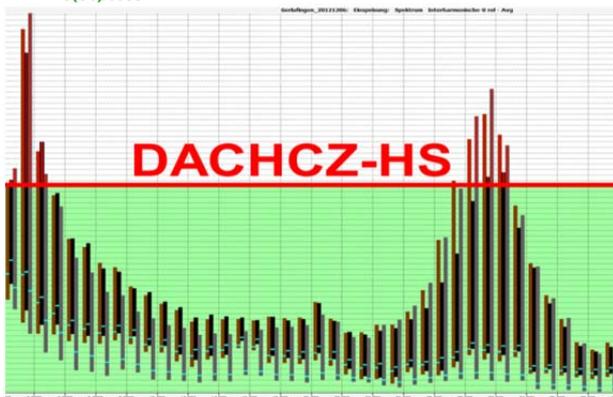
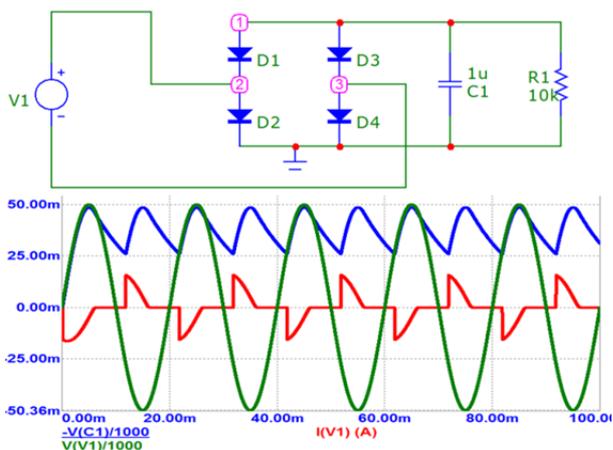


FKH - / VSE – Fachtagung

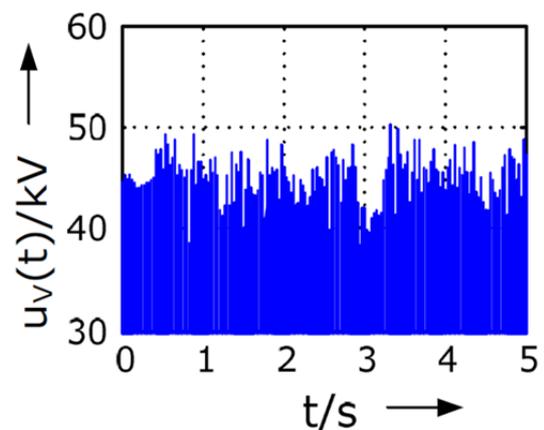
13. November 2014

Hochschule für Technik FHNW, Brugg-Windisch

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen



$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$



*FKH- / VSE-Fachtagung
13. November 2014
Fachhochschule Nordwestschweiz,
Campus Brugg-Windisch*

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Veranstalter:

*Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
Voltastrasse 9
8044 Zürich*



*Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, VSE
Hintere Bahnhofstrasse 10
5001 Aarau*



**FKH- / VSE-Fachtagung
13. November 2014
Fachhochschule Nordwestschweiz,
Campus Brugg-Windisch**

Vorwort zur Tagung

Die in diesem Band zusammengestellte Fachveranstaltung soll einem breiteren Fachpublikum als kurzer Einblick in einige aktuelle Themen der Netzqualität auf allen Spannungsebenen dienen.

Das lange nur von Spezialisten behandelte Thema hat im letzten Jahrzehnt durch die Öffnung des Elektrizitätsmarktes aber auch durch neue Formen der Energieerzeugung und neue Gerätetechnologien wachsendes Interesse bei vielen Akteuren in der Energieerzeugungsbranche auf sich gezogen.

Nach einer Einführung in die Thematik der Netzqualität wird auf die Richtlinien und Normen eingegangen, in welchen die Parameter zur Quantifizierung der Spannungsqualität beschrieben werden. Die Fragen, die sich den internationalen Gremien bei der Beurteilung der Netzqualität stellen, werden diskutiert.

Die Beiträge behandeln die Verfahren zur Messung und Berechnung der Qualitätsparameter in unterschiedlichen Netzen und Spannungsebenen. Einen Schwerpunkt bildet die Beurteilung von Netzstörungen anhand der gängigen Richtlinien, und es werden die in der Praxis verfügbaren Massnahmen zur Verbesserung der Netzqualität vorgestellt. Dabei kommen auch Lösungen von Beeinflussungsproblemen in den Bahnnetzen und in Zusammenhang mit dezentralen Energieeinspeisungen zur Sprache.

Dr. Jan Meyer
Tagungsleiter

Dr. Reinhold Bräunlich
Geschäftsleiter der FKH

Tagungsprogramm

Datum: Donnerstag, 13. November 2014, Beginn 09.00 Uhr
 Ort: Fachhochschule Brugg-Windisch, neue Aula
 Titel: **Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen**
 Tagungsleitung: Dr. Jan Meyer, TU Dresden

	Beitrag	Referent
09 ⁰⁰ -09 ¹⁰	Begrüssung durch den Präsidenten der FKH	Dr. Thomas Aschwanden, KWO, Innertkirchen
09 ¹⁰ -09 ⁵⁰	Power Quality - Aktuelle Entwicklungstendenzen und zukünftige Herausforderungen	Dr. Jan Meyer, TU Dresden
09 ⁵⁵ -10 ²⁵	Überblick aus Sicht des VSE über die Aktivitäten im Bereich Versorgungsqualität in der Schweiz	Hansjörg Holenstein, VSE, Aarau
	Kaffeepause	
11 ⁰⁰ -11 ³⁰	Aktuelle Problemstellungen der Netzqualität in Bahnnetzen	Dr. Markus Meyer, Emkamatik GmbH, Wettingen
11 ³⁵ -12 ⁰⁵	Oberwellen im Bahnfahrleitungsnetzen, gegenseitige Beeinflussung von Triebfahrzeugen	René Vollenwyder, SBB, Bern
12 ¹⁰ -12 ⁴⁰	Netzqualitätsmessungen im Hoch- und Höchstspannungsnetz	Dr. Thomas Brügger, FKH, Zürich
	Mittagessen	
14 ¹⁵ -14 ⁴⁵	Aktuelle Probleme der Netzqualität in einem Stadtwerk	Christoph Steinmann, EWZ, Zürich
14 ⁵⁰ -15 ²⁰	Leistungselektronik in Elektrizitätsversorgungsnetzen, neue Möglichkeiten, Problemstellungen und Lösungen	Tobias Thurnherr, ABB, Turgi
15 ²⁵ -15 ⁵⁵	Permanente Netzqualitätsmessungen in Übertragungs- und Verteilnetzen, Möglichkeiten, Grenzen, Praxisprobleme – Ausblick	Jürg Pargätzi, Parmeltec, Horn
16 ⁰⁰ -16 ¹⁵	Schlussdiskussion	Dr. Jan Meyer
ab 16 ¹⁵	Apéro	

Ende der Veranstaltung ca. 17¹⁵

Zusammenfassung der Referate

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Power Quality - Aktuelle Entwicklungstendenzen und zukünftige Herausforderungen Dr. Jan Meyer, TU Dresden	1
Überblick aus Sicht des VSE über die Aktivitäten im Bereich Versorgungsqualität in der Schweiz Hansjörg Holenstein, VSE, Aarau	33
Aktuelle Problemstellungen der Netzqualität in Bahnnetzen Dr. Markus Meyer, Emkamatik GmbH, Wettingen	51
Oberwellen im Bahnfahrleitungsnetzen, gegenseitige Beeinflussung von Triebfahrzeugen René Vollenwyder, SBB, Bern	57
Netzqualitätsmessungen im Hoch- und Höchstspannungsnetz Dr. Thomas Brügger, FKH, Zürich	63
Aktuelle Probleme der Netzqualität in einem Stadtwerk Christoph Steinmann, EWZ, Zürich	81
Leistungselektronik in Elektrizitätsversorgungsnetzen, neue Möglichkeiten, Problemstellungen und Lösungen Tobias Thurnherr, ABB, Turgi	85
Permanente Netzqualitätsmessungen in Übertragungs- und Verteilnetzen, Möglichkeiten, Grenzen, Praxisprobleme – Ausblick Jürg Pargätzi, Parmeltec, Horn	93
Referentenadressen	107
Internetseite zur Fachtagung	109
Notizen	111

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Power Quality - Aktuelle Entwicklungstendenzen und zukünftige Herausforderungen

Dr. Jan Meyer
TU Dresden

- Diplom (1994) und Promotion (2004) an der Technischen Universität Dresden auf dem Gebiet der Elektroenergiequalität
- seit 1995 Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektroenergieversorgung
- seit 2007 Leiter der Arbeitsgruppe „Power Quality“
- Mitglied in verschiedenen nationalen und internationalen Arbeitsgremien auf dem Gebiet „Power Quality“ und EMV, u.a. D-A-CH-CZ Arbeitsgruppe EMV&PQ, CIGRE/CIRED Arbeitsgruppen zu den Themen Power Quality Monitoring und Power Quality Aspekte in zukünftigen Netzen, Expertennetzwerk Netzzrückwirkungen beim FNN
- Forschungsschwerpunkte: Entwurf großer Messprogramme und effizienter Algorithmen zur Datenauswertung; Methoden zur Berechnung von Emissionsgrenzwerten für Harmonische; Messung und Modellierung nieder- und höherfrequenter Emissionen in Übertragungs- und Verteilungsnetzen
- Regelmäßige Organisation und Durchführung von Seminaren und Workshops zum Thema Netzzrückwirkungen

Power Quality - Aktuelle Entwicklungstendenzen und zukünftige Herausforderungen

Jan Meyer
TU Dresden

1. Kurzfassung

Eine angemessene Qualität der Elektroenergie ist Grundvoraussetzung für den störungsfreien Betrieb aller angeschlossenen Geräte und Anlagen. Sie stellt damit eine wichtige Basis für jede leistungsfähige Volkswirtschaft dar. Die Elektroenergiequalität (Power Quality) unterscheidet Stromqualität und Spannungsqualität. Während die Stromqualität maßgeblich im Verantwortungsbereich der Hersteller von Geräten und Anlagen liegt, sind für die Sicherung einer angemessenen Spannungsqualität im Wesentlichen die Netzbetreiber verantwortlich. Die Power Quality wird durch verschiedene Qualitätskenngrößen, wie bspw. Oberschwingungspegel, Unsymmetrie oder Flickerstärke beschrieben und durch eine Vielzahl verschiedener Faktoren beeinflusst. Dabei wird zwischen Einflussgrößen der elektrischen und Einflussgrößen der nichtelektrischen Umgebung unterschieden (Bild 1).

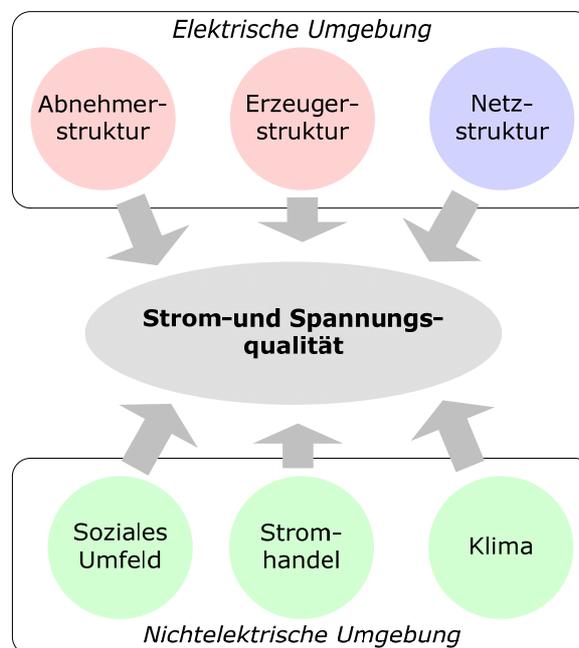


Bild 1 System der Einflussgrößen auf die Elektroenergiequalität

Qualitätsminderungen werden im Wesentlichen durch die an das Netz angeschlossenen Geräte verursacht. Beispielsweise verursachen alle Arten von elektronischen Schaltungen zur Umwandlung von Wechselspannung in Gleichspannung oder umgekehrt (z.B. in Fernsehern, Computern, Elektrofahrzeugen, Photovoltaik-Anlagen, drehzahlgeregelten Antrieben, usw.) Verzerrungen im aufgenommenen bzw. abgegebenen Strom. Einphasig oder zweiphasig

angeschlossene leistungsstarke Geräte führen zu Unsymmetrien und Geräte mit schnellen Lastwechseln können störende Flickererscheinungen hervorrufen. Diese Verminderungen der Stromqualität bedingen aufgrund des nichtlinearen, unsymmetrischen und/oder schnellveränderlichen Spannungsabfalls über der endlichen Netzimpedanz eine verminderte Spannungsqualität, welche wiederum auf andere an das Netz angeschlossene Geräte wirkt.

Alle Verminderungen der Power Quality sind nur bis zu einem gewissen Grad tolerierbar. Wird dieser überschritten, sind zunehmende Funktionsstörungen bzw. Geräteausfälle die Folge, welche zu erheblichem volkswirtschaftlichen Schaden führen können. Um dies zu vermeiden und die auch gesetzlich geforderte Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) zu gewährleisten, wurde ein komplexes Normenwerk entwickelt, welches hauptsächlich unter der Reihe IEC 61000 zusammengefasst und weltweit anerkannt ist. Es basiert auf der Festlegung von Verträglichkeitspegeln (IEC 61000-2-x), mit deren Hilfe Störaussendung (IEC 61000-3-x) und Störfestigkeit (IEC 61000-4-x) elektrischer Geräte und Anlagen koordiniert werden. Darüber hinaus existieren nationale Regelwerke, wie bspw. die „Technischen Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen“, welche u.a. Verfahren zur Berechnung von Emissionsgrenzwerten für große Anlagen beschreiben.

Die Sicherstellung der für die Elektromagnetische Verträglichkeit erforderlichen Elektroenergiequalität kann sowohl durch Hersteller als auch durch Netzbetreiber erfolgen. Hersteller können dies durch eine Senkung ihrer Störaussendung erreichen, Netzbetreiber durch eine Verstärkung ihrer Netze (Erhöhung der Kurzschlussleistung). Um ein gesamtwirtschaftliches Optimum zu erreichen, sind die entsprechenden Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten fair und gleichmäßig auf Netzbetreiber und Hersteller zu verteilen. Auch dies wird durch die Normenreihe IEC 61000 sowie ergänzende nationale und europäische Regeln und Richtlinien sichergestellt.

Bis in die sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts lag der Fokus hinsichtlich Power Quality auf der kontinuierlichen Bereitstellung einer Spannung mit in vorgegebenen Grenzen variierender Amplitude und Frequenz. Mit der anschließenden Entwicklung der Leistungselektronik gewann die Verzerrung an immer größerer Bedeutung. Heutzutage verursachen dagegen kurzzeitige Spannungseinbrüche die höchsten Kosten durch verminderte Spannungsqualität. Vier wichtige zukünftige Herausforderungen hinsichtlich der Power Quality sind im Folgenden kurz zusammengefasst.

1. Die Verzerrung verschiebt sich aus dem klassischen Frequenzbereich der Oberschwingungen kleiner 2 kHz in den darüber liegenden Frequenzbereich. Emissionen und Beeinflussungsphänomene im Frequenzbereich 2-150 kHz, u.a. hervorgerufen durch Umrichter mit aktivem Frontend, Ladegleichrichter für Elektrofahrzeuge mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur oder selbstgeführte Wechselrichter für Photovoltaikanlagen nehmen stetig zu. Dies kann durch thermische Zusatzbeanspruchung auch Auswirkungen auf die Lebensdauer anderer elektronischer Geräte haben.
2. Der vermehrte Einsatz von verteilter Erzeugung auf Basis von Leistungselektronik bei gleichzeitigem Rückbau klassischer Erzeugung führt u.a. zu einer zunehmenden Variabilität der Kurzschlussleistung. Derzeitige Emissionsgrenzwerte basieren auf der Annahme einer bestimmten Mindestkurzschlussleistung. Insbesondere im Hinblick auf Diskussionen, z.B. über selbstbilanzierende Netzinseln, ist dieses Konzept zu hinterfragen.

3. Durch strompreisgetriebene Gleichzeitigkeiten, z.B. bei zeitgleicher Zu- bzw. Abschaltung von Erzeugungsanlagen, erhöht sich insgesamt die Dynamik im Netz. Dies ist u.a. an den stündlich auftretenden Frequenzschwankungen zu erkennen und kann bspw. zu vermehrt auftretenden, schnellen Spannungsänderungen führen.
4. Die Anzahl der Power Quality - Messstellen wird sich weiter kontinuierlich erhöhen. Um den hohen Informationsgehalt in den riesigen Datenmengen (Big Data) effektiv und umfassend auszunutzen, bedarf es intelligenter, weitgehend automatisch arbeitender „Agenten“. Ansätze für eine verteilte Datenspeicherung und Auswertung garantieren eine hohe Skalierbarkeit auch bei mehreren tausend oder zehntausend Messgeräten. Einheitliche Schnittstellen garantieren die nahtlose Einbindung von Messgeräten verschiedener Hersteller. Einfache, flexibel aggregierbare Bewertungskenngrößen (Top-Down-Ansatz) sind Voraussetzung u.a. für die zukünftige Integration von Power Quality - Informationen in Leitsysteme.

Das Referat gibt nach einer Einführung in die Mechanismen der Entstehung von Netzurückwirkungen eine Übersicht wichtiger Power Quality - Kenngrößen. Gefolgt von einer grundlegenden Erläuterung der Konzepte zur Elektromagnetischen Verträglichkeit wird eine kurze Übersicht des existierenden Normenwerkes gegeben. Zum Abschluss geht das Referat auf die zukünftigen Herausforderungen im Hinblick auf die Power Quality ein und illustriert diese anhand ausgewählter Beispielmessungen.

Power Quality

Aktuelle Entwicklungstendenzen und zukünftige Herausforderungen



Dr.-Ing. Jan Meyer

FKH Fachtagung

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Brugg-Windisch, 13. November 2014

Gliederung

1. Grundlagen
2. Normen
3. Herausforderungen

Anforderungen an die Elektroenergiequalität

vor 90 Jahren ...



