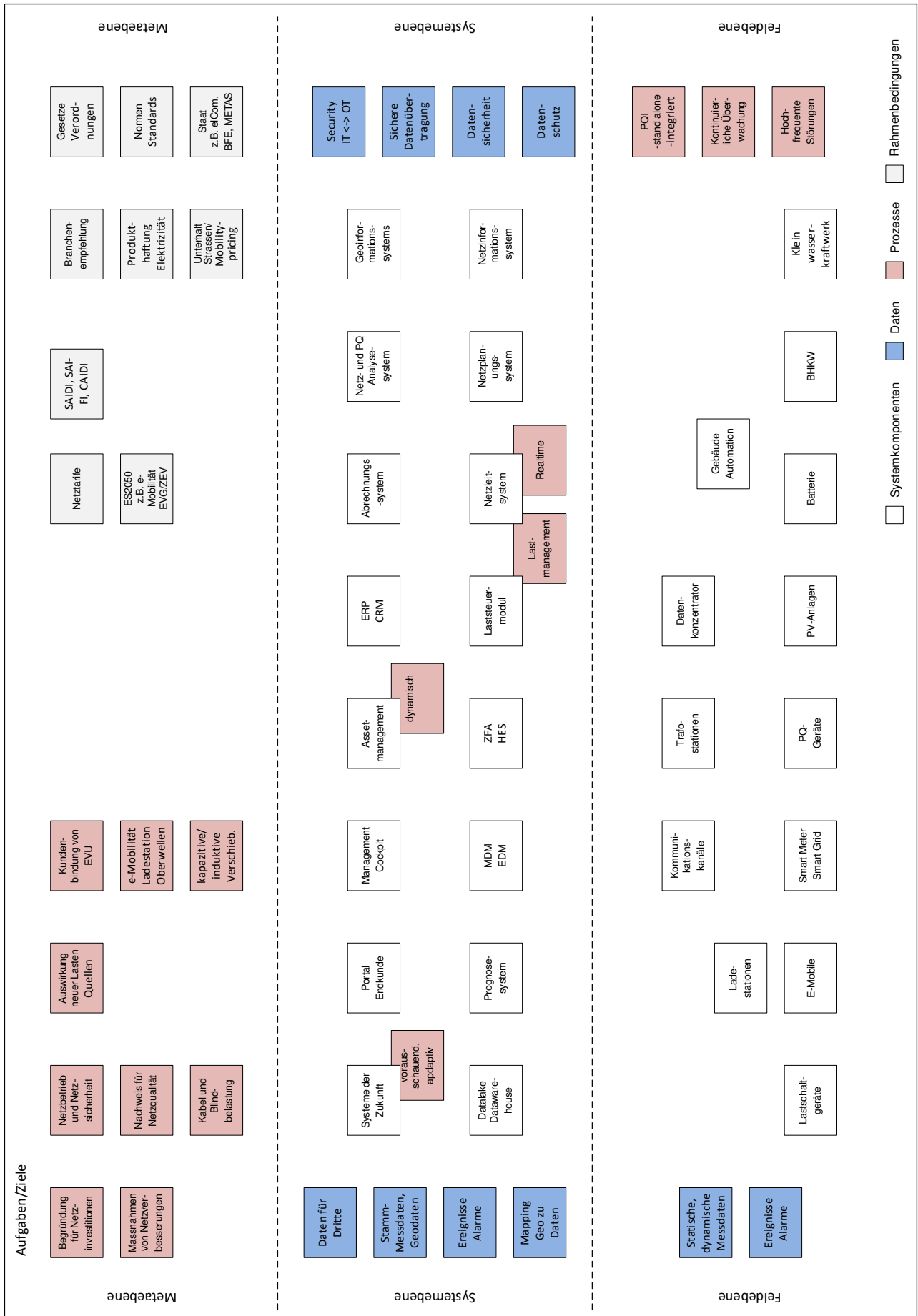


Bild 14: Swissmig Power Quality-Landkarte

## 8 PQ-Anwendungsfälle im Detail mit intelligenten Messsystemen

### Grundgerüst PQ-Anwendungsfälle (Use-Cases)

Alle PQ Use-Cases sind nach einem eindeutigen Schema aufgebaut, welches zwölf verschiedene Inhalte umfasst. Das generische Grundgerüst ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Inhalt	Beschreibung
ID-Nummer und Name	<i>UC X und Name</i>
Beschreibung	<i>2-3 Sätze, z.B. Der Nutzer kann jederzeit seinen aktuellen PQ-Zustand einsehen.</i>
Ziel / Ergebnis	<i>Der Zustand, der nach einem erfolgreichen Durchlauf des Use-Cases erwartet wird.</i>
Verwendete Anwendungsfälle	<i>Andere für diesen Use-Case relevante Use-Cases.</i>
Referenz auf PQ-Landkarte	<i>Verweis auf Landkarte visuell oder textlich.</i>
Rolle / Akteure	<i>Welche Rollen/Akteure sind beteiligt.</i>
Auslöser / Motivation	<i>Grund, wieso dieser Use Case ausgeführt wird.</i>
Voraussetzungen / Vorbedingungen	<i>Alle Bedingungen, welche erfüllt sein müssen, damit dieser Anwendungsfall angewendet werden kann.</i>
Invarianten	<i>Alle Bedingungen, welche innerhalb des Use Cases nicht verändert werden dürfen.</i>
Standardablauf	<i>Typisches Szenario, der am häufigsten auftretenden Fall.</i>
Alternative Ablaufschritte	<i>Szenarien, die sich ausserhalb des Standardablaufs ereignen können.</i>
Hinweise	<i>Kurze Erklärungen zum besseren Verständnis.</i>

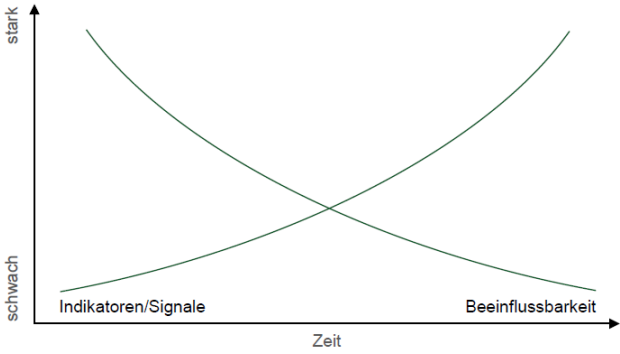
**Tabelle 6:** Schematischer Aufbau der PQ Use Cases

## 8.1 Statistische PQ-Konformitätsüberwachung an der Übergabestelle z.B. nach EN50160

Inhalt	Beschreibung			
ID-Nummer und Name	UC 1 Statistische PQ-Konformitätsüberwachung an der Übergabestelle z.B. nach EN50160			
