

Beitrag zur Definition eines Power Quality Index

DI Dr. Werner Schoeffer

ARTEMES GmbH

Hauptplatz 105

A-8552 Eibiswald

+43 664 5403106

Werner.schoeffer@artemes.org

www.artemes.org

Kurzfassung

Die Beobachtung der Power Quality hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen und von den Dachverbänden und Behörden werden die Daten mit gewisser Aufmerksamkeit betrachtet. Die Störungsstatistik gehört dabei zu einem etablierten Tool zur Bewertung unserer Stromnetze. Weniger Aufmerksamkeit bekommen die einzelnen anderen PQ Parameter, da sie zahlenmäßig mehrere sind und dadurch noch nicht in einem einzigen Kennwert zusammengefasst werden können. Dennoch liefern diese Kennwerte, wie Oberschwingungen, Flicker, Symmetrie und Frequenz, Informationen über die Einflüsse der Verbraucher und Zustände der Stromnetze und geben sowohl über langfristige Veränderungen als auch kurzfristige Störungen Auskunft.

Es gilt, diese Parameter auf einfache Art und Weise zusammenzufassen und möglichst in einem Wert, welcher repräsentativ und stabil sein sollte, wiederzugeben.

Der Beitrag zeigt Überlegungen, wie dies geschehen könnte und man über so einen Wert sowohl kurzfristig Störungen als auch langfristig Veränderungen beobachten könnte. So ein Wert wird mit theoretischen Werten exemplarisch diskutiert und mit anderen Methoden verglichen. Ebenso wird in diesem Beitrag anhand realer Messdaten die Praxistauglichkeit zur Diskussion gestellt. Unter anderem werden folgende Fragestellungen behandelt:

- Kann ein Wert repräsentativ sein für alle Parameter?
- Wie verhält sich ein solcher Wert, wenn mehrere Parameter größer werden, aber den Grenzwert nicht überschreiten?
- Kann man damit langfristige Veränderungen beobachten?
- Kann man mit einem solchen Wert auch mehrere Messstellen kombinieren und einen Kennwert für ein gesamtes Netz ableiten?

Inhalt

Kurzfassung	1
Grundlagen der Power Quality	3
Anforderungen an eine einfache Kennzahl	3
Überlegungen zur Bildung einer Kennzahl	3
Die Kubische Kennzahl in Zeitreihen	6
Anwendung auf mehrere Messstellen	8
Anforderungen an die Messtechnik	8
Aussicht	10
Zusammenfassung	10
Abbildungsverzeichnis	11
Literaturliste:	12

Grundlagen der Power Quality

In der Power Quality (PQ) werden heute verschiedenen Parameter betrachtet, welche die tatsächliche Netzspannung beschreiben und somit Abweichungen von Nennamplitude, Sinusform und Nennfrequenz sowie Symmetrie wiedergeben. Spannungseinsenkungen, also ereignisbezogene Werte, werden heute in definierten Kennzahlen erfasst und statistisch bewertet (z.B: Saidi, Saifi etc...). Anders ist das bei den dauerhaft betrachteten Werten. Diese werden jeder für sich betrachtet und für den Endanwender sind diese Größen kaum greifbar. Einfacher wäre hier eine einzelne Kennzahl, die eine Aussage über die Spannungsqualität gibt.

Die einzelnen Parameter werden in der EN 50160 definiert. Es sind dies:

- Spannungsschwankungen
- Frequenzänderungen
- Oberschwingungen mit (im einzelnen und Gesamtverzerrung THD)
- Flicker
- Symmetrie

Ebenso finden sich dort die Grenzwerte. Diese sind für jeden Parameter und die verschiedenen Spannungsebenen definiert. Ebenso werden Quantilwerte definiert, die eine zeitliche Toleranz von Ausreißern zulassen.

Jeder Parameter hat andere Ursachen und die Veränderung eines Parameters bedeutet nicht unbedingt, dass sich andere Parameter ähnlich verändern müssen.