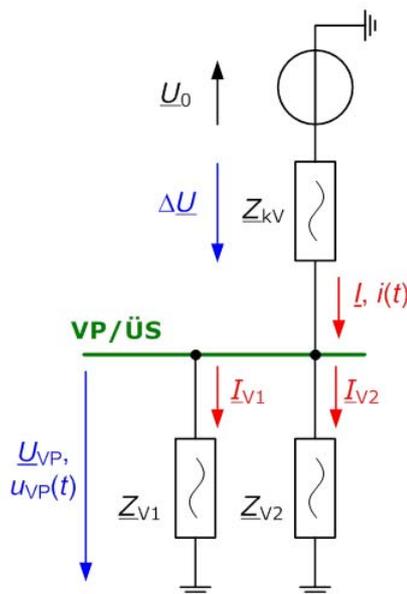
... und heute

- Preisgünstige Elektroenergie und elektrische Geräte
- Freiheit in der Wahl von Betriebsort und Betriebszeit
- Störungsfreier Betrieb aller elektrischen Geräte



Indirekte Forderung „tadelloser Qualitätsbeschaffenheit“

Grundlegender Wirkungsmechanismus



Netzurückwirkung:

Verbraucher 1 bezieht „nichtidealen“ Strom

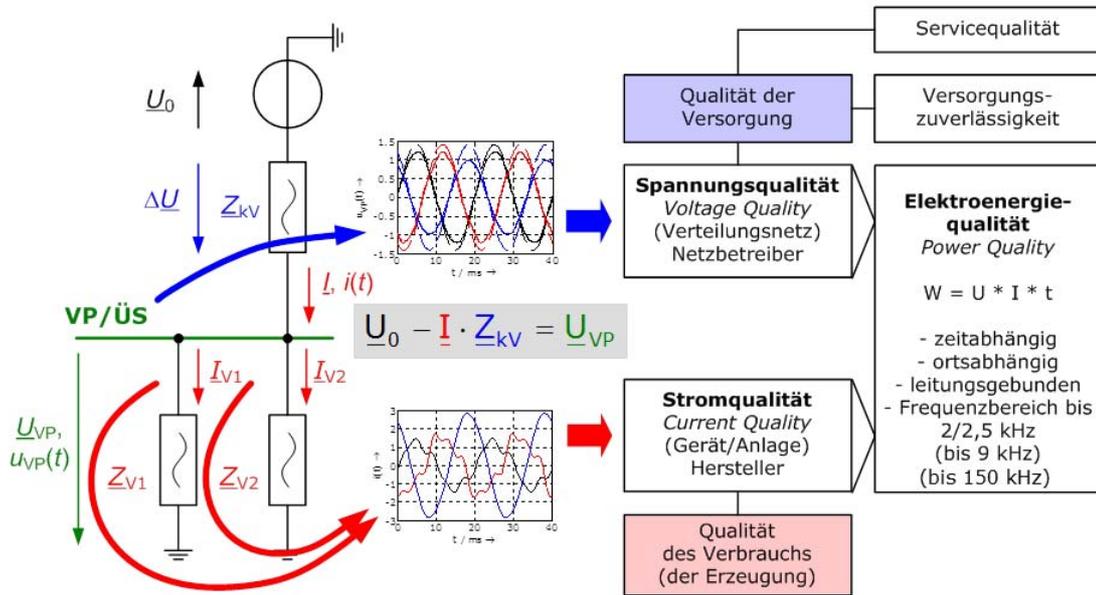
„Nichtidealer“ Spannungsfall über der Netzimpedanz

„Nichtideale“ Spannung am Verknüpfungspunkt

Beeinflussung von Verbraucher 2

- Beeinflussungen treten auf:
 - innerhalb eines Betriebsmittels
 - zwischen verschiedenen Betriebsmitteln
- Unterscheidung von Emission und Immission

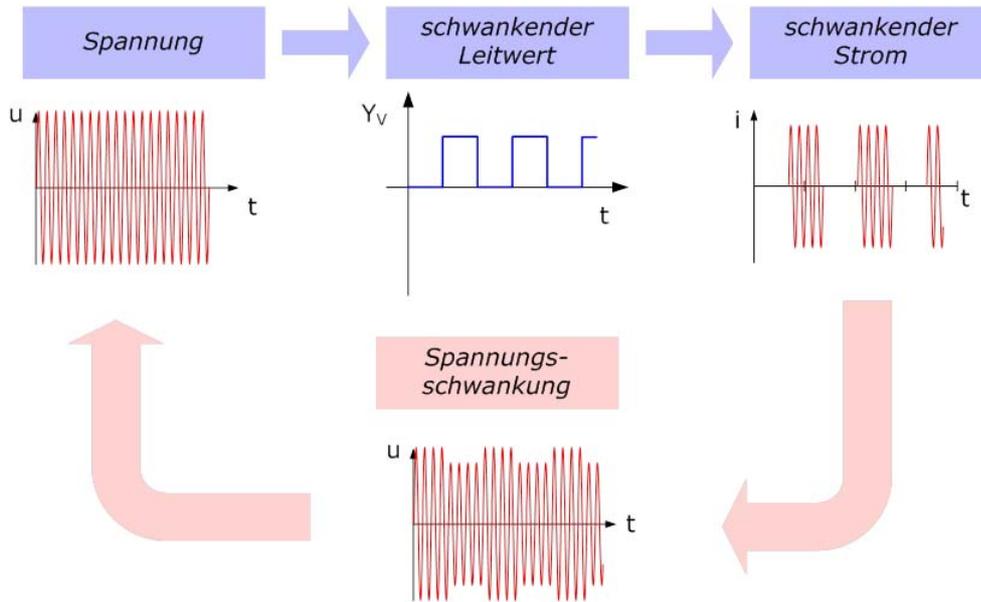
Systematik der Qualitätsbegriffe



Wichtige Qualitätsmerkmale und Verursacher

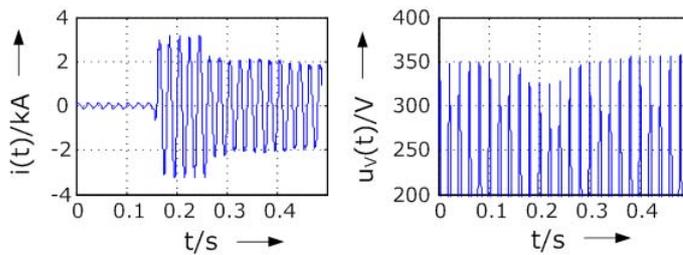


Beispiel: Periodischer Lastwechsel



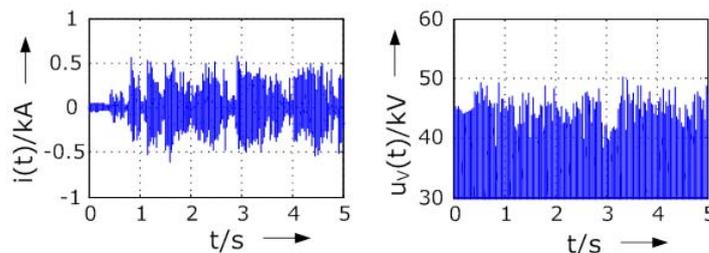
Weitere Beispiele

- *Anlauf einer Kältemaschine*



Stoßartige
Leitwert-
änderung

- *Einschmelzphase eines Lichtbogenofens*



Unsymmetrische,
nichtlineare,
stochastisch
variierende
Leitwerte

Möglichkeiten zur Beeinflussung der Störaussendung

$$\underline{U}_0 - \underline{I} \cdot \underline{Z}_{kV} = \underline{U}_{VP}$$



Eigenschaften des Anlagenstromes \underline{I} , bestimmt durch die Eigenschaften der Impedanz \underline{Z}_V der Anlage
 $\underline{I} = f(\underline{Z}_V, \underline{U}_{VP})$

Anlagen- bzw. Gerätehersteller

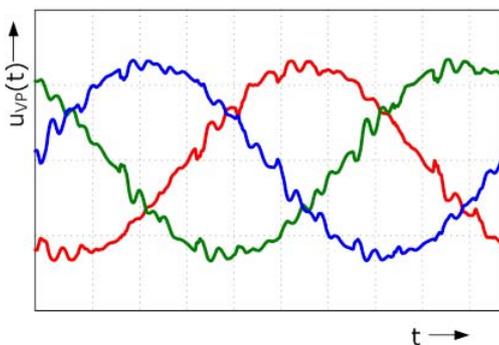
Eigenschaften der Kurzschlussimpedanz \underline{Z}_{kV} , also der Kurzschlussleistung $S_{kV} = f(1/\underline{Z}_{kV})$ des vorgeordneten Netzes

Netzbetreiber

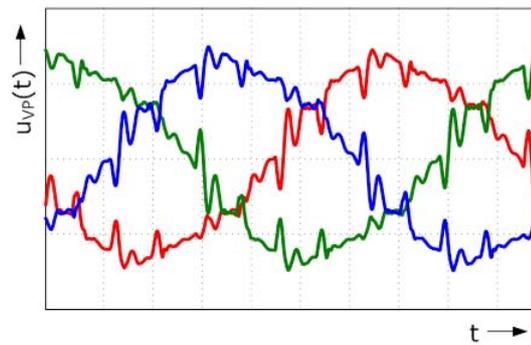
Beispiel zum Einfluss der Kurzschlussimpedanz

- Messungen an der NS-Einspeisesammelschiene eines Industriekunden bei näherungsweise konstanter Abnahme

Einspeisung aus dem leistungsstarken Netz (S_{kV} hoch)



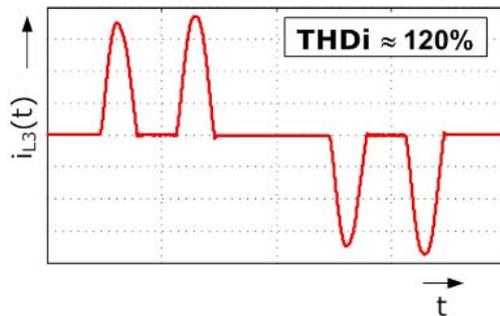
Einspeisung aus der Netzersatzanlage (S_{kV} gering)



Beispiel zum Einfluss der Gerätetechnologie

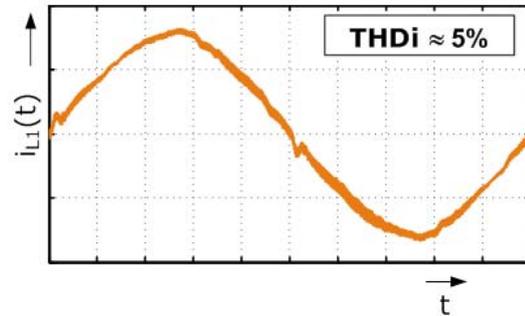
Ladegleichrichter mit klassischer Gleichrichtertechnik

- hohe niederfrequente Harmonische durch fehlende induktive Glättung
- vernachlässigbare Aussendung von Zwischenharmonischen und höherfrequenten Anteilen > 2kHz

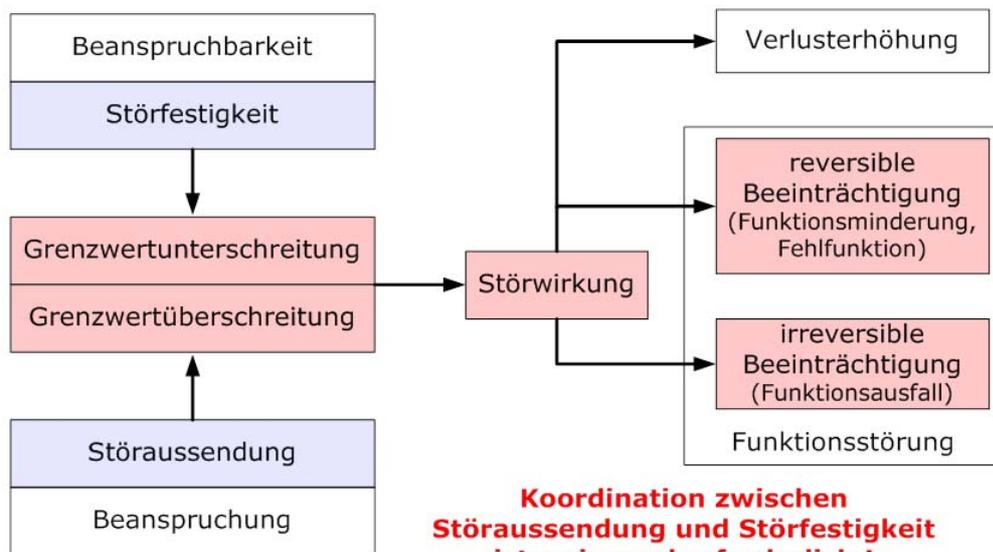


Ladegleichrichter mit aktiver PFC-Technik

- Starke Reduktion der niederfrequenten Stromüberschwingungen
- Erhebliche Emission höherfrequenten Anteile > 2kHz (Schaltfrequenz bei 45kHz)



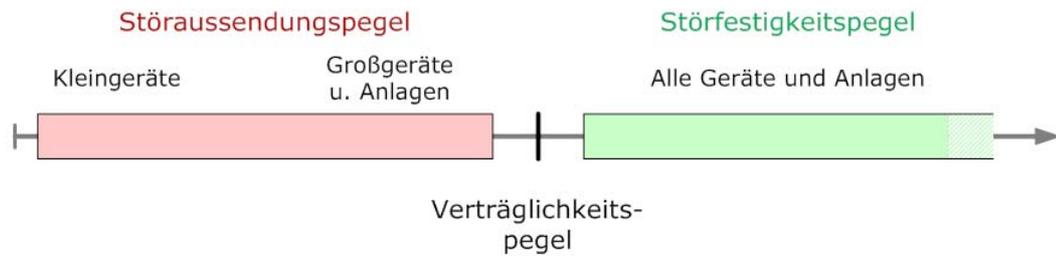
Mögliche Störwirkungen



Koordination zwischen Störaussendung und Störfestigkeit ist zwingend erforderlich !

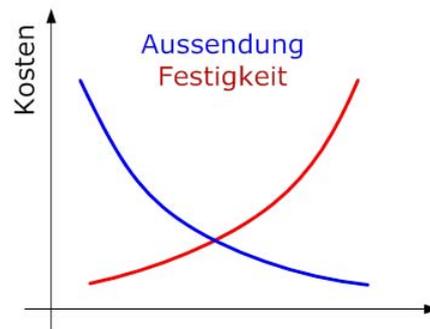
Elektromagnetische Verträglichkeitskoordination

- **Elektromagnetische Verträglichkeit:**
 Die Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems,
 a. **in ihrer/seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren,** → **Störfestigkeit**
 b. **ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen.** → **Störaussendung**
- **Verträglichkeitspegel:**
 Festgelegter elektromagnetischer Störpegel, der als Bezugspegel zur Festlegung von Störaussendungsgrenzwerten und Störfestigkeitsgrenzwerten verwendet wird und vom Störaussendungspegel nur mit **geringer Wahrscheinlichkeit** (ca. 5%) überschritten wird.



Interessengruppen

- Erhöhung der Störfestigkeit und/oder Verringerung der Störaussendung -> höhere Kosten für **Hersteller**
- Erhöhung der Kurzschlussleistung (Verringerung der Störbelastung) -> höhere Kosten für **Netzbetreiber**
- Kunden und Regulatoren erwarten niedrige Kosten von Netzbetreibern und Herstellern (ohne unzulässige Qualitätsverminderung)



Gliederung

1. Grundlagen
2. Normen
3. Herausforderungen

Relevante Normen, Richtlinien und Regelwerke

Internationale Normenreihe IEC 61000

- Weltweite Normen/Richtlinien für Klein- und Großgeräte/Anlagen
- In Europa teilweise Vorschrift durch EMV-Gesetz und damit Basis für CE-Kennzeichnung

Nationale Regelwerke für Netzurückwirkungen

- D-A-CH-CZ-Richtlinie zur Beurteilung großer Anlagen
- Deutsche Anwenderregeln für die Beurteilung großer Anlagen

Produktnorm EN 50160

- Europäische Norm zur Beschreibung des Produktes Elektrizität (Produkthaftungsgesetz)
- Grundlage für Haftungsansprüche

Regulatorische Vorgaben

- Spezifische Abstimmung auf die Ziele der nationalen Regulierungsbehörde (z.B. Directive in Norwegen)
- Streben nach europäisch einheitlichem Handeln (Mitarbeit TC8X/WG1)

Grundlage der Verträglichkeitsnormung in Europa

Richtlinie 2004/108/EG des Rates vom 15. Dezember 2004
zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN NACH ARTIKEL 5

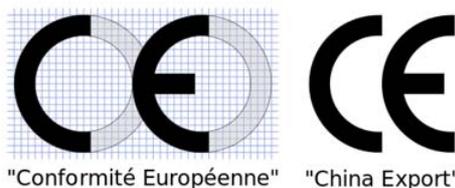
- Betriebsmittel müssen nach dem Stand der Technik so konstruiert und gefertigt sein, dass
- die von ihnen verursachten elektromagnetischen Störungen keinen Pegel erreichen, bei dem ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Fern- und Telekommunikationsanlagen, Rundfunkempfangsgeräten oder anderen Betriebsmitteln nicht möglich ist;
 - sie gegen die bei bestimmungsgemäßer Verwendung zu erwartenden elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, ohne unzumutbare Beeinträchtigung bestimmungsgemäß arbeiten zu können.

Die Anforderungen werden in harmonisierten Normen konkretisiert, die durch CEN, CENELEC und ETSI verabschiedet werden.