Beschreibung	<p>Die europäische Norm EN50160 «Merkmale der Spannung in öffentlichen Verteilnetzen» kommt auch in der Schweiz an der Übergabestelle (Definition gemäss EN50160 Kapitel 3.22) zwischen Verteilnetzbetreiber und Kundenanlagen zur Anwendung (Bild 4). Die EN50160 kennzeichnet die Produktqualität von Elektrizität im Sinne des Produkthaftpflichtgesetzes (PrGH).</p> <div style="text-align: center;"> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center; vertical-align: top;"> <p><b>IEC 61000-2-12</b> EMV-Verträglichkeitspegel für Mittelspannung</p> </td> <td style="width: 33%; text-align: center; vertical-align: top;"> <p><b>IEC 61000-2-2</b> EMV-Verträglichkeitspegel für Niederspannung</p> </td> <td style="width: 33%; text-align: center; vertical-align: top;"> <p><b>IEC 61000-2-4</b> EMV-Verträglichkeitspegel für die Industrie und nicht öffentliche Netze</p> </td> </tr> </table>   </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p><b>3.22 Übergabestelle</b> Stelle in einem öffentlichen Versorgungsnetz, die dafür vorgesehen und vertraglich festgelegt ist, dass an ihr elektrische Energie zwischen den Vertragspartnern ausgetauscht wird</p> <p>Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Stelle kann z. B. vom Punkt der Messung des elektrischen Energieverbrauchs oder vom Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz abweichen.</p> </div> <p><b>Bild 15:</b> Anwendungsbereich der Spannungsqualitätsüberwachung nach EN50160 an der Übergabestelle (vereinfachte Darstellung)</p>	<p><b>IEC 61000-2-12</b> EMV-Verträglichkeitspegel für Mittelspannung</p>	<p><b>IEC 61000-2-2</b> EMV-Verträglichkeitspegel für Niederspannung</p>	<p><b>IEC 61000-2-4</b> EMV-Verträglichkeitspegel für die Industrie und nicht öffentliche Netze</p>
<p><b>IEC 61000-2-12</b> EMV-Verträglichkeitspegel für Mittelspannung</p>	<p><b>IEC 61000-2-2</b> EMV-Verträglichkeitspegel für Niederspannung</p>	<p><b>IEC 61000-2-4</b> EMV-Verträglichkeitspegel für die Industrie und nicht öffentliche Netze</p>		
Ziel / Ergebnis	1-wöchiges, gleitendes Auswertefenster z.B. nach EN50160, in welchem die Einhaltung der PQ-Qualität von 95% / 99% / 99.5% überwacht und bewertet wird.			
Verwendete Anwendungsfälle	Andere für diesen Use Case relevante Anwendungsfälle sind nicht bekannt.			