Für eine qualitative Aussage über ein Stromnetz wird bisher jeder Parameter einzeln betrachtet. Eine einfache Aussage, wie gut oder wie schlecht ein Netz ist, ist daher kaum möglich.

Anforderungen an eine einfache Kennzahl

Es stellt sich somit die Frage, wie eine einfache Kennzahl aussehen könnte, welche den Zustand eines Stromnetzes wiedergeben könnte. Dabei gibt es verschiedene Anforderungen:

- Einfache Erkennung (z.B. 100%: kleiner=ok, größer=verletzt)
- Berücksichtigung jedes einzelnen Parameters der EN50160
- Erkennen von Ausreißern
- Werden mehrere Parameter schlechter, muss nicht unbedingt eine Grenzwertverletzung vorliegen. Aber man sollte diese Veränderung erkennen.
- Verletzt nur ein Parameter die Grenze, sollte der Parameter eindeutig auch eine solche Grenzwertverletzung anzeigen.
- Nicht der absolute Wert ist über die Zeit gesehen interessant, sondern die Veränderung der PQ soll betrachtet werden können.

Überlegungen zur Bildung einer Kennzahl

Da die einzelnen Parameter verschiedene Bezüge bzw. sogar Einheiten haben, ist ein direkter Zusammenhang nicht gegeben. Eine einfache Summation bzw. Mittelwertbildung kommt somit nicht in Frage.

Es muss daher zuerst ein gemeinsamer Bezug geschaffen werden. Es bietet sich hierfür an, die Grenzwerte jeweils als 100% anzusehen und der Wert im Bezug auf die Grenze in % ist der neue Wert. Ist zum Beispiel Flicker = 0,3 zu 95% der Zeit und der Grenzwert ist 1, so ist der Wert jetzt 30%. In Worten: 30% des Toleranzbandes werden genutzt

Ich nenne diese Werte im Folgenden relative Power Quality Parameter „relPQi“.

Da manche Werte zwei Grenzen haben (z.B.: obere und untere Spannungsgrenze) bekommt man 2 Werte. Hat man wiederum 2 zeitliche Bezüge (z.B. 95% Quartil und 100% Quartil) verdoppelt sich die Anzahl der Werte wiederum.

Für die EN50160 bekommt man somit 23 Werte. Würde man die Oberschwingungen einzeln betrachten, wären es sogar 98 einzelne Werte.

Diese Werte (relPQi) lassen sich grafisch wie folgt darstellen:

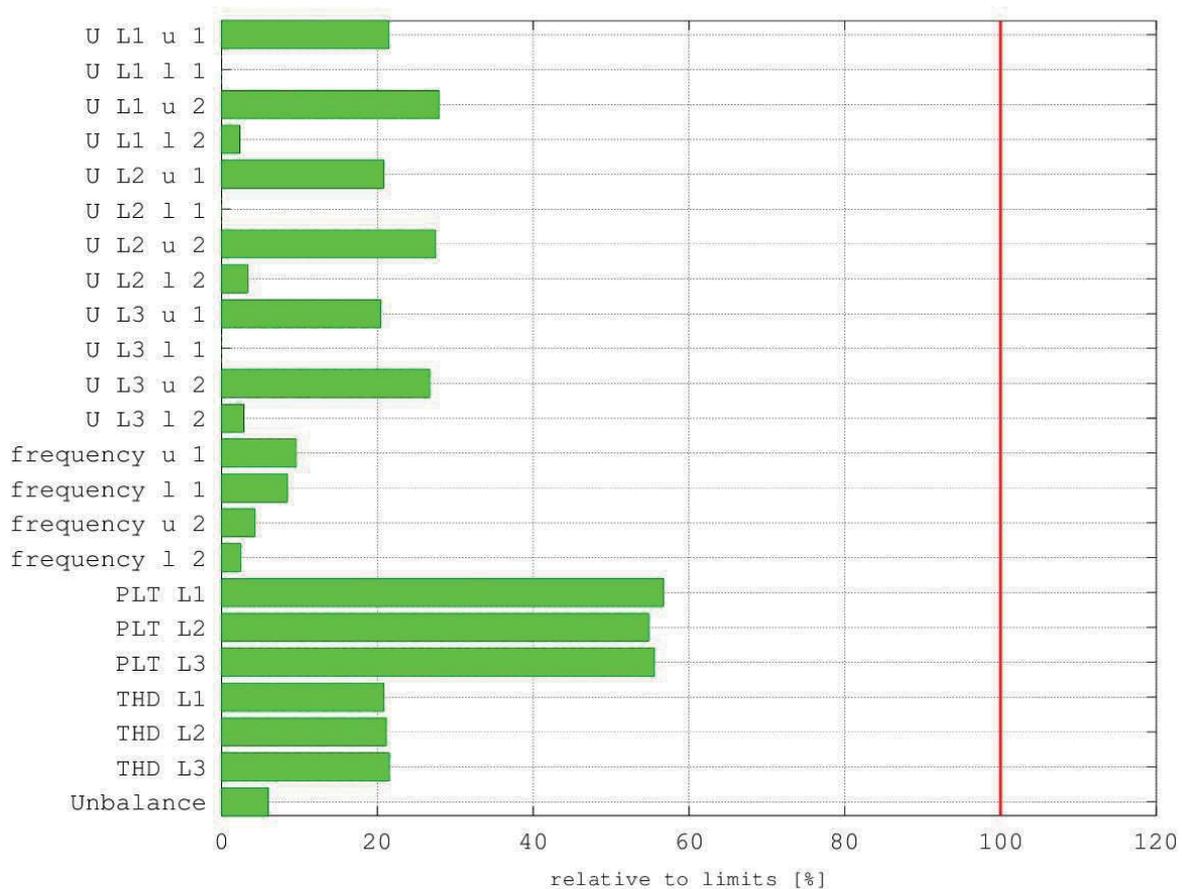


Abbildung 1: relative Power Quality Parameter relPQi

Der nächste Schritt ist die Bildung einer einzelnen Kennzahl aus diesen Werten.

Man könnte die Werte z.B gewichten: Die Frequenz bekommt 10%, THD 40% etc... Die einzelnen Werte würden dann summiert und man erhält eine Kennzahl. Das Ergebnis würde aber nichts aussagen, wenn z.B. ein Wert sehr groß wird, denn das könnte auch bedeuten, dass 2 Werte halb so groß wurden.

Es bildet sich hier ein Summationsverfahren an, welches einzelne Ausreißer stark in den Vordergrund bringt und geringe Veränderungen zwar zeigt, aber nicht überbewertet. Eine Summenbildung der kubischen Werte und anschließender Wurzelziehung (3te) wäre so eine Variante. Ich nenne diesen Wert den kubischen Power Quality Index (KPQ)

$$KPQ = \sqrt[3]{\sum_i relPQi^3}$$

KPQ...Kubischer Power Quality Index

relPQi...relativer Power Quality Parameter mit Index i (z.B. 23 für Symmetrie laut oberer Tabelle)

Die praktische Funktion dieser Zeitreihe wird anhand einiger Beispiele näher erklärt. Dabei werden 5 PQ Werte herangezogen. Diese könnten z.B. die relativen Ausnutzungen der Toleranzbänder von Spannung, Flicker, THD, Symmetrie und Frequenz sein.

B1: normaler Zustand

Jeder Parameter nutzt 10% seines zur Verfügung stehenden Toleranzbandes aus. Der Gesamtindex wäre jetzt 17%

relPQ1	relPQ2	relPQ3	relPQ4	relPQ5	KPQ
10%	10%	10%	10%	10%	17%

B2: ein Wert wird hoch, verletzt aber die Grenze nicht:

relPQ1	relPQ2	relPQ3	relPQ4	relPQ5	KPQ
10%	80%	10%	10%	10%	80%

Der KPQ zeigt einen hohen Wert an, aber keine Überschreitung von 100%, da ja die Grenzen eingehalten werden.