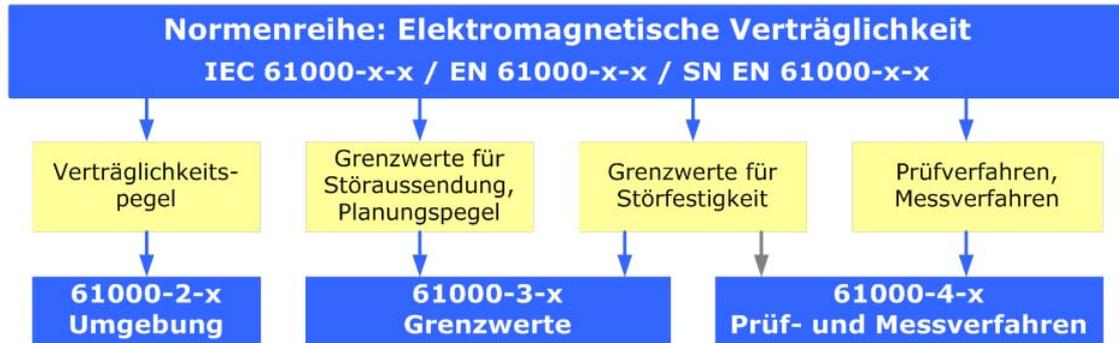
Konformitätsvermutung und Kennzeichnungspflicht

- Eigenverantwortliche Sicherstellung der Einhaltung aller relevanten EMV-Normen durch den Hersteller
- Stichprobenhafte Kontrolle durch die Bundesnetzagentur
- „Anzeige“ von Konformitätslücken bei BAKOM/ESTI bzw. EU-Kommission (z.B. Frequenzbereich 2kHz bis 150kHz)
- Mutmaßlicher Missbrauch der CE-Kennzeichnung (besonders starke Thematisierung in Italien als Eingangstor für gefälschte Waren)
- Marktüberwachung ist Sache der Länder



Quelle: Wikipedia

Übersicht der Normenreihe 61000



weitere Teile:

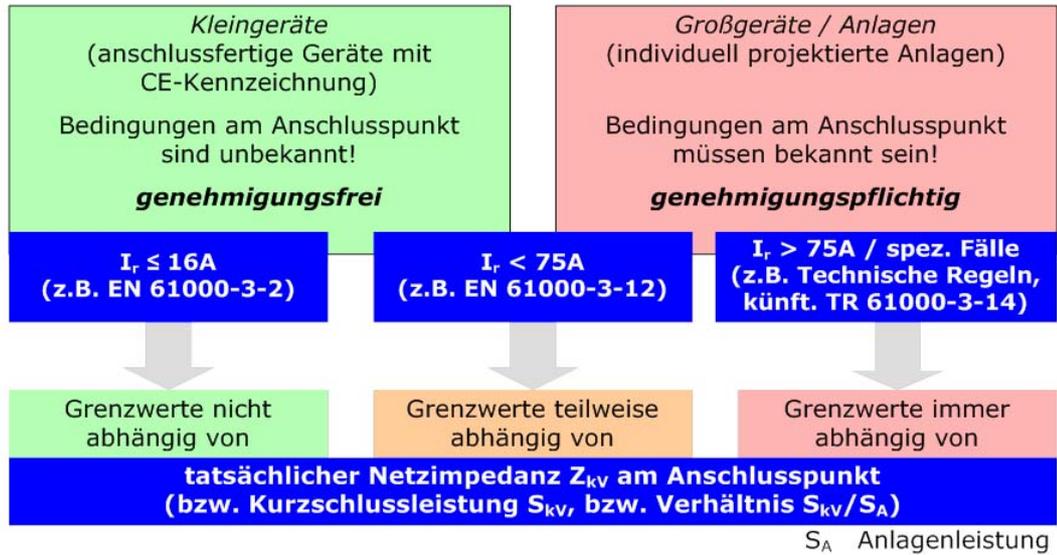
- 61000-1-x Allgemeines
- 61000-5-x Installationsrichtlinien und Abhilfemaßnahmen
- 61000-6-x Fachgrundnormen (Generic Standards)
- 61000-9-x Verschiedenes

Umgebung: Verträglichkeitspegel und Planungspegel



- **Niederspannungsnetze:**
 - IEC 61000-2-2 (öffentliche Netze)
 - IEC 61000-2-4 (Industriernetze)
- **Mittelspannungsnetze:**
 - IEC 61000-2-2 (öffentliche Netze)
 - IEC 61000-2-4 (Industriernetze)
- **Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetze:**
 - IEC TR 61000-3-6 (Harmonische)
 - IEC TR 61000-3-7 (Spannungsschwankungen und Flicker)
 - IEC TR 61000-3-13 (Unsymmetrie)

Aussendungsgrenzwerte: Philosophie



Aussendungsgrenzwerte: Übersicht ausgewählter Normen

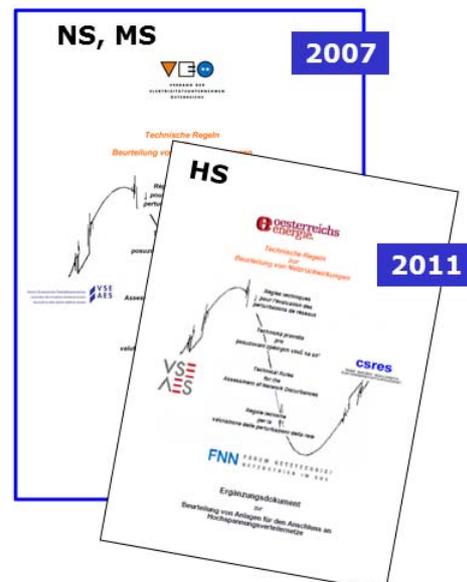
	Harmonische	Spannungsschwankungen und Flicker	Unsymmetrie	andere Kenngrößen	
NS $I_r < 16A$	61000-3-2 61000-3-9	61000-3-3			
NS $I_r < 75A$	61000-3-12	61000-3-11			
NS (sonst.)	61000-3-10	61000-3-5		61000-3-8	Norm
		61000-3-14			Report
	61000-3-15				
MS					in Kraft in Arbeit in Planung
HS	61000-3-6	61000-3-7	61000-3-13		
Hös					

Messverfahren und Störfestigkeitsgrenzwerte

- **Messverfahren:**
 - IEC 61000-4-7: Oberschwingungen, Zwischenharmonische und Emission im Frequenzbereich 2 - 9 kHz
 - IEC 61000-4-15: Flickermeter
 - IEC 61000-4-30: Verfahren zur Messung der Spannungsqualität (IEC 62586-1/-2: Funktionstest und Genauigkeitsprüfungen)
- **Störfestigkeit:**
 - IEC 61000-4-11: Spannungseinbrüche, Spannungsschwankungen und Unterbrechungen für Geräte mit $I_r \leq 16$ A
 - IEC 61000-4-34: Spannungseinbrüche, Spannungsschwankungen und Unterbrechungen für Geräte mit $I_r > 16$ A
 - IEC 61000-4-13: Oberschwingungen in der Versorgungsspannung
 - IEC 61000-4-19: Gegentaktstörungen im Frequenzbereich von 2 – 150 kHz
 - IEC 61000-4-29: Unsymmetrie in der Versorgungsspannung

Anwenderregeln für große Anlagen (D-A-CH-CZ-Richtlinie)

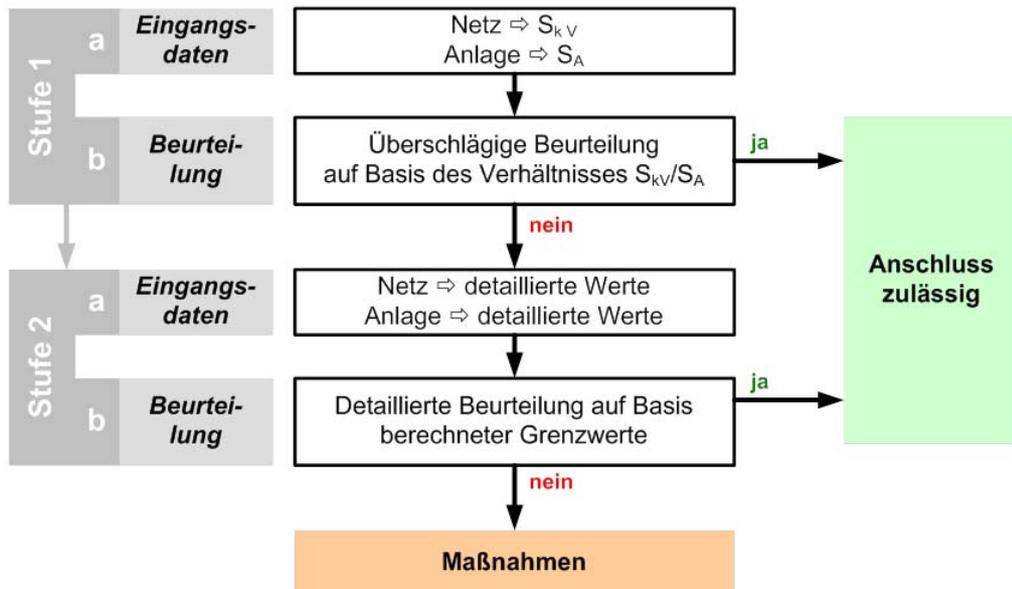
- Gültigkeit für Verbrauchs- und Erzeugeranlagen in Österreich, Schweiz, Tschechischer Republik und Deutschland (in D nur für Abnehmeranlagen)
- Einfache, zweistufige Bewertungsverfahren auf Basis anwendergerechter Eingabegrößen
- Umfassende Informationen zu jeder Netzzrückwirkung einschließlich einer Vielzahl von Beispielen
- 3. Ausgabe in Erarbeitung (2015/2016)



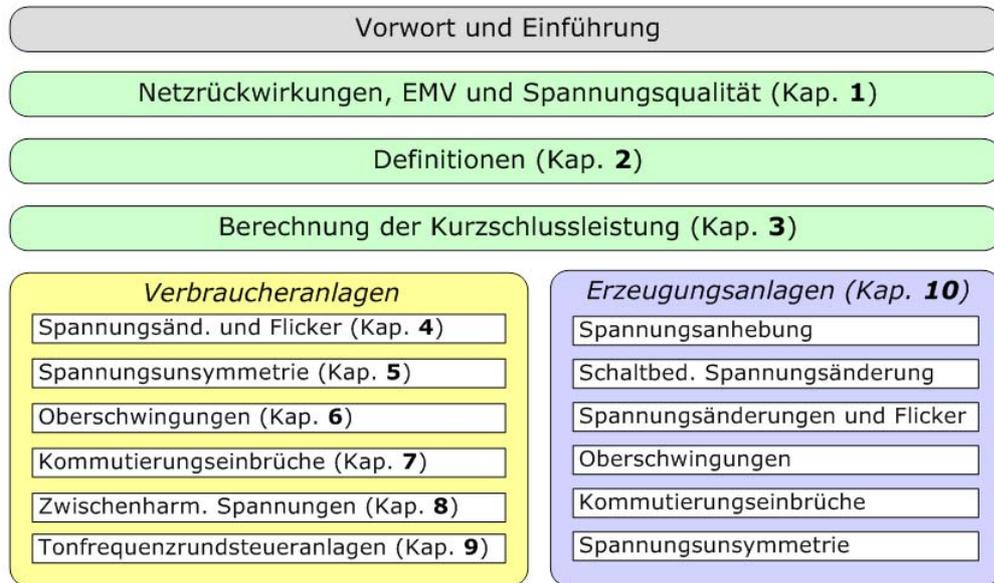
D-A-CH-CZ: Einordnung im Kontext der IEC-Normen

	Harmonische	Spannungsschwankungen und Flicker	Unsymmetrie	andere Kenngrößen				
NS Ir<16A	61000-3-2 61000-3-9	61000-3-3			Norm			
NS Ir<75A	61000-3-12	61000-3-11						
NS (sonst.)	<div style="border: 2px solid blue; padding: 10px; text-align: center;"> GRUNDDOKUMENT „Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen“ (2. Ausgabe 2007) Ergänzungsdokument (2011) </div>				Report			
MS								
HS					61000-3-6 61000-3-7	61000-3-13		in Kraft in Arbeit in Planung
HöS								

D-A-CH-CZ: Grundlegende Beurteilungsphilosophie



D-A-CH-CZ: Inhaltsübersicht



Grundlage der europäischen Produktnorm EN 50160

Richtlinie 85/374/EWG des Rates vom 25. Juli 1985
 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte

Artikel 2
 Bei der Anwendung dieser Richtlinie gilt als „Produkt“ jede bewegliche Sache, ausgenommen landwirtschaftliche Naturprodukte und Jagderzeugnisse, auch wenn sie ein Teil einer anderen beweglichen Sache oder einer unbeweglichen Sache bildet. ...
Unter „Produkt“ ist auch Elektrizität zu verstehen.

Artikel 6
 Ein Produkt ist fehlerhaft, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die man unter Berücksichtigung aller Umstände, insbesondere
 a) der Darbietung des Produkts,
 b) des Gebrauchs des Produkts, mit dem billigerweise gerechnet werden kann,
 ...
 zu erwarten berechtigt ist.

Erfordernis der Schaffung einer Produktnorm

EN 50160

**3. Ausgabe
(2011)**

Anwendungsbereich und Abgrenzung zu Verträglichkeitsnormen

EN 50160 beschreibt

- das Produkt „Elektroenergie“ anhand ausgewählter Qualitätskenngrößen der Spannung. -> „**Produktinformation, Technische Daten**“
- Wertebereiche, innerhalb welcher jeder Kunde in Europa die Spannungsqualität in den öffentlichen Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen ($U_n \leq 150$ kV) erwarten kann. -> **ortsunabhängig**

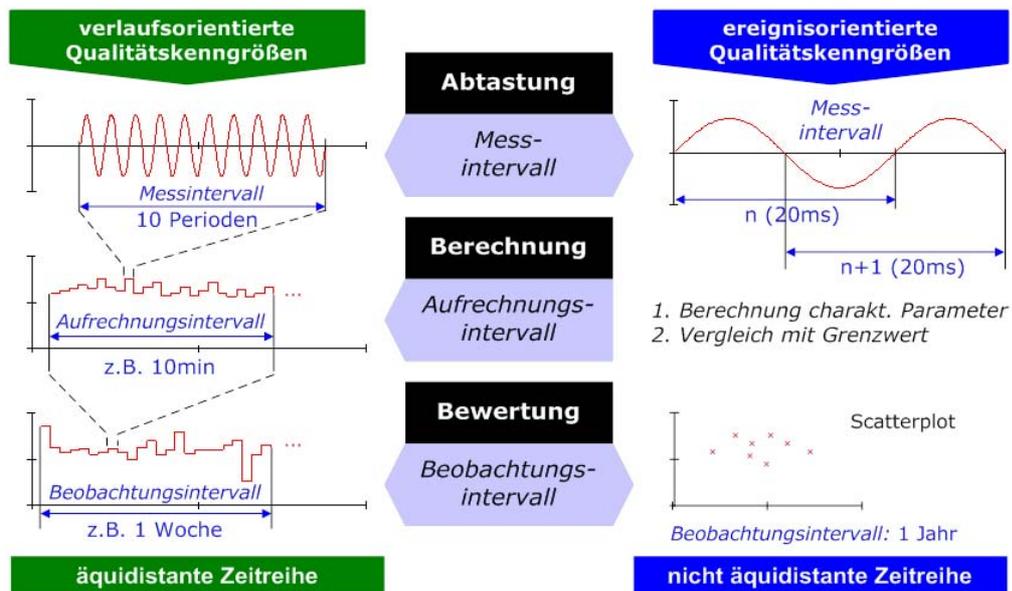
EN 50160 gilt

- an der **Übergabestelle** zwischen öffentlichem Netz und Kunden
- für normale Betriebsbedingungen -> **Außerkraftsetzung für Sonderbedingungen (z.B. Notversorgung) möglich**

EN 50160

- ist **keine EMV-Norm** und darf damit nicht für die Konformitätsvermutung (CE-Kennzeichnung) entsprechend EMV-Direktive herangezogen werden
- gilt nicht innerhalb von Kundeninstallationen
- kann durch gesonderte vertragliche Vereinbarungen ganz oder teilweise außer Kraft gesetzt werden

Mess- und Bewertungsverfahren



Spannungsqualitätskenngrößen in EN 50160

verlaufsorientierte Qualitätskenngrößen	ereignisorientierte Qualitätskenngrößen
<i>(kontinuierliche Berechnung und Speicherung; äquidistante Zeitreihe)</i>	<i>(Speicherung nur im Falle einer Grenzwertverletzung; nicht äquidistante Zeitreihe)</i>
<ul style="list-style-type: none"> • langsame Spannungsänderungen • Flickerstärke • Spannungsunsymmetrie • Oberschwingungsspannungen • Netzfrequenz • Signalspannungen auf der Versorgungsspannung • Spannung von Zwischenharmonischen 	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Spannungsänderungen • Spannungseinbrüche • kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung • lange Unterbrechungen der Versorgungsspannung • zeitweilige, netzfrequente Überspannungen • transiente Überspannungen zwischen Aussenleiter und Erde

*eindeutige Randwerte / **indikative Wertebereiche** / keine Randwerte*

Beispiel: Langsame Spannungsänderungen

4.2.2.2 Prüfverfahren

Unter normalen Betriebsbedingungen:

- müssen 95 % der 10-Minuten-Mittelwerte des Effektivwertes der Versorgungsspannung jedes Wochenintervalls innerhalb des Bereichs $U_n \pm 10\%$ liegen, und
- müssen alle 10-Minuten-Mittelwerte des Effektivwertes der Versorgungsspannung innerhalb des Bereichs $U_n + 10\%$ / -15% liegen.

**4.
NS**

5.2.2.2 Prüfverfahren

Wenn Spannungsmessungen erforderlich sind, werden sie in Übereinstimmung mit EN 61000-4-30 über ein Messintervall von mindestens einer Woche ausgeführt.

Unter den Bedingungen nach 5.2.2.1 gelten die folgenden Grenzwerte:

- mindestens 99 % aller 10-Minuten-Mittelwerte des Effektivwertes der Versorgungsspannung müssen unterhalb des in 5.2.2.1 angegebenen oberen Grenzwerts $+10\%$ liegen und
- mindestens 99 % aller 10-Minuten-Mittelwerte des Effektivwertes der Versorgungsspannung müssen oberhalb des in 5.2.2.1 angegebenen unteren Grenzwerts -10% liegen und
- kein 10-Minuten-Mittelwert des Effektivwertes der Versorgungsspannung darf außerhalb der Grenzwerte von $\pm 15\%$ von U_c liegen.

**5.
MS**

6.2.2 Spannungsänderungen

Da die Anzahl der Netznutzer, die direkt aus einem Hochspannungsnetz versorgt werden, begrenzt ist und die Versorgung üblicherweise auf Einzelverträgen beruht, werden in dieser Norm keine Grenzwerte Änderungen der Versorgungsspannung angegeben.

**6.
HS**

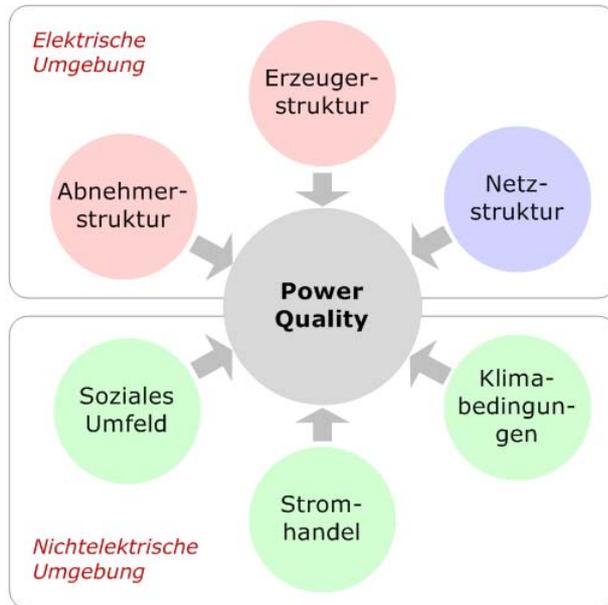
Ausgewählte aktuelle Aktivitäten

- CIGRE Arbeitsgruppen:
 - C4.112: Power Quality Monitoring in Flexible Power Networks (finished)
 - C4.24: Power Quality and EMC Issues Associated with Future Electricity Networks
 - C4/C6.29: Power Quality Aspects of Solar Power
 - C4/B4.38: Network Modelling for Harmonic Studies
- Normen für den Frequenzbereich 2 – 150 kHz
 - WG1: Emissionsgrenzwerte im Frequenzbereich 2-150 kHz
 - WG8: Verträglichkeitspegel im Frequenzbereich 2-150 kHz
- IEC 61000-4-30 Ed.3:
"Power Quality measurement methods"
 - Stromqualitätskenngrößen werden normativ
 - Vorschlag eines neuen Messverfahrens für den Bereich 2-150 kHz
- IEC/TS 62749 Ed.1:
"Assessment of power quality - Characteristics of electricity supplied by public networks"
 - Arbeit an einer EN 50160 auf IEC Ebene

Gliederung

1. Grundlagen
2. Normen
3. Herausforderungen

Einflussgrößen



- Komplexes System zeitlich und örtlich variierender Einflussparameter
- Beeinflussung der Parameter durch:
 - Kunden
 - Hersteller
 - Netzbetreiber
 - ...
- Erfordernis der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung

Erzeuger: Zunehmender Ausbau erneuerbarer Energien

Wechselrichter für Photovoltaik, Vollumrichter für WEA, Selbstgeführte HGÜ-Techniken im Übertragungsnetz, ...