Referenz auf PQ-Landkarte	<p><b>Feldebene:</b> PQI Klasse A Messgeräte</p> <p><b>Systemebene:</b> Netz- und PQ-Analysesystem, Abrechnungssysteme, Netzleitsysteme, Netzinformationssysteme</p> <p><b>Metaebene:</b> Produkthaftpflichtgesetz (PrHG), Normen/Standards EN50160, Netzbetrieb und Netzsicherheit, Begründung von Neuinvestitionen, Massnahmen für Netzverbesserungen, Nachweis Netzqualität, Auswirkungen neuer Lasten und Quellen</p>
Rolle / Akteure	Asset-Verantwortlicher gemäss VSE-Richtlinien für die Datensicherheit von intelligenten Messsystemen, Anhang 2
Auslöser / Motivation	Der Nutzen einer kontinuierlichen Konformitätsüberwachung liegt in der lückenlosen Protokollierung, um allfällige Rechtsansprüche im Sinne der Produkthaftung geltend zu machen. Diese Art von Überwachung ist zudem für den Netzbetreiber ein sehr guter, vorlaufender Indikator, um frühzeitig zu erkennen, wie sich der PQ-Netzauslastungsgrad entwickelt.
Voraussetzungen / Vorbedingungen	<p>PQ-Messgeräte werden an der Übergabestelle installiert und führen die in der EN50160 vorgeschriebenen Messungen aus. Die EN50160 schreibt vor, dass die in den Messgeräten verwendeten Messmethoden konform zur IEC61000-4-30 sind.</p> <p>Die definierten Messdaten werden normativ aggregiert und können vor Ort ausgewertet bzw. über ein proprietäres PQ-Kommunikationssystem oder über ein IMS-Kommunikationssystem in ein übergeordnetes Analysesystem eingebunden, dort analysiert, visualisiert und archiviert werden.</p>
Invarianten	PQ-Messgeräte konform zur IEC61000-4-30
Standardablauf	Die Messungen werden gemäss der europäischen Norm EN50160 durchgeführt. Diese legt den Messumfang und die einzuhaltenden Grenzwerte an der Übergabestelle 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. Zyklische Ausführung (1 x wöchentlich, monatlich oder jährlich) oder im Falle von Grenzwert-Überschreitungen. Dazu können 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 werden.
Alternative Ablaufschritte	Auch in Kombination mit UC 2 anwendbar
Hinweise	Eine Herausforderung der sehr hilfreichen und anerkannten Konformitätsüberwachung nach EN50160 können je nach Use bzw. Business Case die Kosten sein. Zu den Geräte- und Installationskosten sind auch Kosten für die kontinuierliche Datenauswertung und für allfällige Massnahmen bei einer grossflächigen Überwachung der EN50160 in Betracht zu ziehen. Die Kosten werden jedoch um Faktoren kleiner, wenn eine Konformitätsüberwachung nach EN50160 als Baustein einer Smart Metering und/oder Smart Grid Lösung geplant und als Teil einer Gesamtlösung umgesetzt werden kann.



## 8.2 Verbraucherseitige PQ-Überwachung z.B. nach IEC TR63191

Inhalt	Beschreibung
ID-Nummer und Name	UC 2 Verbraucherseitige PQ-Überwachung z.B. nach IEC TR63191 mittels kontinuierlicher, flächendeckender Messungen von PQ-Messdaten.
Beschreibung	<p>In den sich verändernden Verteilnetzen der Zukunft ist es wichtig, Störungen frühzeitig, auch verbraucherseitig, d.h. in der Verantwortung der Anlagebetreiber, zu erkennen. Mit einer grossflächigen und kontinuierlichen Überwachung von PQ-Messgrössen können allfällige Risiken früh identifiziert werden. Dadurch ergibt sich ein grösserer Handlungsspielraum für geeignete Massnahmen</p>  <p><b>Bild 16:</b> Allgemeine, zeitliche Darstellung von Indikatoren und Beeinflussbarkeit</p>
Ziel / Ergebnis	Basierend auf kontinuierlichen PQ-Messwerten sollen PQ-Probleme frühzeitig erkannt werden. Dadurch können Risiken reduziert und bei Bedarf entsprechende Massnahmen ergriffen werden.
Verwendete Anwendungsfälle	Der UC 2 ergänzt den UC 1 um die verbraucherseitigen PQ-Messwerte.
Referenz auf PQ-Landkarte	<p><b>Feldebene:</b> iMG, PQ-Messgeräte, PMD konform zur IEC61000-4-30</p> <p><b>Systemebene:</b> Netz- und PQ-Analysesystem, ZFA/ HES/ MDM, Management Cockpit, Kundenportal</p> <p><b>Metaebene:</b> Netzbetrieb und Netzsicherheit, Auswirkung neuer Lasten oder Quellen, Kundenbindung, Begründung für Netzinvestitionen</p>
Rolle / Akteure	Metering-Verantwortliche Risikospezialisten Asset-Verantwortliche
Auslöser / Motivation	Kontinuierlicher Prozess, um einen vertieften Einblick in die Niederspannungsverteilung zu erhalten. Und dadurch PQ-Informationen für den Asset-Manager zur Verfügung stellen.
Voraussetzungen / Vorbedingungen	PQ-Messgeräte, z.B. der Klasse S, sind kundenseitig installiert und eine geeignete Datenkommunikations- und Auswertinfrastruktur ist verfügbar.
Invarianten	iMG, PQ-Messgeräte, PMD konform zur IEC61000-4-30