B3: Ein Wert überschreitet 100%

relPQ1	relPQ2	relPQ3	relPQ4	relPQ5	KPQ
10%	110%	10%	10%	10%	110%

Wenn ein Wert die Grenze überschreitet, dann zeigt auch der KPQ eine eindeutige Grenzwertverletzung.

B4: Zwei Werte werden hoch:

relPQ1	relPQ2	relPQ3	relPQ4	relPQ5	KPQ
10%	80%	70%	10%	10%	95%

Werden 2 Werte hoch, bleibt der Gesamtwert aber dennoch unter 100% - es zeigt eine Verstimmung an, aber keine Grenzwertverletzung.

Ein solcher Kubischer Index könnte daher einfach verwendet werden, um eine Aussage darüber zu treffen, ob in einem System Grenzwerte verletzt werden bzw. Verstimmungen auftreten. Man erkennt Veränderungen, für eine Ursachenanalyse müssen in Folge die einzelnen Werte und Zeitreihen betrachtet werden.

Als Variante zur Kubischen Summierung aller Parameter könnte man aus allen verwandten Werten immer den Maximalwert einfließen lassen. Z.B. aus allen Spannungen wird ein Wert gebildet, der der Größte aller Spannungswerte ist.

Die Kubische Kennzahl in Zeitreihen

Die Power Quality wird klassisch immer in zwei Zusammenhängen betrachtet. Zum einen, wenn Probleme auftreten, und zum anderen, um über längere Beobachtungszeiträume Veränderungen wahrnehmen zu können.

Im ersten Fall könnte ein PQ Index einfach verwendet werden um eine Aussage zu treffen OK/nicht OK. Da solche Analysen aber meist dann durchgeführt werden, wenn ohnehin Probleme bestehen und man daher Detailaussagen benötigt, wird eine solche Kennzahl hier nicht viel Anwendung finden.

Interessanter wird es aber im zweiten Fall, wenn ein Energiesystem über lange Zeiten betrachtet werden soll, dann hier kann man sehr wohl einfach die Qualität betrachten und sofort reagieren, wenn sich der Index verändert.

Berechnet man den Index z.B. wöchentlich und verfolgt die zeitliche Veränderung sieht man sehr gut, wie sich das Stromsystem verhält und auf Einflüsse reagiert. Solche Einflüsse können z.B. Erweiterungen in einem Betrieb oder neue Einspeiser bzw. Netzausbauten sein.

Die folgende Abbildung zeigt den KPQ Wert eines Gewerbebetriebes über einen Zeitraum von 57 Wochen betrachtet. Deutlich sichtbar sind kurzzeitige Einflüsse (hier z.B. Bautätigkeit in der Nachbarschaft), aber auch ein langfristiger Aufwärtstrend ist bereits erkennbar.



Abbildung 2: KPQ einer Messstelle

Um einen langfristigen Trend besser erkennen zu können, bietet sich die Mittelung über lange Zeiträume an. Ein Jahresmittelwert – d.h. gleitendes 52-Wochenfenster – könnte hier für eine Glättung der Jahresschwankungen sorgen. Ich nenne diesen Wert KPQ52. Jahresschwankungen kommen durch z.B. saisonale Änderungen und Betriebsurlaubszeiten zustande.

Die nächste Abbildung zeigt diesen KPQ52 angewendet auf das Beispiel aus Abbildung 2. Man erkennt deutlich, wie der Faktor steigt und auf Einflüsse reagiert.



Abbildung 3: KPQ in 52 Wochen Mittelwerten – KPQ52

Im nächsten Beispiel (Abbildung 4) wird der KPQ52 für eine Messstelle verwendet, wo in der Nähe Netzausbauten stattgefunden haben und eine Verstärkung der Netzkurzschlussleistung somit zu einer Verbesserung der Situation geführt hat. Auch hier ist eindeutig erkennbar, dass der KPQ52 eine Aussage über die Power Quality an der Messstelle zulässt.