- Leistungselektronik mit Schaltfrequenzen größer 2 kHz
-> Zunehmende Verzerrung im Frequenzbereich 2 - 150 kHz
- Einphasige Anschlüsse kleiner Leistungen
-> Einfluss auf Unsymmetrie
- Anstieg der Anzahl von Netzfiltern mit kapazitivem Charakter
-> Erhöhung der Resonanzgefahr bei niedrigen Harmonischen
- Vernachlässigbarer Beitrag zur Kurzschlussleistung
-> Reduktion der Kurzschlussleistung bei steigender Variabilität



Erzeuger/Abnehmer: Zunehmender Ausbau von Speicheranlagen

Speicher kleiner Leistung zur Einspeiseoptimierung, Speicher großer Leistung zur Frequenzhaltung oder saisonaler Speicherung

- Leistungselektronik mit Schaltfrequenzen größer 2 kHz
-> Zunehmende Verzerrung im Frequenzbereich 2 – 150 kHz
- Einphasige Anschlüsse kleiner Leistungen
-> Einfluss auf Unsymmetrie
(Mögliche Netznutzung zum Energieaustausch trotz „Nullsaldo“ am Zähler)



Wemag Batteriespeicher

© DPA



www.solar-solar.de

Abnehmer: Neue Geräte bzw. Gerätetechnologien auf Kundenseite

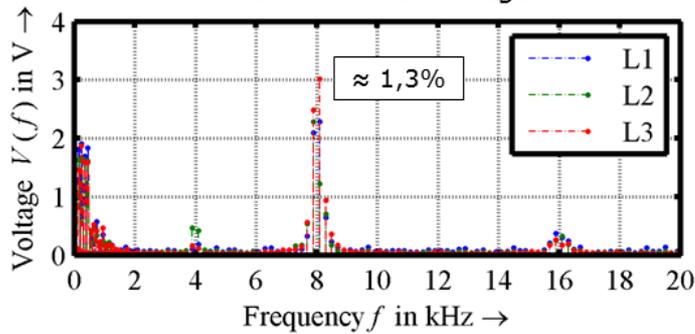
Einführung von Elektrofahrzeugen, Energiesparlampen; Steigerung der Energieeffizienz durch Einsatz aktiver Schaltungen mit Schaltfrequenzen größer 2 kHz

- Leistungselektronik mit Schaltfrequenzen größer 2 kHz
-> Zunehmende Verzerrung im Frequenzbereich 2-150 kHz
- Einphasige Anschlüsse (leistungsstarke Geräte)
-> Einfluss auf Unsymmetrie
- Sensitivität von Lampen gegenüber Spannungsschwankungen
-> Flickererscheinungen bei LED Lampen



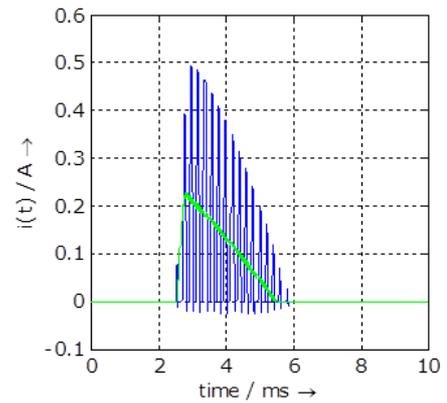
Höherfrequente Emission

Spektrum während des Betriebes einer störenden Anlage



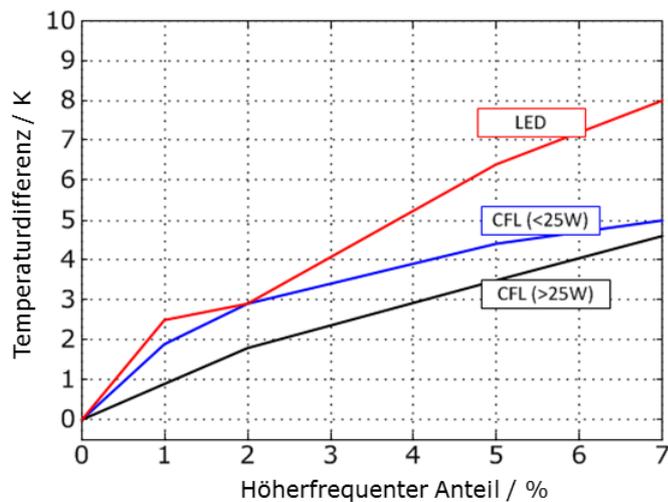
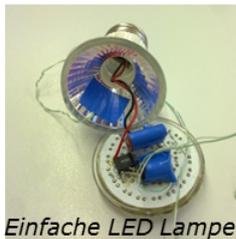
- Hohe Pegel bei 8 kHz
- Beschwerden über Funktionsstörungen bei Kaffeemaschine und Trockenhauben, sowie störende Geräusche
- ? Angemessene Verträglichkeitspegel in zukünftigen Normen

Einfluss auf Kompaktleuchtstofflampe (CFL)



- Deutlicher Einfluss auf den aufgenommenen Strom
- Höherer Spitzenwert, zusätzliche Nulldurchgänge

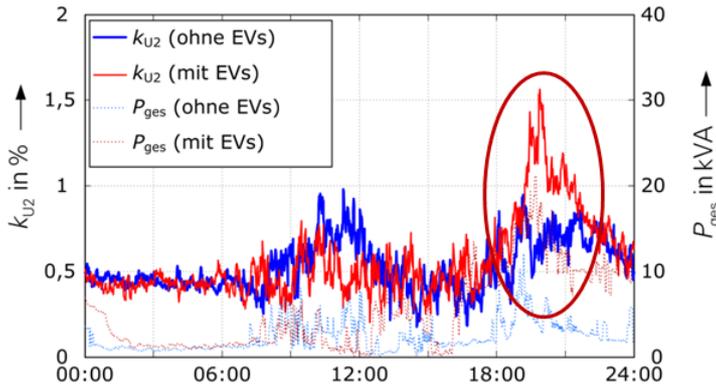
Zusatzbelastung durch höherfrequente Emission



- ? Einfluss der Temperaturerhöhung, insbesondere an Zwischenkreis-kondensator und Diodenbrücke, auf die Lebensdauer

Feldstudie Elektrofahrzeuge - Einfluss auf die Unsymmetrie

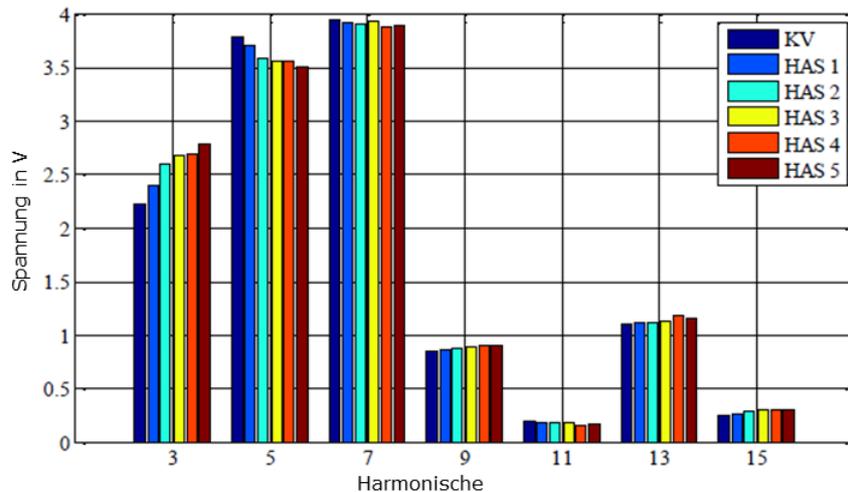
- 9 Elektrofahrzeuge in einem Wohngebiet
- Gleichmäßige Verteilung der Anschlusspunkte auf die drei Phasen
- Vergleich je eines Samstages mit und ohne Elektrofahrzeuge



- Deutlicher Einfluss auf die Spannungsunsymmetrie in den Abendstunden
- ? Notwendigkeit einer Begrenzung der Größe unsymmetrischer Geräte
- ? Erfordernis eines zusätzlichen Lade-managements

Feldstudie Elektrofahrzeuge - Einfluss auf Oberschwingungen

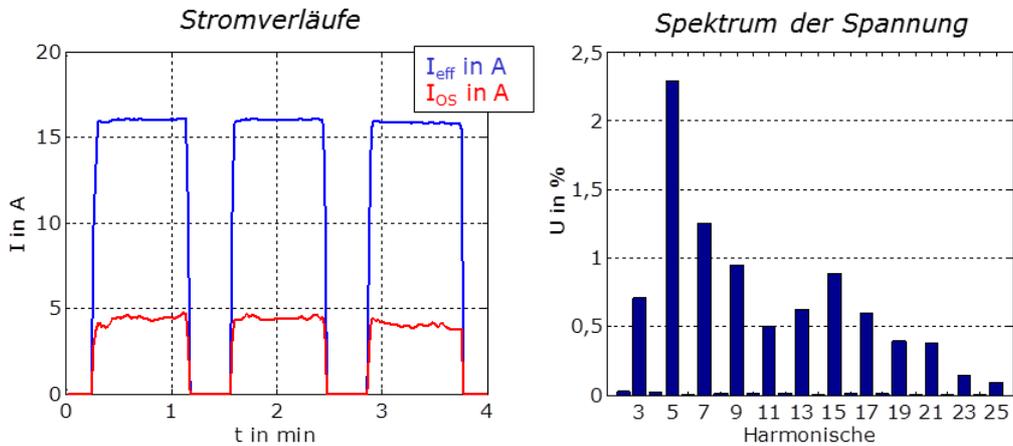
Spannungsprofil entlang des Abganges (alle Fahrzeuge laden)



- 5. Harmonische: leicht positiver Einfluss
- 3. Harmonische: negativer Einfluss

➔ **Kein einheitliches Verhalten**

Störung bei der Ladung eines Elektrofahrzeuges



- Störung des Ladevorganges (3 Versuche mit anschließendem Abbruch)
- Deutliche Grenzwertüberschreitung der 15. Spannungsharmonischen (3., 5., 7. Harmonische ca. 50% unterhalb der Grenzwerte)
- Vergleichsweise hohe Verzerrung des Ladestromes

Netz: Neue Geräte auf Netzbetreiberseite

Regelbarer Ortsnetztransformator

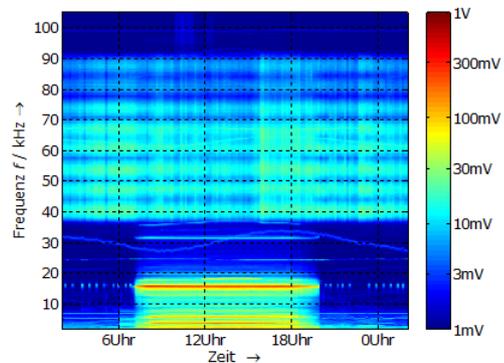
- Erzeugung von Spannungsschwankungen
 -> Mögliche Erhöhung der Flickerstärke

Nutzung von Schmalband-PLC zur Kommunikation mit intelligenten Zählern

- Beabsichtigte Emission im Frequenzbereich 2 - 150 kHz
 -> Zunehmende Verzerrung im Frequenzbereich 2 - 150 kHz



www.etz.de



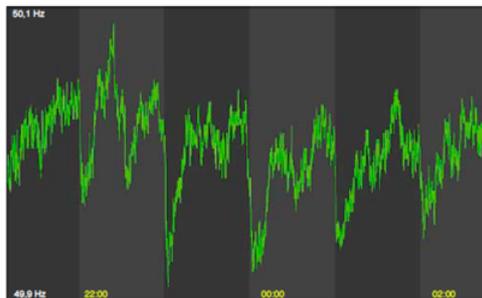
Stromhandel

Feste Zeitintervalle beim Stromhandel

- Abrupte Änderungen im Verhältnis zwischen Erzeugung und Verbrauch
-> Schwankungen der Netzfrequenz

Deutliche Variation des Strompreises

- Hohe Gleichzeitigkeiten bei der Einspeisung
-> Einfluss auf u.a. schnelle Spannungsänderungen



Zeitschrift Sonnenenergie 6/2012

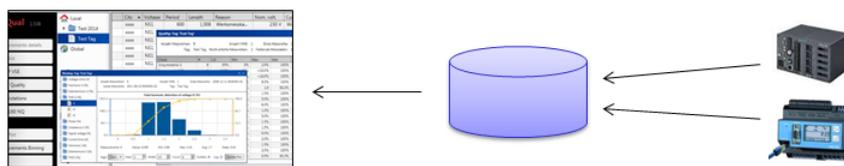


www.eex.com/de/

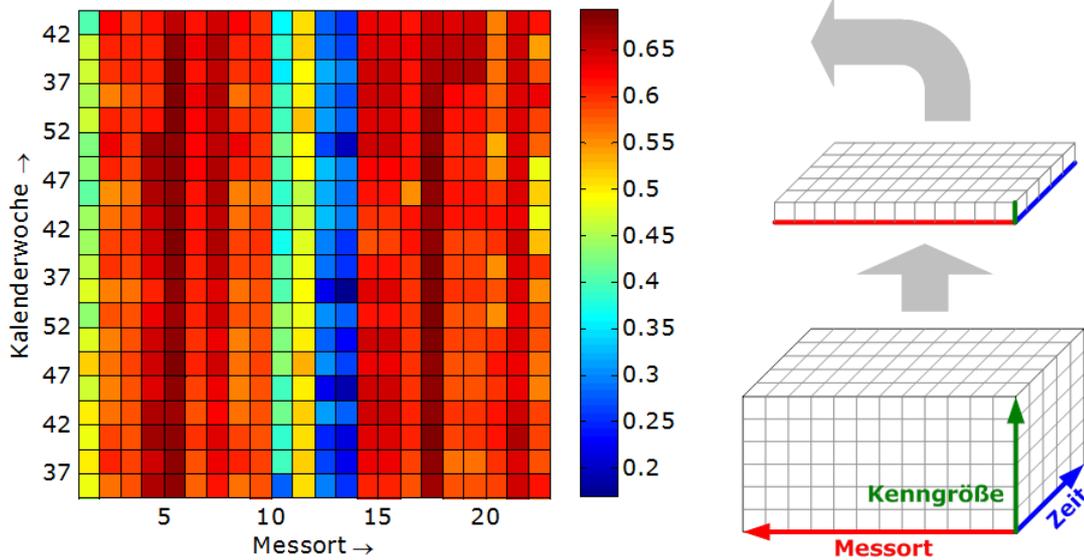
Messung: Wachsender Umfang des Qualitätsmonitorings

Steigende Zahl an Messgeräten

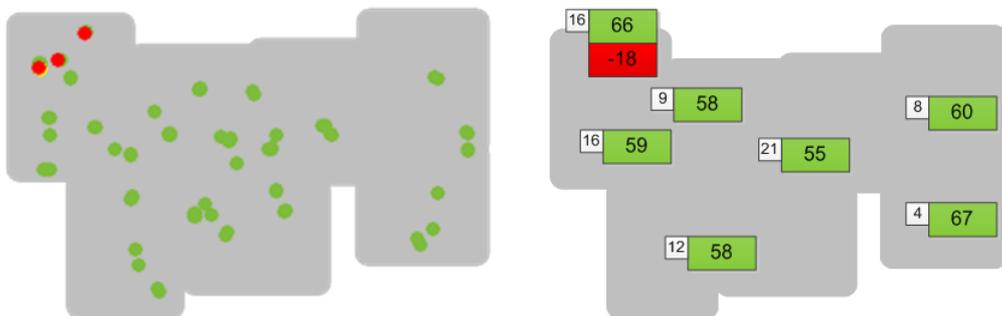
- Effizientes Management stetig wachsender Datenmengen („Big Data“)
 - > Wachsende Performance-Anforderungen für zentrale Dienste (Konzepte der verteilten Datenspeicherung und Datenauswertung)
 - > Sinkende Übersichtlichkeit bei der Ergebnisdarstellung (Methoden zur flexiblen Zusammenfassung der PQ-Kenngrößen; Top-Down-Ansatz)
 - > Große ungenutzte Datenmengen („Dark Data“) („Agenten“ zur automatischen Datensichtung nach wichtigen Informationen)
- Zunehmende Heterogenität bei den eingesetzten Messgerätetypen
-> Begrenzte Austauschbarkeit zwischen Herstellern



Beispiel für das Konzept der Datenaggregation



Visualisierung der Qualitätsreserve in Leitsystemen



- Farbliche Kennzeichnung der Qualitätsreserve (Ampel-Indikator)
- Einfach interpretierbar auch für Personal der Netzleitstelle
- Zusammengefasste Darstellung von Netzbereichen in stilisiertem Netzbild

Messung: Genauigkeit der Messwandler

Einsatz von klassischen Messwandlern zur Spannungsmessung

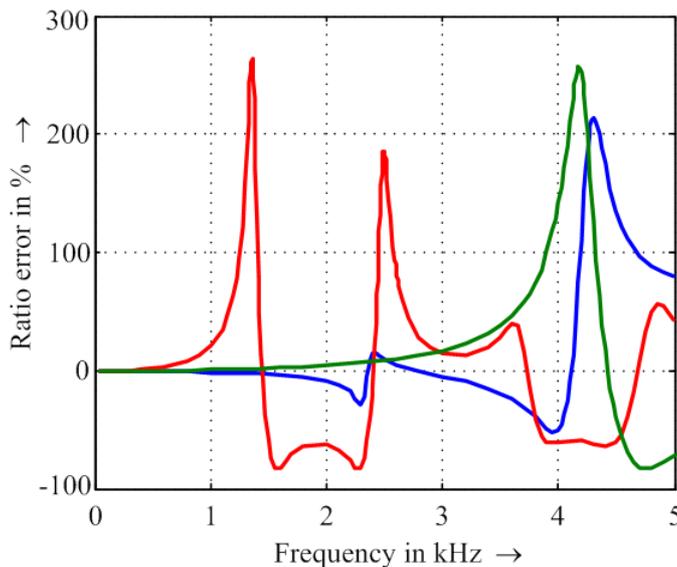
- Keine Forderungen hinsichtlich der Messgenauigkeit in IEC 61000-4-30 und keine Genauigkeitsgrenzen für Messwandler bei Frequenzen ungleich der Bemessungsfrequenz in IEC 61869-3
 -> Möglichkeit großer Fehler, speziell bei der Messung von Oberschwingungen durch wandlerinterne Resonanzen



- Technischer Bericht zur Eignung von Messwandlern zur Messung von Strom- und Spannungsqualität
- Permanente Arbeitsgruppe bei IEC TC38



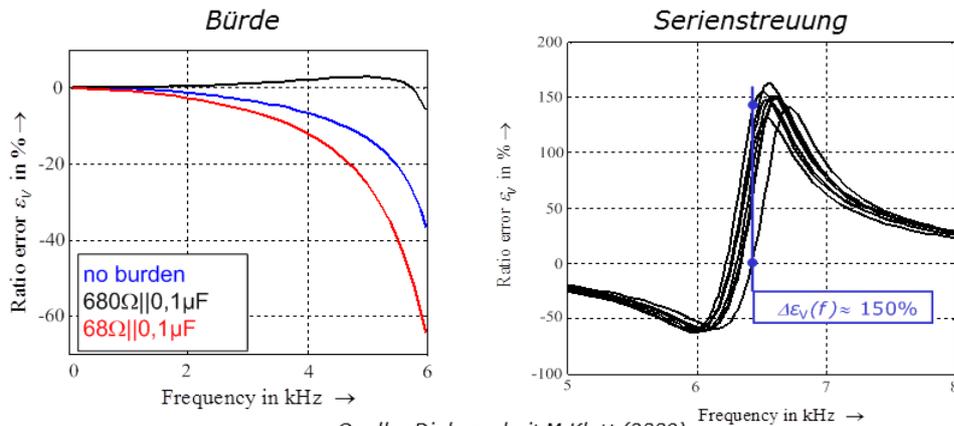
Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten verschiedener Wandler