Standardablauf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definieren und Bereitstellen der Prozesse und der Infrastruktur auf der Management- und Systemseite</li> <li>• Installation und Inbetriebnahme der PQ-Infrastruktur</li> <li>• Kontinuierliche und flächendeckende Messung der PQ-Messgrößen</li> <li>• Auswerten und Vergleichen mit den relevanten PQ-Normen, z.B. IEC 61000-2-4</li> <li>• Die gewonnenen Erkenntnisse nutzen als Entscheidungsgrundlage für weitere Massnahmen, z.B. eine vertiefte Problem-Analyse und Behebung.</li> </ul>
Alternative Ablaufschritte	Anwendung in Kombination mit UC 1
Hinweise	<p>Auf der Feld- und Systemebene entstehen Mehrinvestitionen, weil die verwendeten Messgeräte der IEC TR63191 genügen müssen. Bei Bedarf ist auch die Datenübertragungsstruktur auf eine für den PQ-Messwerteumfang angepasste Bandbreite zu erweitern.</p> <p>Für die Weiterverarbeitung der PQ-Daten müssen management- und systemseitig Prozesse und Infrastruktur definiert werden.</p>

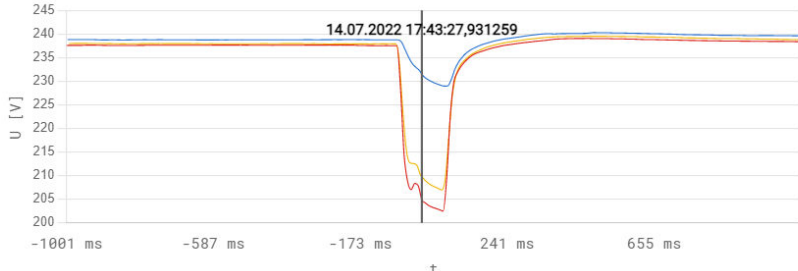


### 8.3 PQ-Ereignisüberwachung von Betriebsmitteln z.B. mittels ITIC-Kurve

Inhalt	Beschreibung
ID-Nummer und Name	UC 3 PQ-Ereignisüberwachung von Betriebsmitteln, z.B. mittels ITIC-Kurve [6]
Beschreibung	<p>Betriebsmittel, wie zum Beispiel elektrische Maschinen, Messgeräte und Leistungselektronik sind meistens für ein sinusförmiges Netz konstruiert worden. Die alltäglich gewordenen Verzerrungen von Strom- und Spannung führen zusammen mit dem Wandel in der elektrischen Erzeuger- und Verbraucherstruktur sowie dem veränderten gesellschaftlichen Verhalten (7x24 h) zu einer stetig abnehmenden Netzqualität im Verteilnetz. Diese negative Entwicklung der Netzqualität wirkt sich vor allem auch auf die Lebensdauer, Genauigkeit und Verfügbarkeit von Betriebsmitteln aus. Einige, nicht abschliessende Auswirkungen von schlechter Netzqualität sind:</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überhitzung von Transformatoren oder Motoren</li> <li>• Übermässige Erwärmung von Betriebsmitteln</li> <li>• Erwärmung von Leitungen</li> <li>• Erhöhte Stromaufnahme</li> </ul> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flackern der Beleuchtung</li> <li>• Summ-, Pfeif-Geräusche</li> </ul> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unerwartete Versorgungsunterbrüche</li> <li>• Reduzierte Lebensdauer von Geräten</li> <li>• Ausfall von Steuerungen, Datenverluste</li> <li>• Defekt empfindlicher Geräte (z.B. Serverausfall)</li> </ul> </div> </div> <p><b>Bild 17:</b> Auswirkungen schlechter Netzqualität</p>
Ziel / Ergebnis	Kontinuierliche Überwachung der PQ im Sinne einer vorausschauenden Wartung.
Verwendete Anwendungsfälle	Andere mit diesem Use Case kombinierbare Anwendungsfälle sind der UC 1 und UC 4.
Referenz auf PQ-Landkarte	<p><b>Feldebene:</b> PQI Klasse A Messgeräte und teilweise auch höherwertige PMD's</p> <p><b>Systemebene:</b> Netz- und PQ-Analysesystem, Abrechnungssysteme, Netzleitsysteme, Netzinformationssysteme</p> <p><b>Metaebene:</b> Normen/Standards, Netzbetrieb und Netzsicherheit, Begründung von Neuinvestitionen, Massnahmen für Netzverbesserungen, Nachweis Netzqualität, Auswirkungen neuer Lasten und Quellen</p>
Rolle / Akteure	Asset-Verantwortlicher gemäss VSE-Richtlinien für die Datensicherheit von intelligenten Messsystemen, Anhang 2