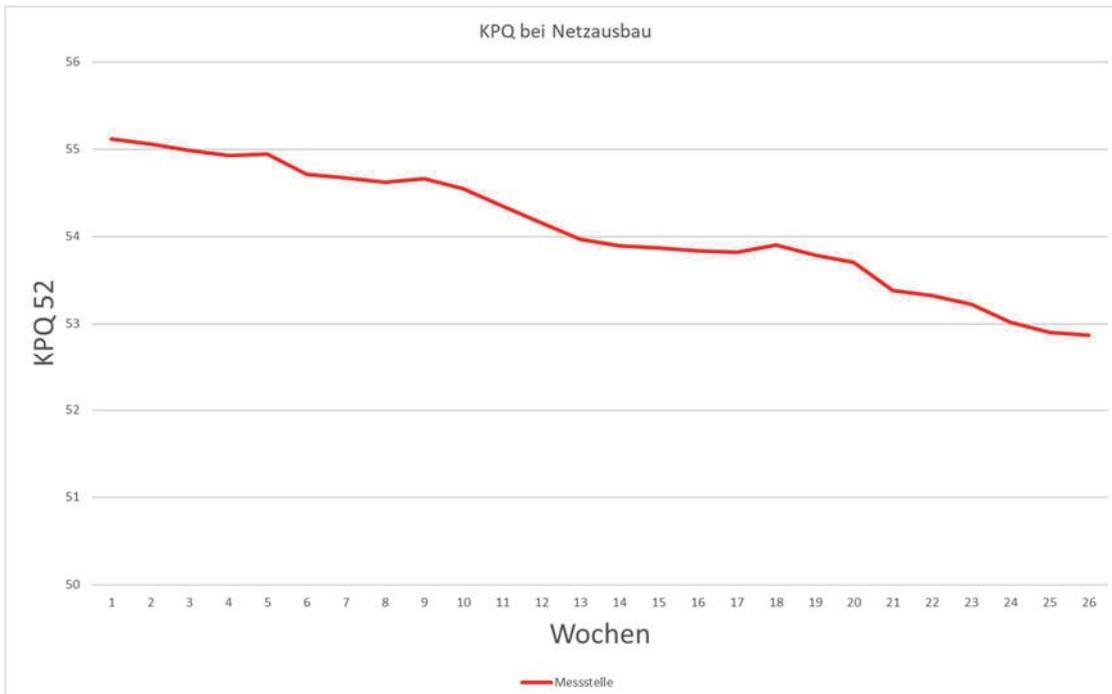


Abbildung 4: KPQ52 Verbesserung durch Netzausbau

Als zusätzlichen Aspekt möchte ich hier noch die Veränderung des KPQ über die Zeit einbringen.

Interessant ist oft auch gar nicht so sehr der absolute Wert, denn dieser ist natürlich von regionalen Gegebenheiten (z.B. Industriebetrieb in der Nachbarschaft) abhängig. Interessant ist die Veränderung des KPQ Index über die Zeit.

In der folgenden Abbildung ist die deutliche Verbesserung der PQ an einer Messstelle zu beobachten, welche hier durch einen negativen Wert ausgedrückt wird.