- Niedrigere erste Resonanzstelle mit steigender Bemessungsspannung
- Unterschiedliche Güte der Resonanz
- Unterschiedliche Reihenfolge von Parallel- und Reihenresonanz

66-kV-Spannungswandler
 110-kV-Kombiwandler
 220-kV-Spannungswandler

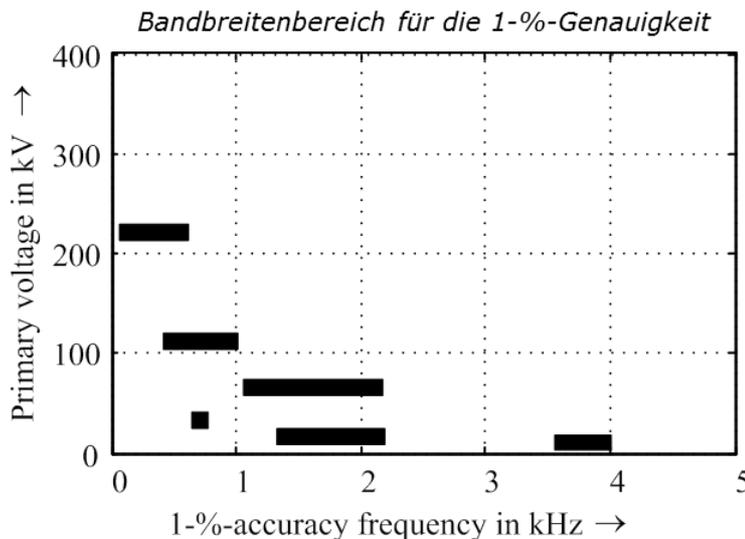
Einfluss weiterer Parameter aus Betrieb und Fertigung



Quelle: Diplomarbeit M.Klatt (2009)

- Individuelle Kennlinie für jeden Wandler im Bereich der Resonanzstelle (auch innerhalb einer Fertigungsserie)
- Hohe Sensitivität des Übertragungsverhaltens an der Resonanzstelle
- Vollständige Kalibrierung nicht praktikabel -> Definition einer Bandbreite

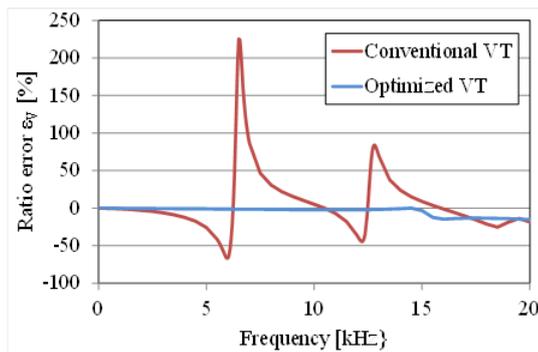
Kritische Frequenz verschiedener klassischer Spannungswandler



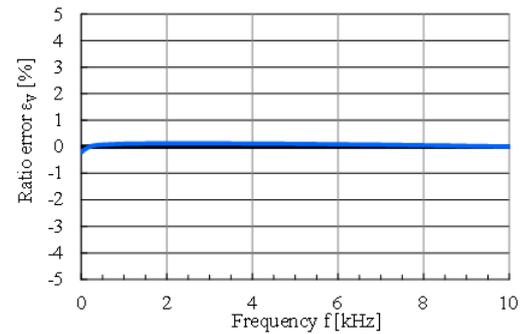
- Abnehmende Bandbreite mit höherer Primärspannung
- Berücksichtigung des Übertragungsverhaltens in Netzen mit $U_n > 20$ kV notwendig
- Generell ungeeignet für höherfrequente Emission

Entwicklungstrends

Induktive Spannungswandler mit erweitertem Genauigkeitsbereich



Anwendung von RC-Teilern



- Kritischere Bewertung der Gesamtgenauigkeit von Strom- und Spannungsqualitätsmessungen
- Einbeziehung in künftige Normen (TC38)

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontaktdaten:

Dr.-Ing. Jan Meyer
Technische Universität Dresden
Institut für Elektr. Energieversorgung
und Hochspannungstechnik
01062 Dresden
E-Mail: jan.meyer@tu-dresden.de

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Überblick aus Sicht des VSE über die Aktivitäten im Bereich Versorgungsqualität in der Schweiz

Hansjörg Holenstein VSE, Aarau

1959 – 1963 Lehre als Elektrozeichner Haustechnik

1973 – 1981 Projektleiter Haustechnik in verschiedenen Ingenieurbüros in der Ostschweiz.

1976 – 1980 Studium und Abschluss als Elektroingenieur HTL an der FHS St. Gallen

1981 – 1986 Projektleiter Netzbau bei den SAK in St. Gallen

1986 – 2004 Bereichsleiter Energietechnik bei IBG Engineering in St. Gallen

1995 – 1997 Nachdiplomstudium und Abschluss als Wirtschaftsingenieur STV an der Kaderschule St.Gallen

Seit 2005 Leiter Gruppe Technik und Fachbereichsleiter Versorgungsqualität beim VSE in Aarau

Seit 2005 Mitglied / Vorsitz Arbeitskreis DACHCZ

Seit 2006 Mitglied Eurelectric SN Standardisation

Seit 2009 Leiter ERFA-Gruppe Werkvorschriften Deutschschweiz

Seit 2013 Mitglied / Vorsitz CES TK8

Überblick aus Sicht des VSE über die Aktivitäten im Bereich Versorgungsqualität in der Schweiz

Hansjörg Holenstein
VSE, Aarau

1. Themen

- Überblick und Grundlagen der Versorgungsqualität
- Regulatorische Rahmenbedingungen in der Schweiz
- Aktivitäten des VSE im Bereich Versorgungsqualität
- Branchenempfehlungen des VSE
- Mitarbeit der Branche in der Normierungsarbeit



Überblick über regulatorische Aspekte der Netzqualität und die Tätigkeit von Fach- und Normengremien

Hansjörg Holenstein, Leiter Gruppe Technik, VSE
FKH/VSE-Fachtagung 2014 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“
Donnerstag, 13. November 2014, Fachhochschule Brugg-Windisch

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Association des entreprises électriques suisses
Associazione delle aziende elettriche svizzere



Verweis auf externe Dokumente

- Rechtliche Bedeutung von Normen siehe:
 - <https://www.electrosuisse.ch/de/normung.html>
- Tätigkeitsbericht der ElCom siehe:
 - <http://www.elcom.admin.ch/>

Agenda

- **Regulatorische Aspekte**
- **Übersicht Standardisierung / Normierung in der Schweiz**
- **CES** (Comité Électrotechnique Suisse)
- **CEER** (Council of European Energy Regulators)
- **ENTSO – E** (European Network of Transmission System Operators for Electricity)
- **Eurelectric** (Union of the Electricity Industry)
- **ESTI** (Eidgenössisches Starkstrominspektorat)
- **Branche / VSE**
 - Dokumente
 - Werkzeuge

3



Regulatorische Auflagen D-A-CH



BNetzA

- Erfassung von geplanten und ungeplanten Ausfällen in MS / NS
- Keine Erfassung der Spannungsqualität
- Einführung Qualitätsfaktor ab 2012



E-Control

- Erfassung von geplanten und ungeplanten Ausfälle in MS
- Erfassung der Spannungsqualität in unterschiedlichen Orten
- Einführung Qualitätsfaktor ist geplant



EiCom

- Erfassung von geplanten und ungeplanten Ausfälle in HS/MS/NS
- Erfassung der Spannungsqualität wird geprüft
- Einführung Anreizregulierung / Qualitätsfaktor ist geplant

4



Sunshine Regulierung CH

Elcom-Definition Sunshine-Regulierung

«... ein mehrdimensionaler Regulierungsansatz, welcher den Vergleich von Unternehmen anhand von Indikatoren und die Veröffentlichung daraus folgender Ergebnisse umfasst.»

Breite Palette von vorgeschlagenen Indikatoren

Versorgungsqualität:

- Continuity of Supply (z.B. SAIDI)
- Spannungsqualität
- Commercial quality

Angemessene Kosten und Tarife

- Netzkostenvergleich
- Tarifvergleich Energie und Netz
- Messkosten: 600 CHF – Regel

Compliance

- WACC
- Reportingpflichten



5

VSE
AES

Qualitäts - Regulierung CH

Versorgungsverfügbarkeit: ca. 80 der grössten VNB sind verpflichtet, jährlich Daten gemäss Weisung X/Y zu liefern.

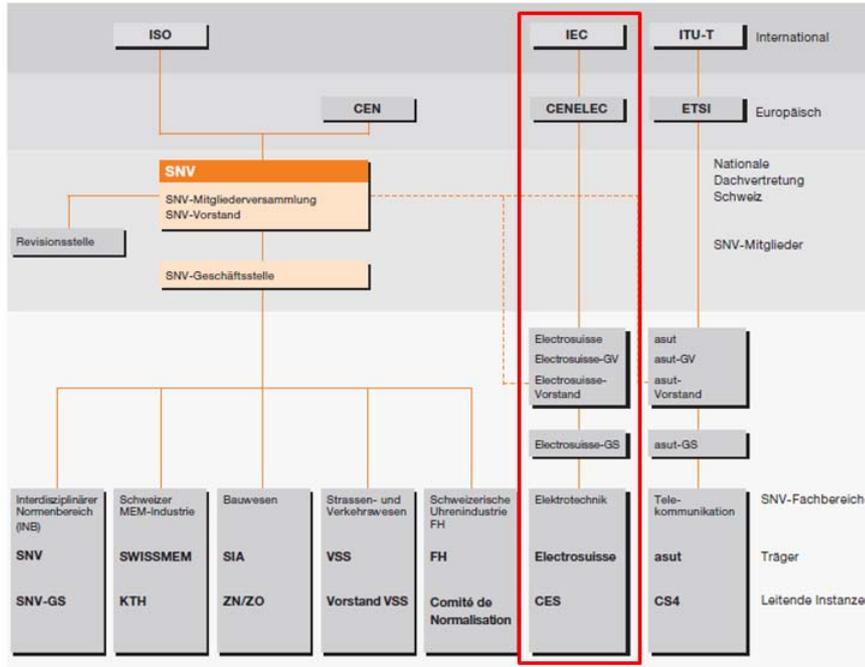


Spannungsqualität: Derzeit keine Verpflichtung der VNB gegenüber EICOM. Im DC-CH wird freiwilliges Monitoring empfohlen. Diesbezügliche Empfehlung seitens EICOM zu erwarten.

6

VSE
AES

SNV Beziehungsdiagramm der Normung



7

electrosuisse: Normung in der Schweiz

Normung weltweit

Das weltweite Normenwerk wird durch folgende Organisationen sichergestellt:

Elektrotechnik

National	Europäisch	International
		
Comité Électrotechnique Suisse	European Committee for Electrotechnical Standardization	International Electrotechnical Commission

In Arbeitsgruppen von [CES](#), [CENELEC](#) und [IEC](#) erarbeiten Experten Grundlagen zu neuen nationalen, europäischen oder internationalen Normen. In mehrstufigen Verfahren gelangen die Normungstexte vom Vorschlag über den Entwurf bis zur Abstimmung resp. Definition einer Norm.

8

Technische Komitees

Die technische Arbeit in der Normung wird in der Schweiz in den technischen Komitees (TK) ausgeführt. International und europäisch geschieht dies in den Arbeitsgruppen der Technical Committees (TC) und Subcommittees (SC) der IEC und des CENELEC. Nicht alle TC/SC haben ein entsprechendes Spiegelgremium in der Schweiz.

[TK 8](#)

Systemaspekte der elektrischen Energieversorgung

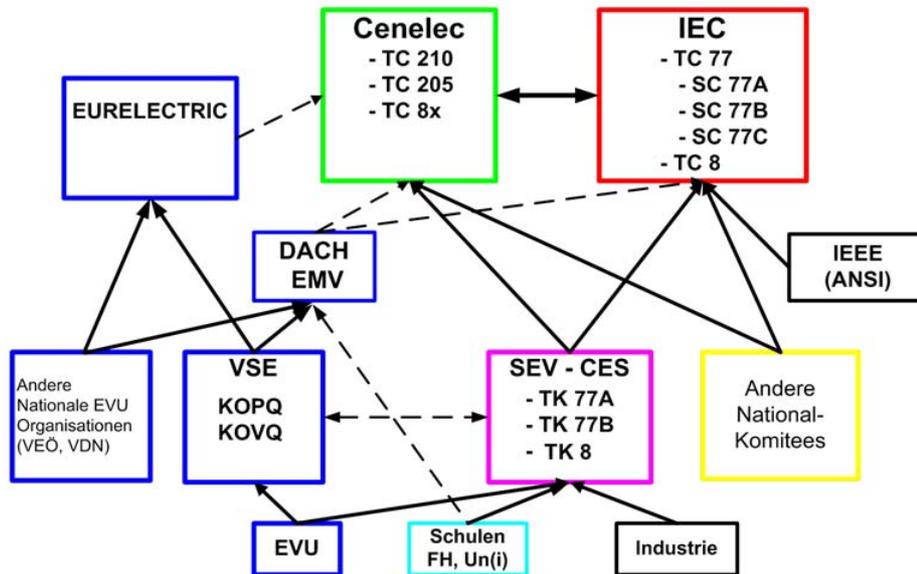
[TK 77A](#)

EMV - NF Phänomene

[TK 77B/C](#)

EMV - HF-Phänomene und HPEM

Mögliche Einflussnahme in der Normierung (nicht vollständig..)



Seite
9

CEER



CEER Membership : Is open to all Energy Regulatory Authorities of the European Union or the European Economic Area (EEA), which have been designated as such by a Member State or the EU.

30 Mitglieder

CEER Observership In addition, CEER also welcomes EFTA (European Free Trade Association) and EU accession countries' regulatory authorities to participate fully in our work as Observers.

3 Mitglieder incl. Schweiz (EiCom)

10

CEER Aktivitäten und Papers

CEER
 Council of European Energy Regulators
 Fostering energy markets, empowering

CEER Benchmarking Report 5.1
 on the Continuity of Electricity Supply
 Data update

Case Study 10
 Voltage quality monitoring in Switzerland

The Swiss Regulator EICOM does not collect voltage quality data. Within the electricity sector, several companies are working on an individual basis on power quality monitoring solutions. Some of them already have a monitoring system in place with measuring points on all voltage levels. The association of Swiss electricity companies (VSE) aims to introduce a common tool that could be used by the whole sector. This tool is based on software developed in cooperation with a university to measure and analyse voltage quality data in accordance with standard EN 50160. They introduced this tool in 2010 and up to now a small number of network operators, representing approximately 10% of the consumption in Switzerland have participated and supplied data. The data have been collected from all voltage levels and analysed (e.g. flicker, dips, swells, harmonics, voltage unbalance and supply voltage variations). Figure 3.2 below shows an example for supply voltage variations.

FIGURE 3.2 An example for supply voltage variations in Switzerland

The data are collected twice a year, each time for 1 week on several locations in the network. The VSE will promote the use of their tool in the future.

11

ENTSO - E

entso-e
 Reliable Sustainable Connected

ENTSO-E Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators

CONNECTION CODES

- Requirements for Generators
- Demand Connection Code
- High Voltage Direct Current Connections

OPERATIONAL CODES

- Operational Security
- Operational Planning & Scheduling
- Load Frequency Control & Reserves

MARKET CODES

- Capacity Alloc.
- Forward Capac.
- Electricity Balance

Branchenempfehlung Strommarkt Schweiz
Distribution Code Schweiz
 Technische Bestimmungen zu Anschluss, Betrieb und Nutzung des Verteilnetzes
 DC - CH, Ausgabe 2011
 VSE
AES

12

eurelectric

VSE: Mitglied in diversen Committee's und WG's.



The Union of the Electricity Industry - EURELECTRIC is the sector association which represents the common interests of the electricity industry at pan-European level, plus its affiliates and associates on several other continents. We currently have over 30 full members which represent the electricity industry in 32 European countries.



13

Empfehlung D-A-CH-CZ



- Vielbeachtete und verwendete Empfehlung in Deutschland, Österreich, Schweiz und der Tschechische Republik
 - D-A-CH-CZ – Technische Regeln zur Beurteilung von Netzrückwirkungen (2. Ausgabe von 2007, Überarbeitung bis 2014)
 - Inhalt: Grenzwerte für die Spannungsqualität (Verträglichkeitspegel)
- **Einhaltung der D-A-CH-CZ durch die Anlagenbetreiber ist die Basis für die Einhaltung der EN50160 durch die EVU's !**
- **Die Grenzwerte für Netzrückwirkungen (Emissionen) sind abhängig von den Verhältnissen am Verknüpfungspunkt definiert:**

Netzkurzschlussleistung SkV
Anschlussleistung SA



14

DACHCZ



3 Mitglieder



4 Mitglieder
Vorsitz



5 Mitglieder



1 Mitglied



Band 1: Grundlagen
Band 2: Verfahren
Band 3: Beispiele



15

ESTI

Das Eidgenössische Starkstrominspektorat ESTI:

- setzt sich für die sichere Anwendung der Elektrizität ein,
- sorgt dafür, dass sich nur sichere elektrische Erzeugnisse auf dem Markt befinden,
- dass Hausinstallationen nach den anerkannten Regeln der Technik erstellt werden
- dass Starkstromanlagen sicher und umweltgerecht geplant, erstellt und gewartet werden

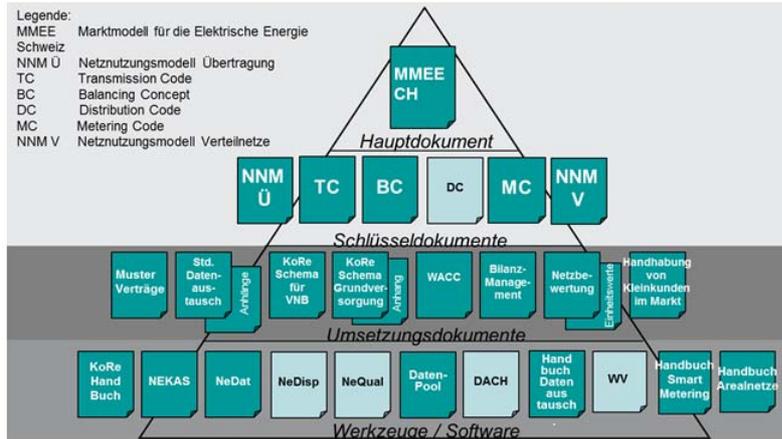
www.esti.admin.ch



16

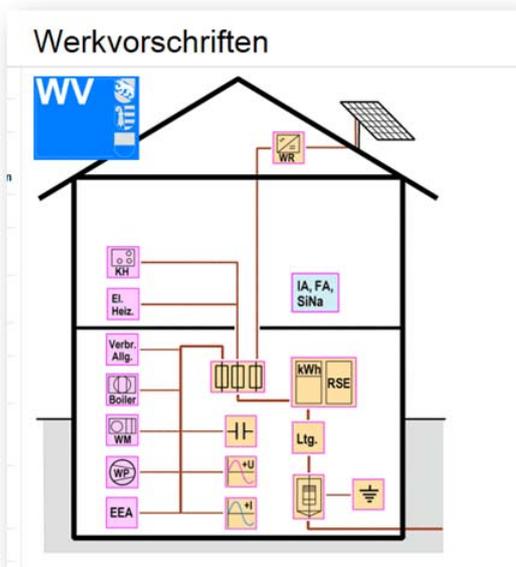
Branchendokumente des VSE

Art 27, Abs. 4 Strom VV: Die Netzbetreiber konsultieren vor dem Erlass von Richtlinien nach Artikel 3 Absätze 1 und 2, 7 Absatz 2, 8 Absatz 2, 12 Absatz 2, 13 Absatz 1, 17 und 23 Absatz 2 insbesondere die Vertreter der Endverbraucher und der Erzeuger.