Auslöser / Motivation	Bei sehr teuren Betriebsmitteln (z.B. Computertomograph, Datenzentren) oder wenn ein Ausfall eines Betriebsmittels aus wirtschaftlichen Gründen (z.B. Banken, kritische Infrastrukturen) oder auch aus Sicherheitsgründen um jeden Preis verhindert werden muss. Im Sinne einer vorausschauenden Wartung sind die schnellen Spannungseignisse, welche durch PQI oder teilweise auch höherwertige PMD's zu erfassen, z.B. in der sogenannten ITIC-Kurve darzustellen und auszuwerten.						
Voraussetzungen / Vorbedingungen	PQ-Messgeräte oder höherwertige PMD's, konform zur IEC61000-4-30, sind am elektrischen Anschluss von wertvollen Betriebsmitteln zu installieren. Solche Geräte können schnelle PQ-Ereignisse gemäss IEC61000-4-30 messen.						
Invarianten	PQ-Messgeräte konform zur IEC61000-4-30						
Standardablauf	<p>Es werden PQ-Messgeräte eingesetzt, deren implementierte Messmethoden der internationalen Norm IEC61000-4-30 entsprechen.</p> <p>Die erfassten PQ-Messdaten werden über ein proprietäres PQ-Kommunikationssystem oder über ein iMS-Kommunikationssystem in ein übergeordnetes Analysesystem eingebunden, dort z.B. in einer ITIC Kurve ausgewertet, visualisiert und archiviert.</p> <div data-bbox="384 857 1102 1384" data-label="Figure"> </div> <p><b>Bild 18:</b> Auswertung von PQ-Ereignissen in einer ITIC-Kurve</p> <table border="1" data-bbox="384 1462 1190 1603"> <tr> <td style="text-align: center;"><span style="color: green;">●</span></td> <td><b>Kein Funktionsausfall, keine Schädigung</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><span style="color: orange;">●</span></td> <td><b>Funktionsausfall, keine Schädigung</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><span style="color: red;">●</span></td> <td><b>Möglicher Funktionsausfall, mögliche Schädigung</b></td> </tr> </table> <p><b>Bild 19:</b> ITIC-Kurve und Regionen</p>	<span style="color: green;">●</span>	<b>Kein Funktionsausfall, keine Schädigung</b>	<span style="color: orange;">●</span>	<b>Funktionsausfall, keine Schädigung</b>	<span style="color: red;">●</span>	<b>Möglicher Funktionsausfall, mögliche Schädigung</b>
<span style="color: green;">●</span>	<b>Kein Funktionsausfall, keine Schädigung</b>						
<span style="color: orange;">●</span>	<b>Funktionsausfall, keine Schädigung</b>						
<span style="color: red;">●</span>	<b>Möglicher Funktionsausfall, mögliche Schädigung</b>						
Alternative Ablaufschritte	Temporäre, anstelle von kontinuierlichen Messkampagnen bei PQ-Verdachtsfällen, sofern die PQ-Probleme nach Identifizierung nachhaltig behoben werden können.						
Hinweise	Neben der Auswertung in einer ITIC-Kurve können weitere anwendungsspezifische und nützliche Auswertungen durchgeführt werden, wie z.B. die Trendverfolgung der Gauss'schen Verteilung. Wie bei der ITIC-Kurve auch, ist es bei der Trendverfolgung (Perzentile) wesentlich, die PQ- 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.						