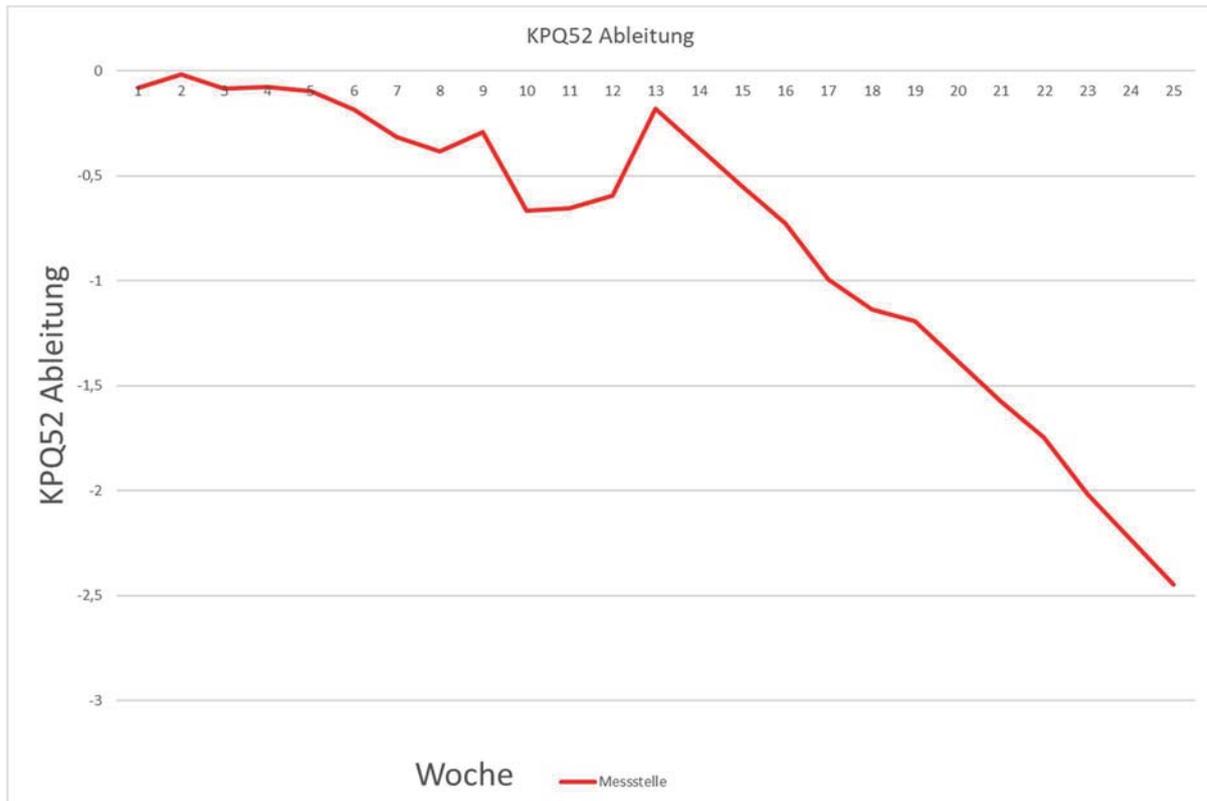


Abbildung 5: KPQ52 Ableitung

Anwendung auf mehrere Messstellen

Will man die Entwicklung der Power Quality in ganzen Netzen betrachten (z.B.: Gesamtverhalten eines Industrienetzes, Verteilnetz etc.), kann man wiederum die einzelnen Messstellen mitteln.

Hier kann je nach Anwendung linear oder wiederum kubisch gemittelt werden.

Für eine Betrachtung bzw. Erkennung von extremen Werten ist die Kubische Mittelung besser geeignet, da wiederum Grenzwertverletzungen einzelner Messstellen höher bewertet und somit sofort erkannt werden.

Will man hingegen die mittlere Veränderung eines Netzes über längere Zeiten betrachten, wird eine lineare Mittelung besser sein, da dabei eine kontinuierliche Gesamt-KPQ Entwicklung aussagekräftig das Power Quality Verhalten im Stromnetz beschreibt.

Anforderungen an die Messtechnik

Messsysteme, welche die Daten für solche Untersuchungen liefern können, müssen primär der PQ Messgerätenorm IEC 61000-4-30 [2] in der geltenden Fassung genügen. Weiters müssen die Daten in unkomprimierter Form (gesamte Zeitreihe) zur Verfügung stehen, um eine umfassende Analyse durchführen zu können. Für die Auswertung wurde auf ein gängiges Mathematikprogramm (Octave, Microsoft Excel) zurückgegriffen. Eine entsprechende Datenschnittstelle bzw. die Möglichkeit des

direkten Zugriffs auf die rohen Messdaten bereits während der laufenden Messung ist dabei von Vorteil. Da der KPQ ja ständig berechnet und beobachtet werden sollte bzw. selbstaktiv Grenzwertverletzungen aufzeigen sollte, ist nur eine Onlinebewertung zielführend.