17

Branchendokumente Allgemein



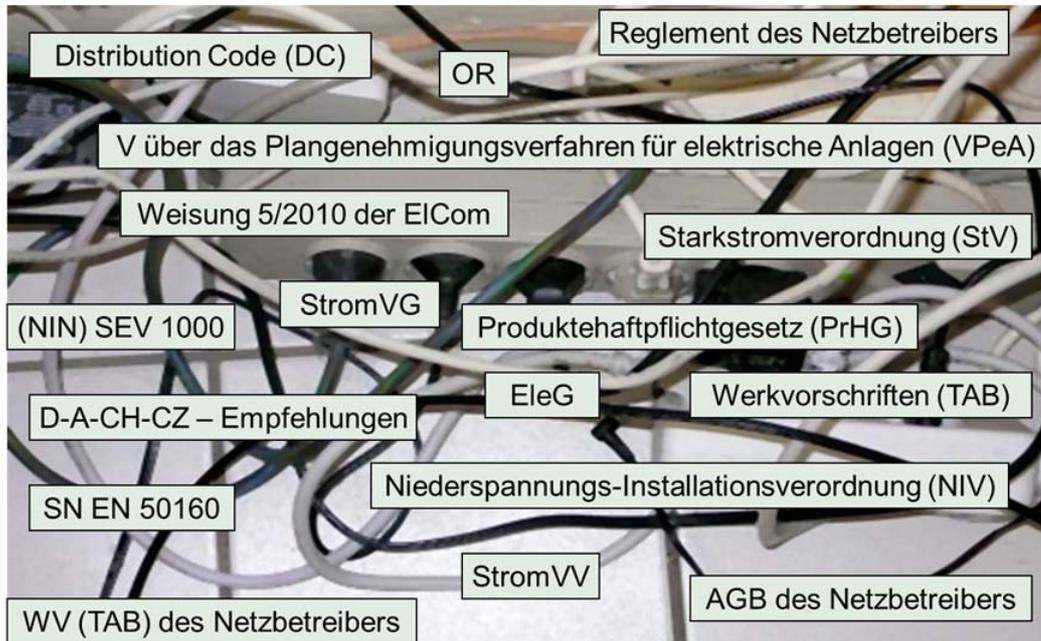
TAB Deutschweiz (WV)
 PDIE Romandie
 PAE Ticino

Koordination zu
Werkvorschriften CH
 In Verhandlung!

www.strom.ch
www.elettricita.ch

18

Was gilt?



Was gilt:

Auszug aus «Normung und Recht» der electrosuisse

- Unterscheidung «Produktenorm» / «Anwendernorm» ,
- Allgemein verbindliche Rechtskraft besitzen nur die Erlasse einer Behörde (wie Gesetze oder Verordnungen),
- Die Normen hingegen werden von privatrechtlichen Organisationen erlassen,
- Diese Organisationen sind aber nicht befugt, Rechtsetzung zu betreiben, womit den technischen Normen grundsätzlich der Charakter der Rechtsverbindlichkeit oder der Charakter einer Rechtsnorm fehlt.
- Allerdings wird in Gesetzen oder Verordnungen und auch in EU-Richtlinien regelmässig auf Normen verwiesen, weshalb Normen in derartigen Fällen durchaus rechtliche Auswirkungen haben können.

Ein indirekter Verweis findet sich beispielsweise in der Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit (VEMV; SR 734.5)
Art. 4 Abs. 2 Satz 1:
 «Ortsfeste Anlagen sind nach den anerkannten Regeln der Technik zu installieren.»

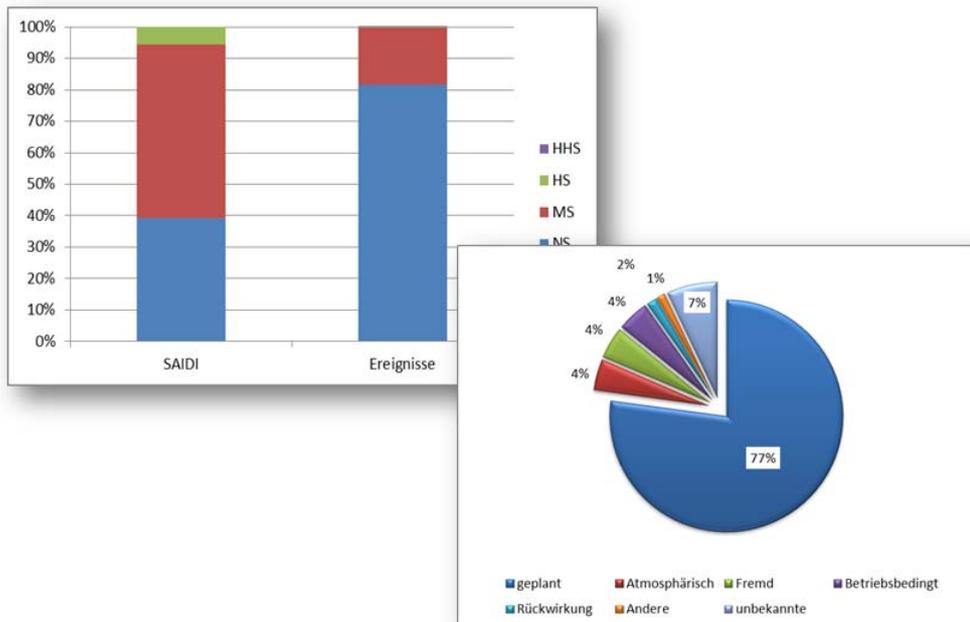
Werkzeuge Versorgungsqualität

- NeDisp
- NeQual
- NEPLAN-DACH



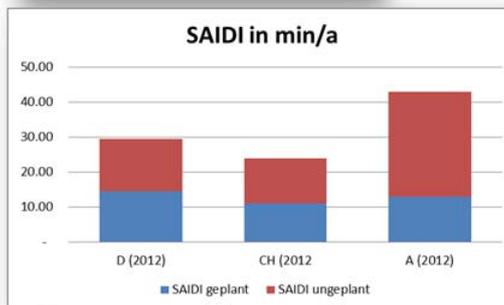
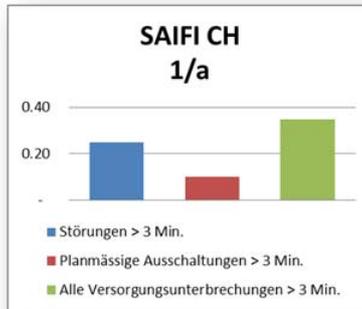
21

Verfügbarkeit Aufteilung der Ereignisse aus NeDisp VSE-CH 2013



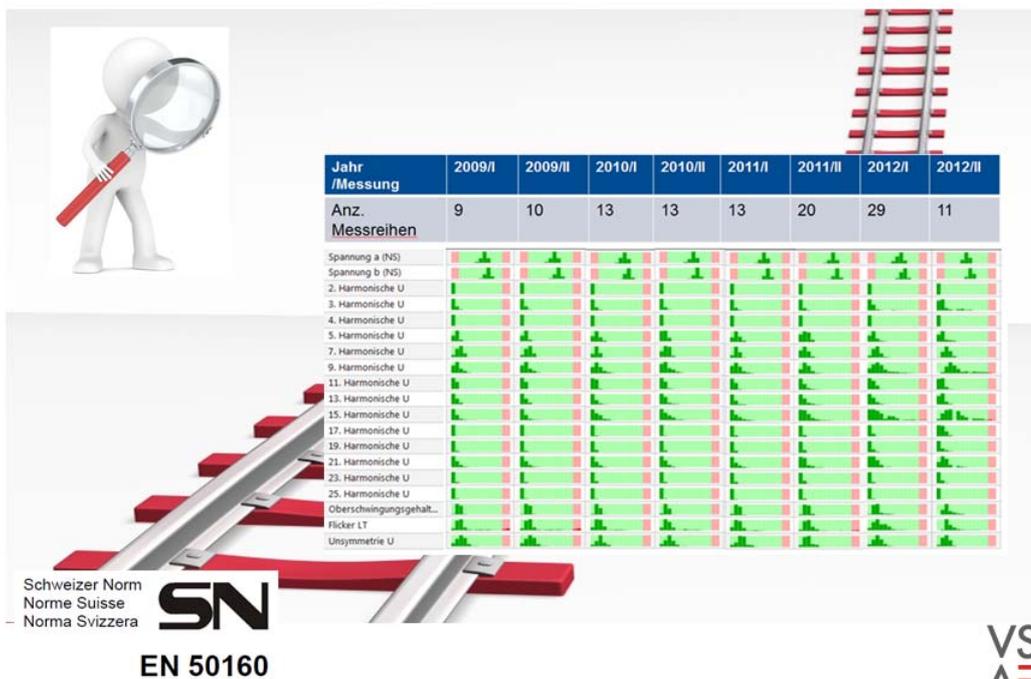
Seite
22

Verfügbarkeit in CH und D-A-CH



Seite
23

Spannungsqualität / Power-Quality mit NeQual



Seite
24

Fragen



a

Seite
26



Informationen VSE www.strom.ch

NeDisp
Der Qualitätsausweis für Ihren Netzbetrieb. Online-Tool zur Erfassung der Daten über die Versorgungsquali
[Mehr »](#)

NeQual
Die Spannungsqualitäts-Messkampagne für die Branche. Das praktische Tool ermöglicht unter anderem, eine Vielzahl von
[mehr »](#)

NEPLAN@DACH
Diese Software ermöglicht die Beurteilung von Netzzrückwirkungen an der Übergabestelle oder am Verknüpfungspunkt tabellarisch und grafisch.

Branchendokumente
Hier finden Sie die Branchendokumente zum Strommarkt Schweiz. [mehr »](#)

[Grundsatzdokument »](#)
[Schlüsseldokumente »](#)
[Umsetzungsdokumente »](#)
[Werkzeuge/Software/Handbücher »](#)

NeQual: Versorgungsqualität
Die Spannungsqualität ist ein zentraler Aspekt der Versorgungssicherheit. Die VSE hat sich zum Ziel gesetzt, die Versorgungsqualität zu verbessern und die Kunden zu informieren. In Zusammenarbeit mit den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) und den Verteilnetzbetreibern (VNB) wird ein gemeinsames Qualitätsmanagement etabliert. Dies ermöglicht eine bessere Kommunikation und die Identifizierung von Problemen. Die VSE wird die Kunden über die Versorgungsqualität informieren und die Zusammenarbeit mit den ÜNB und VNB stärken.

Veranstaltungen
- **Städt. Chän-Risk Management**
14.02.2014
- **Städt. Chän-Risk Management**
14.02.2014
- **Städt. Chän-Risk Management**
14.02.2014

Logos: IEF-M, AWK GROU, GWF, etc.

Seite
27



Fachtagung
Versorgungsqualität / Power-Quality / Netzstabilität
 Mittwoch und Donnerstag, 25. und 27. November 2014, im Seehotel Waldstätterhof in Brunnen

25. /26.11.2014
 Fachtagung VSE

Unter anderem mit folgenden Referenten:
 Michael Bhand, Leiter Sektion Netze und Europa, Eidgenössische Elektrizitätskommission
 Friedemann Vetter, Senior Expert Regulierungsabteilung Netz, e-dis AG
 Franz Kühne, Ingenieur Servicemanagement, BKW Energie AG
 Dr. Ing. Jan Meyer, Leiter Asset Management, Vorraberger Energienetze
 Manuel Dürr, Leiter Regionalnetze, St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG
 Stefan Egger, Leiter Projekt und Studieningenieur, Swissgrid AG
 Walter Sattlinger, Senior Projecting Elektrizität, a.en.AamEnergie AG
 Florian Bürge, Engineering Senior Key Expert Power Quality, Siemens AG
 Dr. Michael Schweinke, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Berner Fachhochschule
 Andreas Gut, Professor für Energiesysteme, Berner Fachhochschule
 Michael Höckel, Leiter Inspektionen, electroswiss
 André Moser, Vorstandsvorsitzender Swissolar, Swissolar
 Thomas Hostettler, Projektleiter, Basler & Holzmern AG
 Christof Bucher, Projektleiter, Basler & Holzmern AG
 Marc-Philippe Mürner, Leiter Smart Grid Components, BKW Energie AG
 Adrian Kottmann, Geschäftsführer, ISE Netz AG

Unsere Aussteller
 PILLKE, MIBI AETS, optec, SIEMENS

28

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)
 Hintere Bahnhofstrasse 10
 Postfach
 5001 Aarau
 Tel. +41 62 825 25 25
 Fax +41 62 825 25 26
info@strom.ch
www.strom.ch

Association des entreprises électriques suisses (AES)
 Av. Louis Ruchonnet 2
 Case postale
 1003 Lausanne
 Tel. +41 21 310 30 30
 Fax +41 21 310 30 40
info@electricite.ch
www.electricite.ch

29

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Aktuelle Problemstellungen der Netzqualität in Bahnnetzen

Dr. Markus Meyer
emkamatik GmbH, Wettingen

Studium und Doktorat der Elektrotechnik an der ETH Zürich. Anschliessend tätig im Antriebsengineering für elektrische Lokomotiven bei Adtranz und Bombardier Transportation in Zürich Oerlikon. Seit 2003 Mitgründer und Mitinhaber der Ingenieurfirma emkamatik GmbH, Wettingen. Mitglied der Cenelec-Arbeitsgruppen TC9X WG A4-2 (Interaktion Fahrzeuge – Gleisfreimeldung) und WG C11 (Interaktion Fahrzeuge – Bahnstromversorgung). Lehrauftrag für die Vorlesung Eisenbahn-Systemtechnik an der ETH Zürich.

Aktuelle Problemstellungen der Netzqualität in Bahnnetzen

Markus Meyer

emkamatik GmbH, Wettingen

1. Übersicht Elektrische Systemkompatibilität bei Bahnen

Seit Mitte der 1980er-Jahre werden für die Antriebe elektrischer Bahnen frequenzvariable Antriebe mit statischen Umrichtern eingesetzt. Durch die Taktung der Antriebs- und Netzstromrichter ist die Entstehung höherfrequenter Störanteile im Netzstrom der Triebfahrzeuge unvermeidlich. Diese haben Auswirkungen sowohl in der Bahnstromversorgung als auch im Rückstrompfad, zu dem die Schienen gehören.

Bei der Kompatibilität zwischen elektrischen Triebfahrzeugen und der Eisenbahn-Infrastruktur ist eine ganze Reihe von Phänomenen zu berücksichtigen. Sie entstehen sowohl durch die höherfrequenten Anteile (Harmonische) in Spannungen und Strömen als auch durch Reglerrückkopplung. Für die meisten davon gelten etablierte Normen: Eintrag von Gleichströmen in Wechselstromnetze (EN 50122-3), Tieffrequente Schwingungen (EN 50388 bzw. künftig EN 50388-2), Leistungsbegrenzung in Funktion der Spannung und Frequenz (EN 50388), Leistungsfaktor (EN 50388), Instabilität durch Anregung elektrischer Resonanzen durch Reglerrückkopplung (EN 50388 bzw. EN 50388-2), Überspannungen durch Harmonische (EN 50388 bzw. EN 50388-2), Beeinflussung von Gleisfreimeldeanlagen (EN 50238, EN 50617) sowie Störeinflüsse durch elektromagnetische Felder (EN 50121).

Die Sicherstellung der elektrischen Systemkompatibilität ist in einigen Punkten sicherheitsrelevant (Gleisfreimeldung), in jedem Fall aber wichtig für die Zuverlässigkeit der Bahn.

2. Beeinflussung von Gleisstromkreisen

Es gibt heute und auch in näheren und mittelfristigen Zukunft nur zwei praktikable Methoden um festzustellen, ob ein Gleisabschnitt frei oder durch einen Zug belegt ist: Gleisstromkreise und Achszähler.

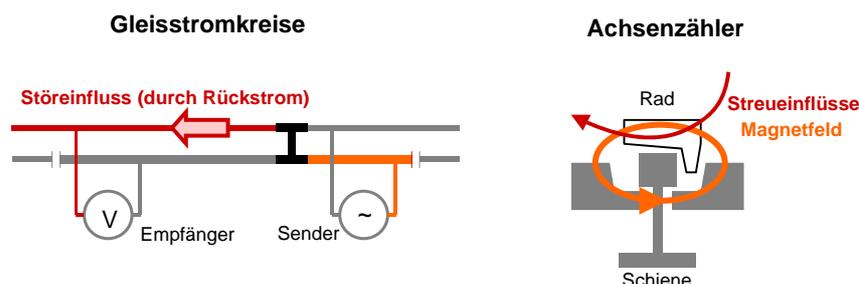


Abbildung 1: Wirkungsprinzip und Störeinflüsse bei Gleisstromkreisen und Achszählern

Gleisstromkreise arbeiten elektrisch, mit Frequenzen ungleich der Speisefrequenz der Bahnstromversorgung. Achsen, welche innerhalb eines Gleisstromkreises stehen, schliessen beide Schienen kurz und bringen damit die Testspannung zum verschwinden welche sonst anzeigt, dass der Abschnitt frei ist. Rückströme der Triebfahrzeuge, welche durch die Schienen fließen, können jedoch ebenfalls Spannungen zwischen den beiden Schienen eines Gleises erzeugen. Enthält der Rückstrom Frequenzanteile, die mit der Arbeitsfrequenz des Gleisstromkreises zusammenfallen, kann die Gleisfreimeldung gestört werden. Im ungünstigsten Fall wird ein besetztes Gleis als frei gemeldet.

Achszähler arbeiten mit magnetischen Feldern, normalerweise bei einigen zehn Kilohertz. Sie sind ebenfalls für elektromagnetische Störeinflüsse empfindlich. Anders als bei Gleisstromkreisen spielt die Qualität der Fahrleitungsspannung hier aber keine Rolle.

Die von einem Zug erzeugten harmonischen Ströme in seinem gesamten Rückstrom (der mit seinem Fahrleitungsstrom identisch ist) erzeugen einen Spannungsabfall entlang der Fahrleitungen. Damit entsteht ein Störspannungsspektrum in der Fahrleitungsspannung. Durch Resonanzen im Bahnstromnetz können solche Störanteile lokal auch stark überhört werden. Resonanzen treten in jedem Fahrleitungsnetz oberhalb von 800 oder spätestens etwa 1700 Hz auf. Sogenannte tonfrequente Gleisstromkreise arbeiten mit Frequenzen zwischen 1500 Hz und 16.5 kHz. Damit werden die Eigenschaften der Triebfahrzeuge (Störquelle), Bahnstromversorgung (Resonanzen) und Sicherungsanlagen (Arbeitsfrequenzen der Gleisstromkreise) miteinander verknüpft.