## 8.4 PQ-Ereignisüberwachung, Alarmierung und deren Bewertung z.B. nach EN50160 oder IEC61000-2-2

Inhalt	Beschreibung
ID-Nummer und Name	UC 4 PQ-Überwachung und Alarmierung bei PQ-Ereignissen und deren Bewertung z.B. nach EN50160 oder IEC61000-2-2
Beschreibung	<p>Die Kunden im Verteilnetz werden aufgrund der veränderten Energieerzeugung und -verteilung zunehmend durch sogenannte PQ-Ereignisse gestört. Diese Ereignisse können zu Versorgungsunterbrüchen führen. Solche PQ-Ereignisse werden nach der IEC61000-4-30 gemessen, unter Anwendung der Grenzwerte z.B. nach der Norm EN50160 oder IEC61000-2-2.</p> <p>Folgende Spannungsereignisse werden in diesen Normen überwacht:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Spannungseinbrüche und Spannungsüberhöhungen</li> <li>➤ Schnelle Spannungsänderungen (RVC)</li> <li>➤ Spannungsunterbrechungen</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; border-bottom: 1px solid black; padding-bottom: 5px;"> <span>PQ-Ereignisse</span> <span>Signalspannung</span> </div> <div style="padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <span>&lt;</span> <span>RMS (1/2)</span> <span>Abtastwerte</span> </div> <div style="font-size: small; margin-bottom: 5px;">             Triggerkanal: U1    Ereignistyp: Spannungseinbruch    Dauer [s]: 0.080           </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> U1N</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> U2N</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> U3N</span> <span><input type="checkbox"/> UNE</span> </div>  </div> </div> <p><b>Bild 20:</b> Beispiel PQ-Ereignis eines Spannungseinbruch</p>
Ziel / Ergebnis	Schnelle PQ-Ereignisse erfassen und dokumentieren, unmittelbare Massnahmen einleiten, um das Ausmass des Schadens zu minimieren.
Verwendete Anwendungsfälle	Andere für diesen Use Case relevante Anwendungsfälle sind UC 1 und UC 3.

Referenz auf PQ-Landkarte	<p><b>Feldebene:</b> PQ-Messgeräte konform zur IEC61000-4-30, iMG mit rudimentären PQ-Messfunktionen, PMD, Kommunikationskanäle, PV-Anlagen, Ladestationen</p> <p><b>Systemebene:</b> Netz- und PQ-Analysesystem, Netzleitsysteme</p> <p><b>Metaebene:</b> Produkthaftpflichtgesetz (PrHG), Normen/Standards EN50160, Netzbetrieb und Netzsicherheit, Begründung von Neuinvestitionen, Massnahmen für Netzverbesserungen, Nachweis Netzqualität, Störungsmanagement</p>
Rolle / Akteure	<p>Betriebsführung (Leitstellenmitarbeiter) &gt; nimmt Alarmierung entgegen</p> <p>Netzqualitätsverantwortlicher &gt; Analyse, um Massnahme zu definieren</p> <p>Netzingenieur &gt; Umsetzung der Massnahme im Verteilnetz</p>
Auslöser / Motivation	Alarmierung und Unterstützung bei der Suche nach dem Verursacher von schnellen PQ-Ereignissen. Daraus abgeleitet können unmittelbare Abhilfemassnahmen eingeleitet und deren Wirksamkeit überprüft werden.
Voraussetzungen / Vorbedingungen	Die PQ-Messgeräte (PQI / PMD / iMG) sind im Verteilnetz an verschiedenen Punkten und können die erforderlichen Messungen basierend auf RMS $\frac{1}{2}$ Werten ausführen. Die Messdaten werden über ein Kommunikationssystem in ein übergeordnetes Alarmierungssystem übertragen.
Invarianten	PQ-Messgeräte konform zur IEC61000-4-30
Standardablauf	PQ-Messgeräte messen schnelle 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 direkt vom PQ-Messgerät über das iMS-Kommunikationssystem, resp. iMS-Infrastruktur. Die Alarmierung erfolgt dann durch iMS-Infrastruktur z.B. via SMS, E-Mail und dem Versand von näheren Informationen. Basierend auf diesen wertvollen Meldungen aus dem Feld, können geeignete Abhilfemassnahmen ergriffen und deren Wirksamkeit überprüft werden (PDCA).
Alternative Ablaufschritte	Die Alarmierung kann alternativ auch direkt vom PQ-Messgerät via SMS oder E-Mail erfolgen. Eine Datenversand via zentrales System wie z.B. PQ-Analysesystem, iMS-Infrastruktur oder Netzleitsystem, ist somit nicht notwendig. Der Informationsgehalt der Nachricht kann dadurch reduziert sein.
Hinweise	Die Herausforderung besteht darin, die Ereignisse im übergeordneten System zu klassifizieren und zu konsolidieren, damit der Empfänger möglichst effizient eine Handlung ableiten kann.