Solch ein Monitoringsystem wurde für diese Beispiele mit der Cloudlösung der österreichischen Firma **ARTEMES** realisiert.



Abbildung 6: Messgerät ARTEMES AM-10-PA2 [3]

Aussicht

Alleine die Ankündigung einer einzelnen einfachen Kennzahl für den Power Quality Zustand trifft auf großes Interesse, da sich ein normaler Stromanwender kaum im Dschungel der PQ Parameter orientieren kann.

Die Verwendung einer Kubischen Mittelung zeigt dabei sehr gut Veränderungen und Ausreißer.

Eine vergleichende Betrachtung über die Zeit lässt dabei Veränderungen sofort erkennen, ohne dass viele Parameter im Detail betrachtet werden müssen. Hier bietet sich auch die Betrachtung der Veränderung an, da dabei weniger die absoluten Werte zählen (sofern sie innerhalb der Toleranzbänder liegen), sondern ob und wie sich das Gesamtverhalten verändert.

Will man zur Bewertung von Netzen jene Parameter ausblenden, welche nicht selbst beeinflussbar sind (z.B. Frequenz), dann kann man diese einfach weglassen.

Eine einfache Anwendung könnte so ein Parameter auch in Industriebetrieben haben. Ist dieser unter 100%, ist alles in Ordnung. Ist dieser allerdings größer als 100%, dann stimmt etwas nicht und ein Experte kann zur Identifikation des Problems beigezogen werden. Dies ließe sich auf diese Weise auch automatisieren. Ebenso könnte der Versorger bzw. Netzbetreiber mit so einem Index leicht auf Probleme aufmerksam werden und selbstaktiv Aktionen veranlassen.

Zusammenfassung

Der Kubische Power Quality Index wurde bereits mehrfach bei Power Quality Beobachtungen angewendet und hat dabei seine Funktion bewiesen.

Angewendet auf größere Industrie- oder Versorgungsnetze könnte so ein Parameter auch langfristige Veränderungen dokumentieren und kurzfristig Überschreitungen aufzeigen.

Die Veränderung des Wertes mit der Zeit zeigt deutlich die Verbesserung bzw. Verschlechterung der PQ in einem elektrischen Energieversorgungssystem. Nicht der absolute Wert ist hier interessant, sondern die Veränderung. Messstellen in der Nähe von großen Immidenten (z.B. Industriebetrieb in der Nachbarschaft) könnten dadurch genauso objektiv und somit fair betrachtet werden, wie solche in natürlich saubereren Stromnetzen.

Für Industriekunden könnte so ein Parameter ein einfacher Index sein, der eine klare Aussage über bessere bzw. schlechtere Verhältnisse machen könnte. Im Fehlerfall bzw. der Überschreitung von Grenzwerten muss dann ohnehin ein Experte zugezogen werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: relative Power Quality Parameter relPQi	4
Abbildung 2: KPQ einer Messstelle	6
Abbildung 3: KPQ in 52 Wochen Mittelwerten – KPQ52.....	7
Abbildung 4: KPQ52 Verbesserung durch Netzausbau	7
Abbildung 5: KPQ52 Ableitung	8
Abbildung 6: Messgerät ARTEMES AM-10-PA2 [3]	9

Literaturliste:

- [1] ÖVE/ÖNORM EN 50160:2011: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
- [2] ÖVE/ÖNORM EN 61000-4-30:2016: Verfahren zur Messung der Spannungsqualität
- [3] <https://www.artemes.org/index.php/de/energie-messen/port>
- [4] Power Quality, die neue Herausforderung; W. Schoeffler, P. Gredler, A. Gabbauer; 2002,