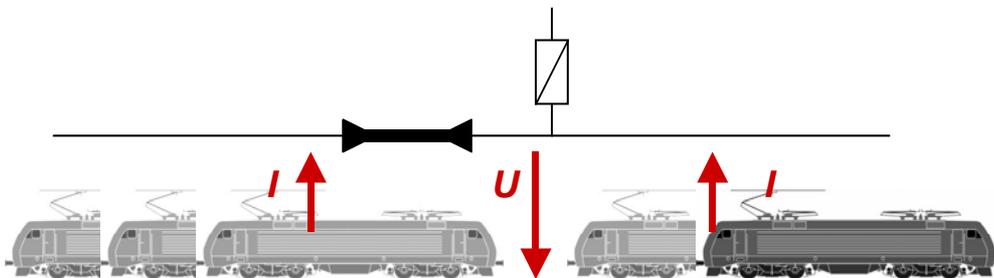


Abbildung 2: Die Spannung am Stromabnehmer eines Zuges ist mitverantwortlich für die Beeinflussung von Gleisstromkreisen unter diesem Zug, wird aber von anderen Zügen mit bestimmt

Die Einhaltung der Grenzwerte für Störströme ist bei der Neuzulassung von Triebfahrzeugen messtechnisch nachzuweisen. Kritisch im Hinblick sowohl auf eine systematische Vorhersage als auch einen messtechnischen Nachweis verhalten sich Triebfahrzeuge mit kapazitiver Eingangsimpedanz. Dies betrifft vor allem Triebzüge mit verteilten Antrieben, die auf der Hochspannungsseite (15 kV, 16.7 Hz bzw. 25 kV, 50 Hz) durch geschirmte Kabel miteinander verbunden sind. Die Kabel wirken als Kapazität, welche bei verzerrter Fahrleitungsspannung einen entsprechenden Strom führt, der direkt zum Rückstrom des Zuges beiträgt und bei der Beeinflussung der Gleisstromkreise wirksam wird.

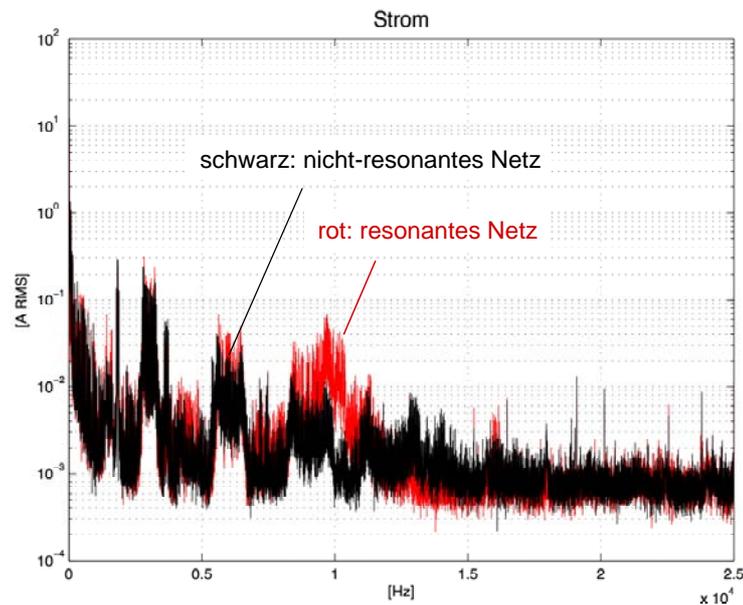


Abbildung 3: Spektrum des Fahrleitungsstroms eines Triebfahrzeugs mit 70 nF Eingangskapazität bei einer Bahnhofseinfahrt

Durch lokale Resonanzen im Bahnstromnetz verändert sich der im Frequenzband eines Gleisstromkreises gemessene (und für die Zulassung relevante) Stromanteil kontinuierlich, bei Ein- oder Ausfahrt in unterschiedlich gespeiste Bezirke (wie Bahnhofsanlagen) zum Teil sogar sprunghaft. Auch Störeinflüsse fremder, auf anderen Gleisen verkehrender Triebfahrzeuge bilden sich auf der Bahnstromseite im Spannungsspektrum ab. Diese Situation ist nicht nur für die Vorhersage des Störstroms anspruchsvoll, sofern bei der Auslegung nicht einfach ein Sicherheitsabstand von etwa Faktor 10 eingeplant wird. Dies ist aber nicht gleichzeitig bei allen einzuhaltenden Grenzwerten ohne erhöhten Hardwareaufwand in den Hochspannungskreisen des Zuges möglich.

Ebenso problematisch ist, dass sich durch den Effekt der Resonanzverstärkung und den Einfluss fremder Triebfahrzeuge an unterschiedlichen Stellen im Netz oder in verschiedenen Netzen keine vergleichbaren Bedingungen ergeben.

3. Aktueller Stand der Normung in Europa

Bis heute haben sich die Bahnen damit beholfen, Zulassungsmessungen immer auf der gleichen Strecke durchzuführen. Damit ist aber nicht automatisch sichergestellt, dass bei einer Messung wirklich die schlechtestmöglichen Bedingungen gefunden werden. Zudem wird eine Anerkennung einer Messung zwischen zwei verschiedenen Ländern bis heute nicht praktiziert.

In europäischen Projekten werden diese Fragen seit einiger Zeit untersucht, sowohl durch Simulationsrechnungen als auch mit vergleichenden Messfahrten mit Triebfahrzeugen einer einzigen Konfiguration in verschiedenen Ländern. Ziel ist es, die bewährten Verfahren der Störstrommessung so zu erweitern, dass die variablen Ergebnisse im Tonfrequenzbereich möglichst korrekt bewertet werden. Die Ideen gehen in Richtung einer statistischen Bewertung, möglicherweise unter Berücksichtigung des Verhaltens verschiedener Frequenzen, welche bis heute separat beurteilt werden. Die grösste Herausforderung dabei wird es sein, ein Verfahren zu definieren, welches nicht nur den

Anforderungen eines zuverlässigen Bahnbetriebs gerecht wird. Der Vorschlag, welcher in eine künftige, aus der Reihe der EN 50238 hervorgehende Norm eingebracht wird, muss auch den immer mehr durch Juristen statt Ingenieuren geprägten Strukturen der Bahnen in Europa genügen.

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Oberwellen im Bahnstromnetz der SBB

René Vollenwyder

SBB AG, Anlagemanagement Energie – Systemdesign, Zollikofen

2001 – 2005 Elektrotechnikstudium an der Fachhochschule Biel

2005 – 2008 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Biel im Bereich der Netzsimulation

2006 – 2008 Begleitung Elektroautoengagement der KWO

2008 – 2010 Masterstudium an der Fachhochschule Biel

2008 – 2010 Masterarbeit zur Energieoptimierung von Bahnfahrzeugen bei Bombardier Transportation,
Zürich Oerlikon

Seit 2010, Mitarbeiter im Bereich Systemdesign bei der SBB AG in Zollikofen

Oberwellen im Bahnstromnetz der SBB

René Vollenwyder

SBB AG, Anlagemanagement Energie – Systemdesign, Zollikofen

1 Ausgangslage

Die SBB ist immer wieder mit Netzqualitätsfragen in Ihrem Bahnstromnetz konfrontiert. Da im Netz viele Stromrichter vorhanden sind, ist die Netzqualität zum Teil deutlich schlechter als im 50Hz Netz üblich. Die Normen lassen dies aber zu.

Zur Zeit gibt es keine permanente Netzqualitätsüberwachung. Bei Problemen wurde bisher versucht mit punktuellen Messungen und Versuchen die problematischen Situationen nachzustellen. Gewisse Vorgänge im Netz aber auch Resonanzprobleme sind so sehr schwer nachzuvollziehen.

2 Blick in die Werkstatt „Permanente Netzqualitätsmessung“

Aufgrund der oben genannten Fragestellungen ist die SBB daran eine permanente Netzqualitätsmessung einzurichten. Um erste Erkenntnisse für die Handhabung einer solchen Messung zu gewinnen, wurde im Unterwerk Gampel im Wallis eine Testanlage eingerichtet.

Im Sommer 2014 wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit die Installation in Betrieb genommen und erste Messungen gemacht. Zusätzlich wurde ein Vorschlag für eine Schweizweite Messanlage entwickelt. Abbildung 1 zeigt die vorgeschlagene Standortwahl, die nun als Basis für die weitere Entwicklung des Messkonzeptes verwendet werden kann.

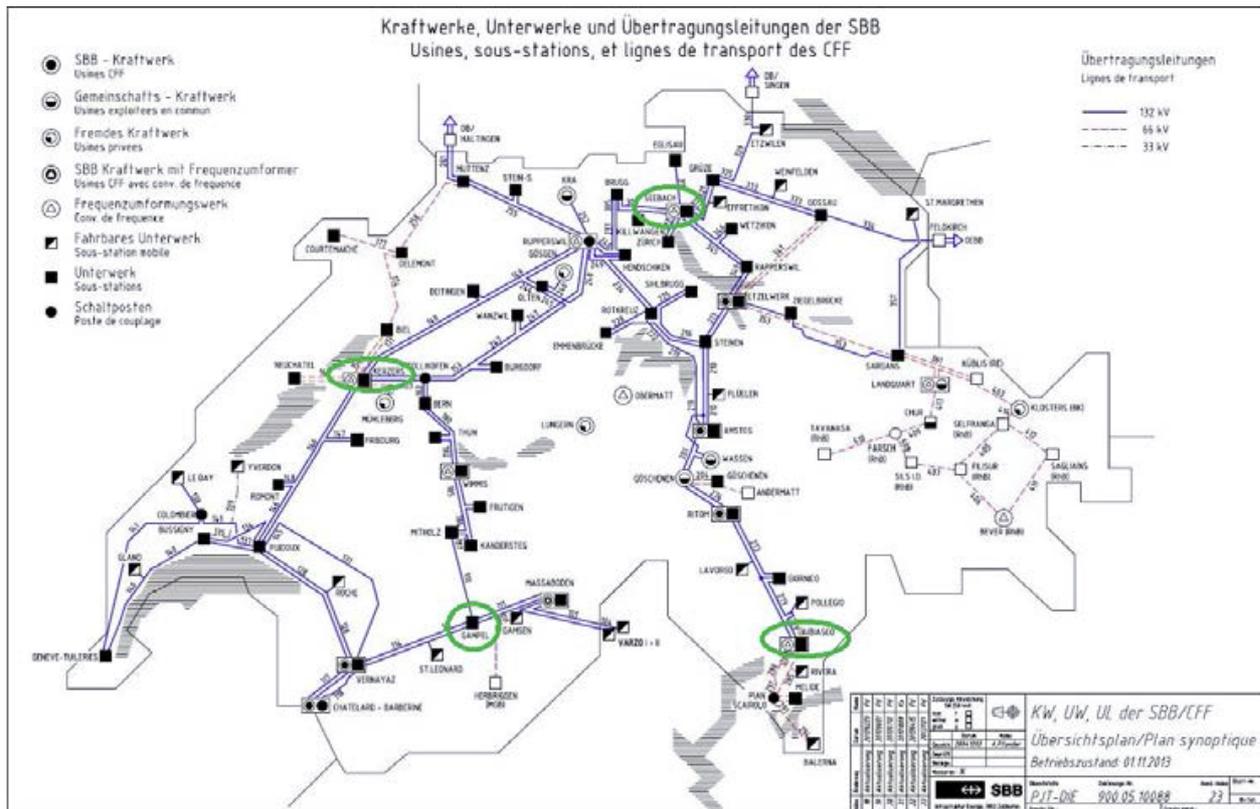


Abbildung 1: Standortvorschläge der Bachelorarbeit für eine permanente Netzqualitätsmessung

3 Zwei ausgewählte Spezialfälle

In den letzten Jahren gab es auf dem Netz der SBB einige interessante Fälle, in denen die gegenseitige Beeinflussung von Fahrzeugen und Energieversorgung eine wichtige Rolle gespielt hat. Die zwei nachfolgenden Beispiele zeigen exemplarisch, zu welchen Problemen diese Beeinflussung führen kann.

3.1 Zerstörte Filterdrosseln auf den Re 420

Für die Versorgung der Führerstandsklimaanlagen wurden die Lokomotiven vom Typ Re 420 mit einem Hilfsbetriebsrichter ausgerüstet.

Im Betrieb kam es dann zu einigen Bränden von Filterdrosseln des vorgeschalteten Filters. Auffällig war eine geografische Häufung der Fälle auf der Linie zwischen Yverdon und Payerne.

Die im Gebiet von Yverdon – Payerne häufig eingesetzten Regionalzüge vom Typ NPZ verfügen über eine Traktionsausrüstung mit Phasenanschnittsteuerung und verursachen bei 700Hz etwa 0.5A Störstrom. Die Vermutung lag nahe, dass das eingesetzte Filter wie ein Saugkreis wirkt. Wenn dessen Resonanzfrequenz in der Nähe einer ungeradzahigen Harmonischen liegt, sind Überströme in diesem Eingangskreis kaum vermeidbar.

Mittels Messung konnten die Vermutungen bestätigt werden. Dabei bewegte sich die Fahrleitungsspannung aber innerhalb der von der Norm EN 50388:2012 vorgegeben Grenzen. Als Massnahme wurden nach den Messungen die Filter modifiziert.

3.2 Überspannungen auf der Strecke Genf – La Plaine

Die Strecke zwischen Genf und La-Plaine wurde im Sommer 2014 von 1.5kV DC auf 25kV, 50Hz umgebaut. Zur Versorgung der Strecke wurde in Verbois ein Unterwerk gebaut (das einzige 25kV, 50Hz Unterwerk der SBB). Da ein grosser Teil der Strecke im Raum Genf durch dicht besiedeltes Gebiet führt, sind die Kabelanteile im 25kV Fahrleitungsnetz relativ hoch.

Auf der Strecke fährt die SNCF mit TGV vom Typ PSE, diese gehören zu den älteren Generationen TGV und sind mit einer einstufigen Phasenanschnittsteuerung ausgerüstet. Diese Fahrzeuge verursachen relativ starke Störströme bei allen ungeradzahlig Harmonischen, so auch im resonanzkritischen Bereich um 1kHz.

Simulationen hatten gezeigt, dass je nach Fahrzeugeinsatz die resonanzbedingten Spannungsspitzen über den zulässigen Bereich von 50kV gehen können. Um die Simulationen zu verifizieren, wurden kurz vor Inbetriebnahme der umgebauten Strecke aufwändige Messungen durchgeführt.

Mithilfe von vier TGV PSE Kompositionen konnten die Simulationen bestätigt werden. Bei den Versuchen wurden trotz Einstellung der Grundswingungs-Spannung unterhalb des üblichen Wertes von 27.5kV maximale Spannungen von bis zu 55kV erreicht.

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus einer Messung, bei der die Grundwelle stark verzerrt wurde. Im Spektrum sind die Oberwellen, die durch die einstufige Phasenanschnittsteuerung verursacht werden, deutlich zu sehen.

Damit der Betrieb der umgebauten Strecke trotzdem wie geplant aufgenommen werden konnte, musste als Sofortmassnahme die Spannung an den Speisepunkten tief eingestellt werden. Ob mittelfristig ein passives Filter eingebaut werden muss, ist noch nicht definitiv entschieden.

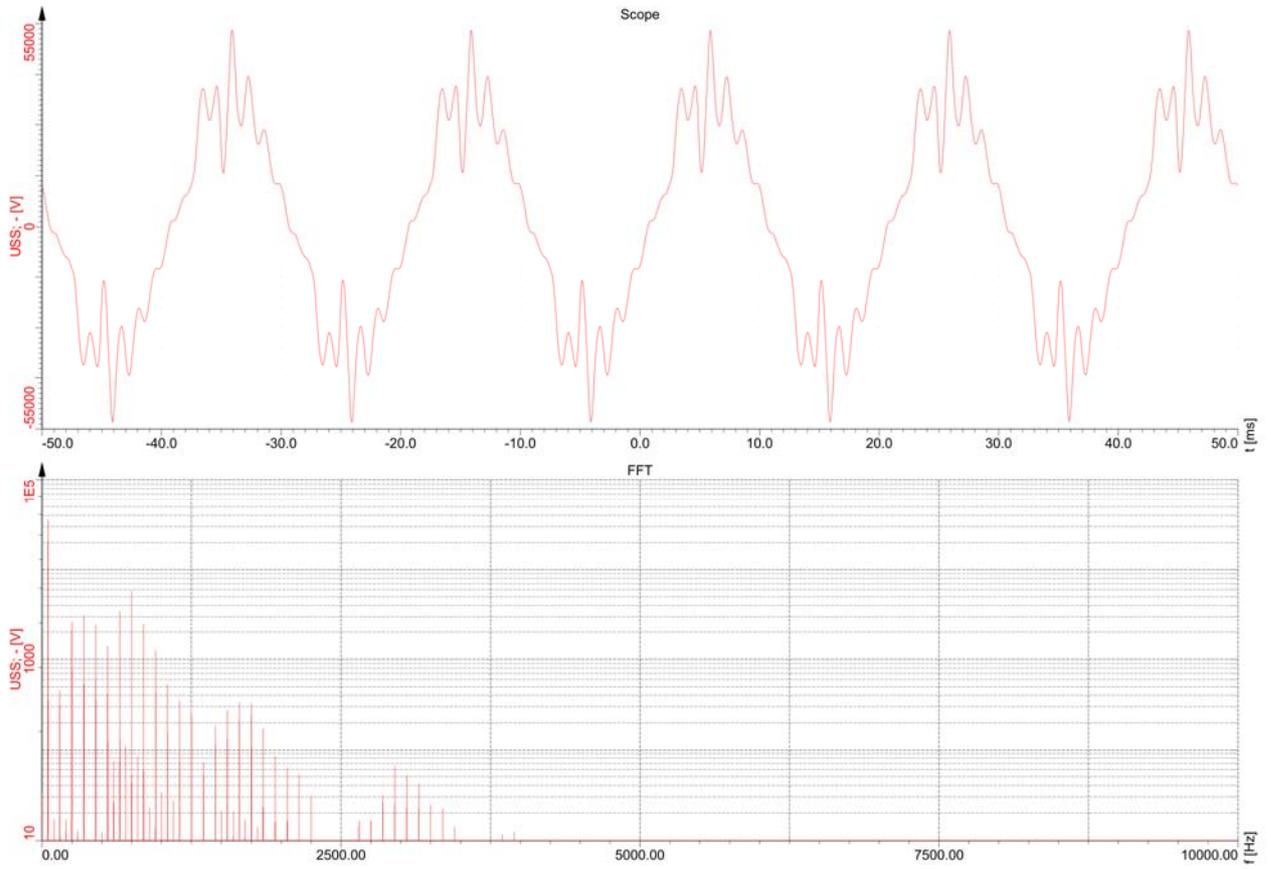


Abbildung 2: Verzerrte Netzspannung bei Versuchen in Genf

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Netzqualitätsmessungen im Hoch- und Höchstspannungsnetz

Dr Thomas Brügger
FKH, Zürich

Dr. Thomas Brügger arbeitete zwischen 2008 und 2011 unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Fröhlich am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnologie (EEH) der ETH Zürich. Seine Doktorarbeit schrieb er zum Thema „Einfluss starker Lastwechseldynamik auf das Alterungsverhalten der Isolation grosser Hydrogeneratoren“.