## 8.5 PQ-Überwachung zur besseren PQ-Netzausnutzung z.B. Einhaltung EN50160 versus DACHCZ-Bewertung

Inhalt	Beschreibung
ID-Nummer und Name	UC 5 PQ-Überwachung zur besseren PQ-Netzausnutzung, z.B. Einhaltung EN50160 versus DACHCZ-Bewertung
Beschreibung	<p>Der Netzbetreiber muss zur systemweiten Einhaltung der Spannungsqualität den am Netz betriebenen Anlagen diskriminierungsfrei die jeweils zulässigen Netzurückwirkungen vorgeben können, damit deren Auswirkungen gesamthaft in einem vertraglichen Rahmen bleiben.</p> <p>Die gemeinsamen Technischen Regeln der vier Verbände VEÖ (Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs), VDE (Verband deutscher Netzbetreiber), VSE (Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen) und CSRES (Ceske sdruzeni rozvodnych Energetickych Spolecnosti, Tschechische Republik) leisten einen unverzichtbaren Beitrag zur Beurteilung von Netzurückwirkungen [10] in der Nieder- und Mittelspannung. Diese Technischen Regeln basieren auf langjähriger Erfahrung in den entsprechenden Ländern und berücksichtigen die aktuelle Normungslandschaft. Sie leisten somit einen wichtigen Beitrag zur Aufrechterhaltung der Spannungsqualität in den Netzen der allgemeinen elektrischen Energieversorgung (Textquelle VDE).</p> <p>Vor Inbetriebnahme einer neuen oder veränderten elektrischen Anlage wird durch den VNB eine Bewertung nach der sogenannten DACHCZ-Richtlinie durchgeführt. Die einzuhaltenden Grenzwerte in der DACHCZ sind sehr konservativ festgelegt worden. (siehe Bild 10). Das bedeutet in der Praxis, dass Netzverstärkungen realisiert werden, auch wenn die EN50160-Grenzwerte an der Übergabestelle nicht überschritten werden.</p> <div data-bbox="414 1388 1197 1881" data-label="Figure"> </div> <p><b>Bild 21:</b> Verträglichkeitspegel und Grenzwerte</p> <p>Basierend auf einer kontinuierlichen Überwachung der EN50160 kann messtechnisch nachgewiesen werden, ob ein Netzausbau wirklich erforderlich ist. In Situationen bei</p>

	denen die Grenzwerte der EN50160 verletzt werden, sind dann geeignete betriebliche Massnahmen zu ergreifen.
Ziel / Ergebnis	1-wöchiges, gleitendes Auswertefenster, z.B. nach EN50160 in welchem die Einhaltung der PQ-Qualität von 95% überwacht und bewertet wird.
Verwendete Anwendungsfälle	Anderer für diesen Use Case relevanter Anwendungsfall ist UC 1.
Referenz auf PQ-Landkarte	<b>Feldebene:</b> PQI Klasse A Messgeräte <b>Systemebene:</b> Netz- und PQ-Analysesystem, Abrechnungssysteme, Netzleitsysteme, Netzinformationssysteme <b>Metaebene:</b> Produkthaftpflichtgesetz (PrHG), Normen/Standards EN50160, D-A-CH-CZ Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen, Netzbetrieb und Netzsicherheit, Begründung von Neuinvestitionen, Massnahmen für Netzverbesserungen, Nachweis Netzqualität, Auswirkungen neuer Lasten und Quellen
Rolle / Akteure	Asset-Verantwortlicher
Auslöser / Motivation	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.
Voraussetzungen / Vorbedingungen	PQ-Messgeräte konform zur IEC61000-4-30, sind an der Übergabestelle installiert und können die in der EN50160 vorgeschriebenen Messungen ausführen. Diese Daten werden normativ aggregiert und vor Ort ausgewertet bzw. über ein proprietäres PQ-Kommunikationssystem oder über ein iMS-Kommunikationssystem in ein übergeordnetes Analysesystem eingebunden, dort analysiert, visualisiert und archiviert.
Invarianten	PQ-Messgeräte konform zur IEC61000-4-30
Standardablauf	Die Messungen werden gemäss der europäischen Norm EN50160 durchgeführt. Diese Norm legt die Messmethode, den Messumfang und die einzuhaltenden Grenzwerte an der Übergabestelle 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. Zyklische Ausführung (1 x wöchentlich, monatlich oder jährlich) oder im Falle von Grenzwert-Überschreitungen.
Alternative Ablaufschritte	Zuerst könnte man den UC 2 und danach, sobald Handlungsbedarf entsteht, diesen hier beschriebenen UC 5 anwenden.
Hinweise	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.

## 8.6 Zustands-Überwachung von Spannung-, Strom- und Leistung mit iMS

Inhalt	Beschreibung
ID-Nummer und Name	UC 6 Zustands-Überwachung von Spannungs-, Strom- und Leistungsgrößen mit intelligenten Messsystemen
Beschreibung	Für den technisch einwandfreien und effizienten Betrieb in den sich verändernden Verteilnetzen der Zukunft, ist es eminent wichtig zu wissen, welchen Einfluss verschiedene Belastungszustände in unterschiedlichen Netzvarianten haben und wo-durch kritische Zustände im Netz hervorgerufen werden können. Dazu kann eine kontinuierliche und flächendeckende Erfassung von relevanten Zustands-Daten mittels iMS das Asset Management unterstützen.
Ziel / Ergebnis	Basierend auf kontinuierlichen, relevanten Messdaten wird der Netzzustand erfasst und bei Bedarf können geeignete Massnahmen ergriffen werden.
Verwendete Anwendungsfälle	Sind keine bekannt.
Referenz auf PQ Landkarte	<b>Feldebene:</b> iMG <b>Systemebene:</b> Netz Analyse System ZFA/HES/MDM Management Cockpit / Asset Management <b>Metaebene:</b> Netzbetrieb und Netzsicherheit Auswirkung neuer Lasten / Quellen Begründung für Netzinvestitionen
Rolle / Akteure	Assetverantwortliche, Meteringverantwortliche
Auslöser/Motivation	Kontinuierlicher Prozess, um Einblick in die Niederspannungsverteilung zu erhalten.
Voraussetzungen / Vorbedingungen	Gebietsweise, vollständig oder grösstenteils ausgebautes Smart Metering-System.
Invarianten	iMG mit Zusatzfunktionen
Standardablauf	1. Definieren der Zielsetzung und Aufsetzen der Prozesse und Infrastruktur 2. Gebietsweise Umrüstung auf iMS 3. Kontinuierliche und flächendeckende Messung von Netz relevanten Daten 4. Automatische Auswertung und Vergleich gegenüber Referenzparametern
Alternative Ablaufschritte	Sind keine bekannt.
Hinweise	Auf der Feld- und Systemebene entstehen nur geringe Mehrinvestitionen, weil die iMS-Infrastruktur genutzt werden kann. Erforderlich ist jedoch die Festlegung von anwendungsspezifischen Messdaten (U, I und P) [3] sowie das Definieren von geeigneten Referenzparametern.

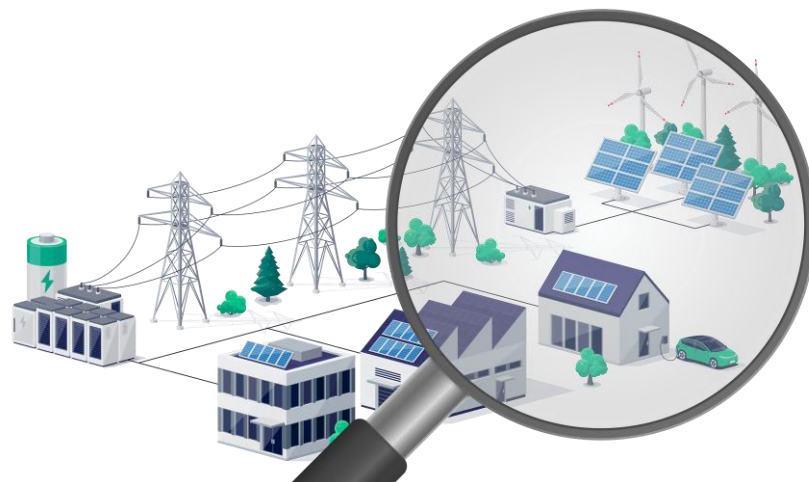
## 9 Zusammenfassung

Einen möglichen Kundennutzen aufzuzeigen und geeignete Massnahmen bei der Planung und Umsetzung von PQ-Messsystemen zu ergreifen bezweckt dieses Dokument mit den detailliert erörterten PQ-Use-Cases. Es gilt dabei die bekannte und altbewährte Aussage von Lord Kelvin:

**„If you can't measure it, you can't improve it“**

Aufgrund der getätigten Abklärungen, Diskussionen und Informationsverdichtungen leiten sich aus Sicht der Swissmig AG Power Quality drei Folgerungen ab:

1. **Die Relevanz von kontinuierlicher PQ-Messwerterfassung, Überwachung und anwendungsspezifischem Handeln** wird aufgrund der Zunahme von nichtlinearen Verbrauchern, dezentralen Einspeisungen sowie dem Wegfall von rotierenden Maschinen **weiter zunehmen**.
2. **Die spezifischen PQ-Anwendungsfälle** und die jeweilige PQ-Messwertung **müssen unbedingt in der Planung von intelligenten Messsystemen berücksichtigt werden**. Daraus leitet sich die Wahl der PQ-Messgeräte, z.B. PQI Klasse A, PMD oder IMG mit rudimentären PQ-Zusatzfunktionen sowie die erforderlichen Kommunikationskanäle ab.
3. Bei der Planung von intelligenten Messsystemen sind **modulare, Gerätehersteller übergreifende und zukunftsorientierte PQ-Lösungen anzustreben**. Dies vor allem im Hinblick auf eine allfällige ECom-Auflage zur Überwachung der EN50160 mittels intelligenten Messsystemen. Eine solche lückenlose PQ-Überwachung könnte einen wertvollen Beitrag zur effizienten Sicherstellung der elektrischen Energie-Versorgungssicherheit leisten.





## 10 Anhang

### 10.1 Power Quality Forschungsprojekte und Arbeitsgruppen

#### Schweiz zusammen mit BFE

Swinging Grids

OpitQ

Remigate

iREF-Grid

#### International

CIREN

IEC

IEEE

### 10.2 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
POS	Point of Supply Übergabestelle von Versorgungsnetz an den Vertragspartner (Kunde)
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

### 10.3 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 Netzurückwirkungen	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)