Seit 2011 arbeitet Thomas Brügger als Prüfenieur bei der Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH) in Zürich.

Netzqualitätsmessungen im Hoch- und Höchstspannungsnetz

Thomas Brügger
FKH, Zürich

1. Kurzfassung des Vortrags

Die FKH hat in den Jahren 2011 und 2012 im Auftrag von Swissgrid zwei Netzqualitätsmesskampagnen auf der Hoch- und Höchstspannungsebene durchgeführt. Bei der Messung 2011 im 380-/220-kV-Knotenpunkt in Sils i. D. wurde der Ist-Oberwellengehalt aufgenommen, um den evtl. Anschluss einer HGÜ-Konverterstation für das Projekt Greenconnector beurteilen zu können. Bei der Messung 2012 im UW Gerlafingen wurden die Netzurückwirkungen des Anschlusses der Lichtbogenöfen des Stahlwerks Gerlafingen im 220-kV-Speisenetz untersucht. Der Vortrag fasst beide Messungen zusammen, geht auf die speziellen Aspekte von Netzqualitätsmessungen auf der Hoch- und Höchstspannungsebene ein und zeigt weitere mögliche Anwendungen.

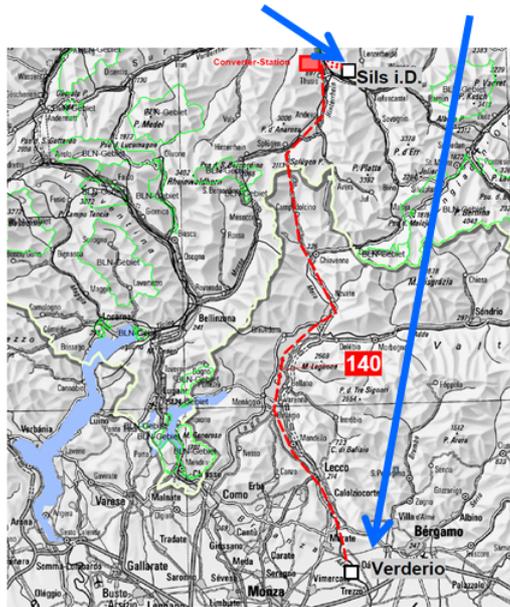
Inhalt

- **Messung Swissgrid Sils im Domleschg 2011**
 - Hintergrund
 - Messtechnik und Messaufbau
 - Messung
 - Ergebnisse
- **Messung Swissgrid Gerlafingen 2012**
 - Hintergrund
 - Messtechnik und Messaufbau
 - Ergebnisse
- **Fazit**

Messung Swissgrid Sils im Domleschg 2011

Hintergrund: Greenconnector DC-Link Sils - Verderio

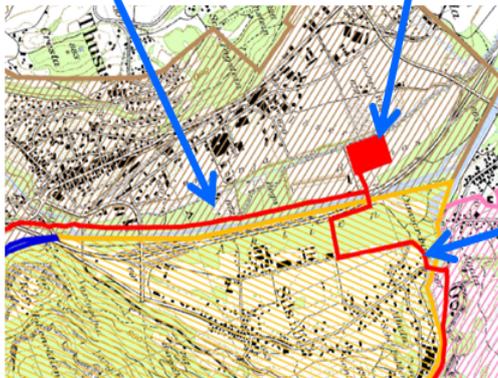
- 400 kV DC Kabel
- Kapazität 1'100 MW
- Verbindung der Erzeugerregion in Graubünden mit der Verbraucherregion in der Lombardei
- Erhöht die Versorgungssicherheit in der Lombardei
- Kabelführung zu grossen Teilen in stillgelegter Ölpipeline Genua – Ingolstadt
- Ein weiteres Teilstück als Seekabel im Lago di Como



FKH FKH-/VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Hintergrund: Greenconnector DC-Link Sils - Verderio

- Konverterstation in Sils/Thusis mit Anbindung an 380-kV-Netz
- DC-Kabel in ehemaliger Öl-Pipeline Oleodotto del Reno Richtung Splügenpass



- 380-kV-Drehstromkabel zu UW Sils i. D.

FKH FKH-/VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Hintergrund: Greenconnector DC-Link Sils - Verderio

- Ziel der Messung: Aufnahme des existierenden Oberwellengehaltes auf 380-kV-Ebene, nötig für die Auslegung der AC-Filter

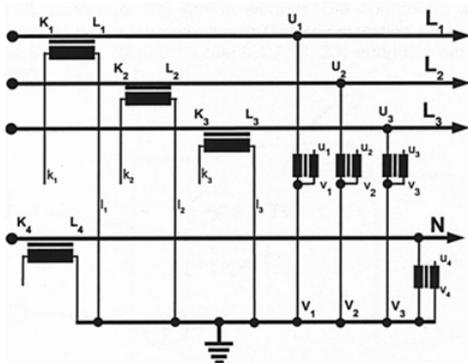


HGÜ Stromrichterstation in Püssi, Estland (Quelle: Siemens)

FKH FKH-/VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Messtechnik und Messaufbau

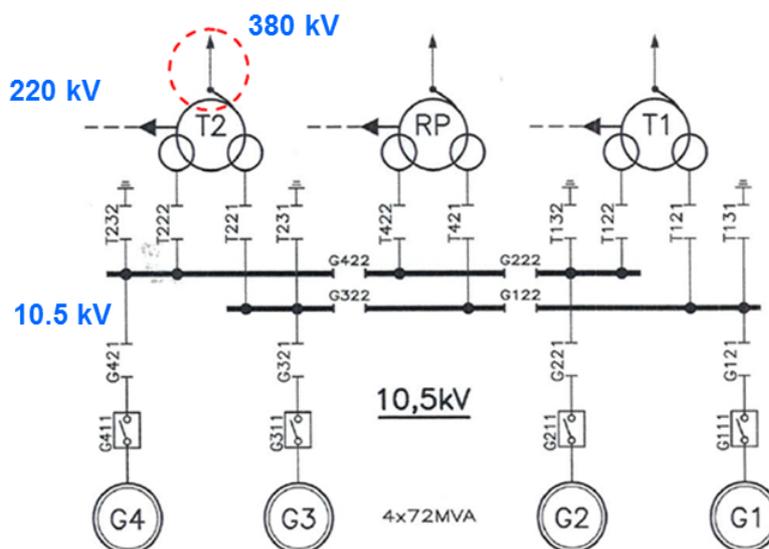
- Idee: Messung mit Haag Euro Quant Netzqualitäts-Messgerät
- Wird z.B. für Abnahme-/Kontrollmessungen für Netzqualitätsmaßnahmen eingesetzt
- 4 Spannungsmesseingänge bis 2'000 V_{peak}
- 4 Spannungseingänge für externe Strom/Spannungswandler
- **Frage: Wie wird an das 380-kV-Höchstspannungsnetz angekoppelt?**



FKH FKH-/VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Messtechnik und Messaufbau

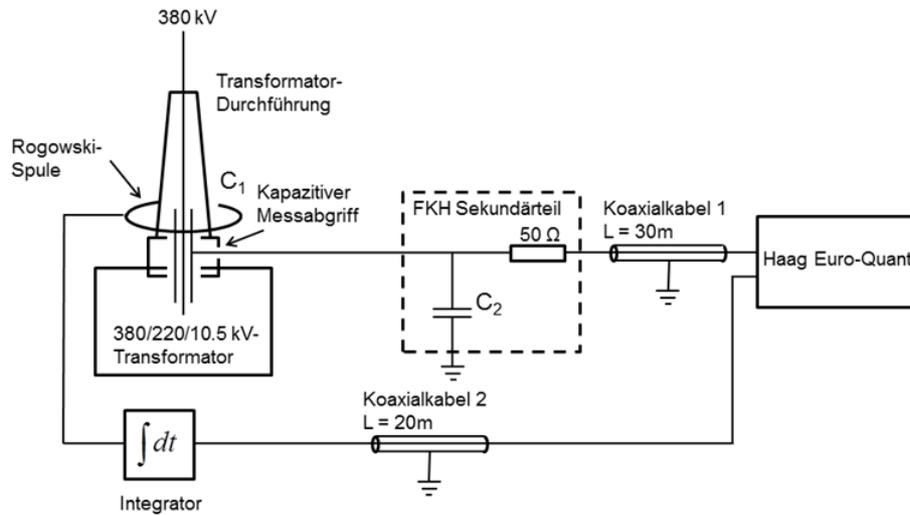
- Messstelle
 - 380/220/10.5 kV-Haupt-Transformatoren (Einzelpole) im UW Sils



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Messtechnik und Messaufbau

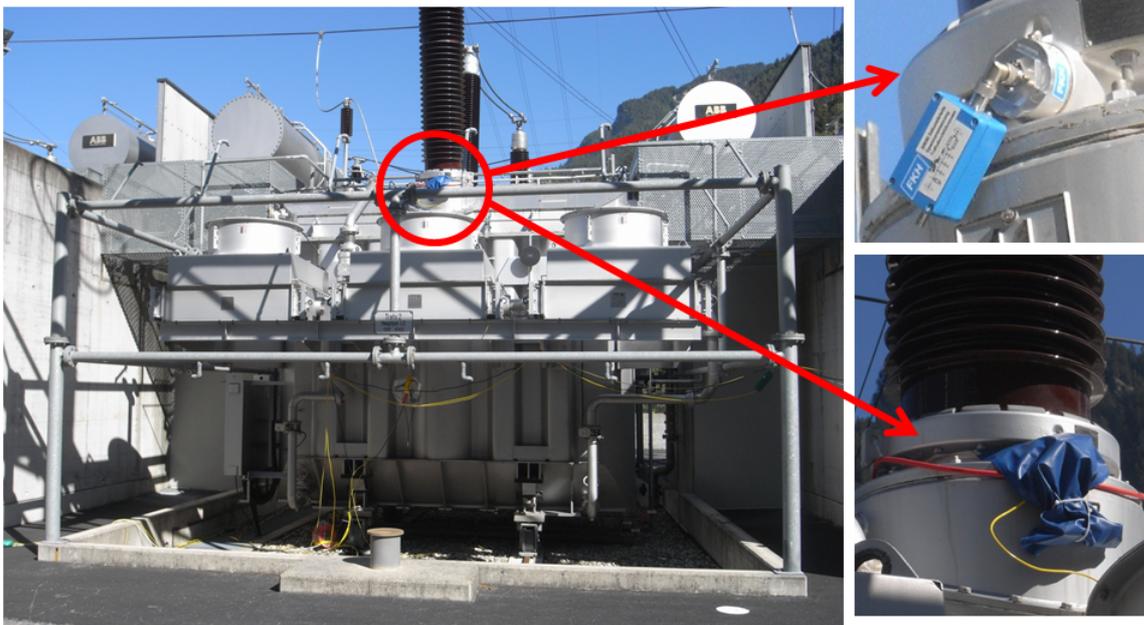
- **Spannungsmessung**
 Anschluss einer geeigneten Sekundärkapazität an die kapazitiven Messabgriffe der 380-kV-Durchführungen
- **Strommessung**
 Um die 380-kV-Durchführungen gelegte Rogowskispulen



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

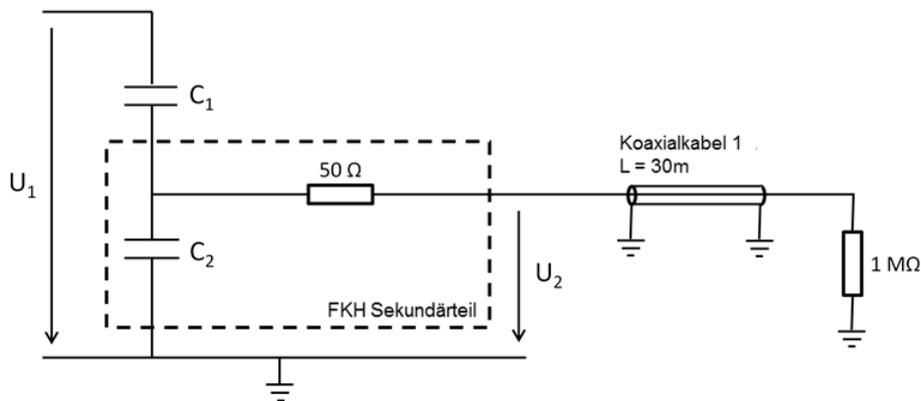
Messtechnik und Messaufbau

380/220/10.5 kV-Einzelpol L2 UW Sils i. D.



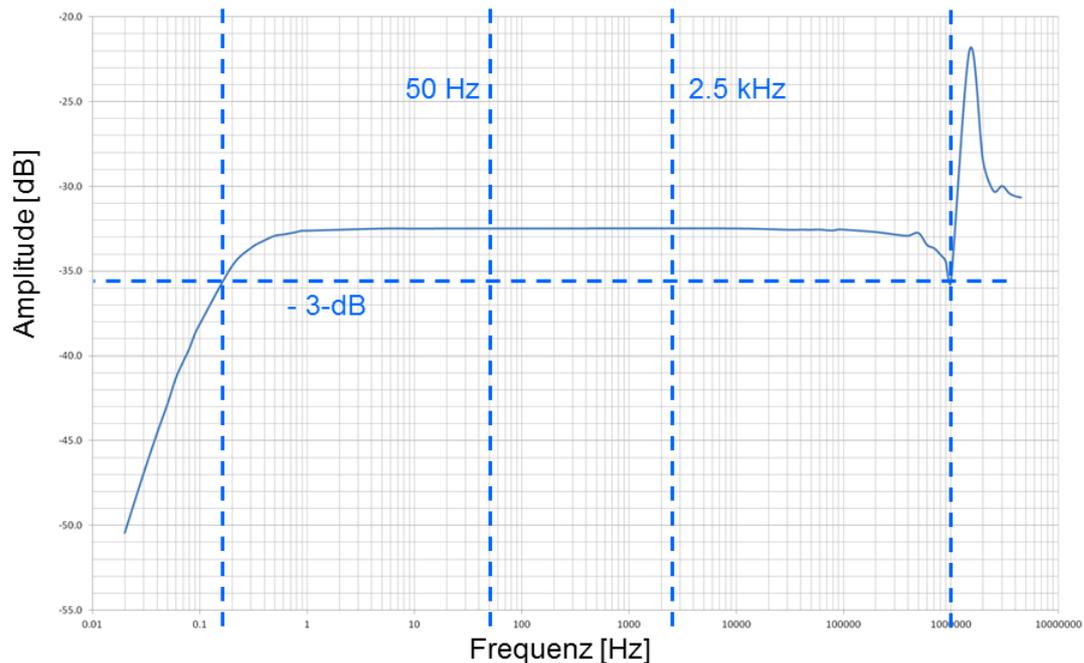
Messtechnik und Messaufbau

- Frequenzgang der Spannungsmessung?
 - Messbereich: 50-Hz-Grundschiwingung bis 50. Harmonische (2.5 kHz)
 - Forderung: 3-dB-Frequenz der Amplitude mind. 1 Dekade unter bzw. über dem Messbereich, minimale Phasenabweichung
 - Test im Labor mit simulierter Primärkapazität (Durchführungskapazität)
 - Da Einfluss von C_1 klein, wurde im Labor $C_1 = 23$ nF gewählt (Trafo-Durchführung < 1 nF)



Messtechnik und Messaufbau

- Gemessener Amplitudengang



Messtechnik und Messaufbau

- Gemessener Phasengang

Frequenz [Hz]	Phase [deg]
5	-1.8
10	-0.9
20	-0.7
30	-0.3
40	0.0
50	0.0
2.5 k	0.0
25 k	1.8

- Strommessung

- Chauvin Arnoux AmpFLEX A100
- 2.2 m Länge
- 1 mV/A (bis 3'000 A)
- 3-dB-Bandbreite: 5 – 20'000 Hz



Messung

- 1 Woche vom 24.9. bis 1.10.2011
- Aufgezeichnete Grössen:

Kategorie	Messgrössen	Messintervall [s]
Standard	U_{rms}, I_{rms}	60
	P, Q, S	60
	$\cos\varphi$	60
	Frequenz	10
Symmetrie	$U_{unbalance}, I_{unbalance}$	60
Harmonische (2. – 50.)	U_{abs}, I_{abs}	60
	P, Q, S	60
	$\cos\varphi$	60
Zwischenharmonische (0.5 – 49.5)	U_{abs}, I_{abs}	60
FFT Summen (2.5 – 20 kHz, 500 Hz Fenster)	U_{abs}, I_{abs}	60
THD	U, I	60
Flicker	P_{st}, P_{It}	600

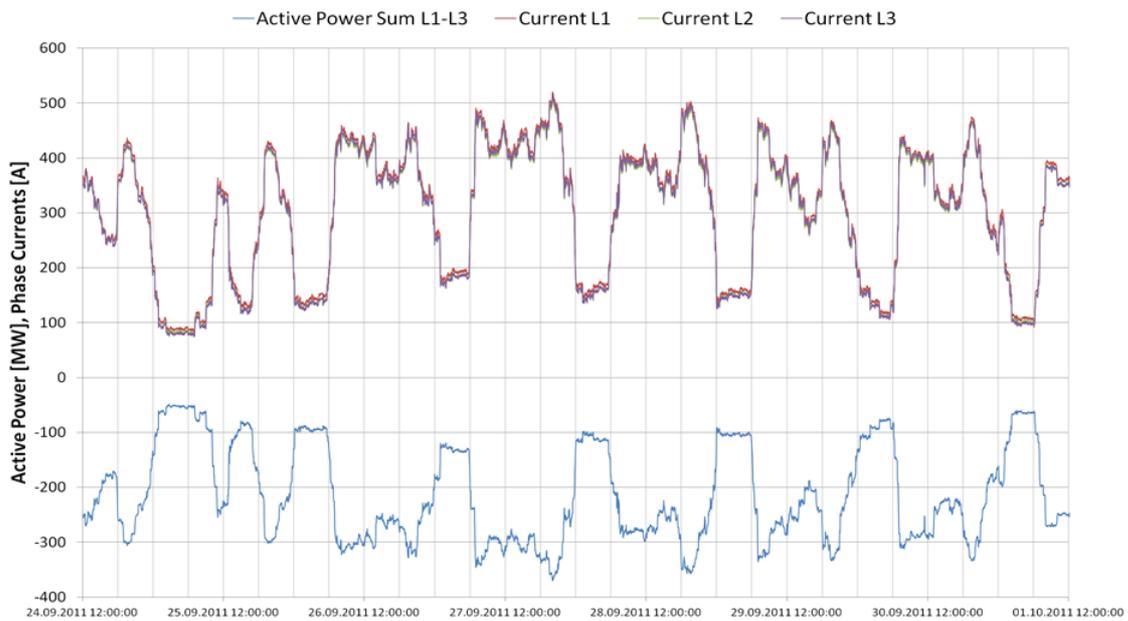
FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Ergebnisse

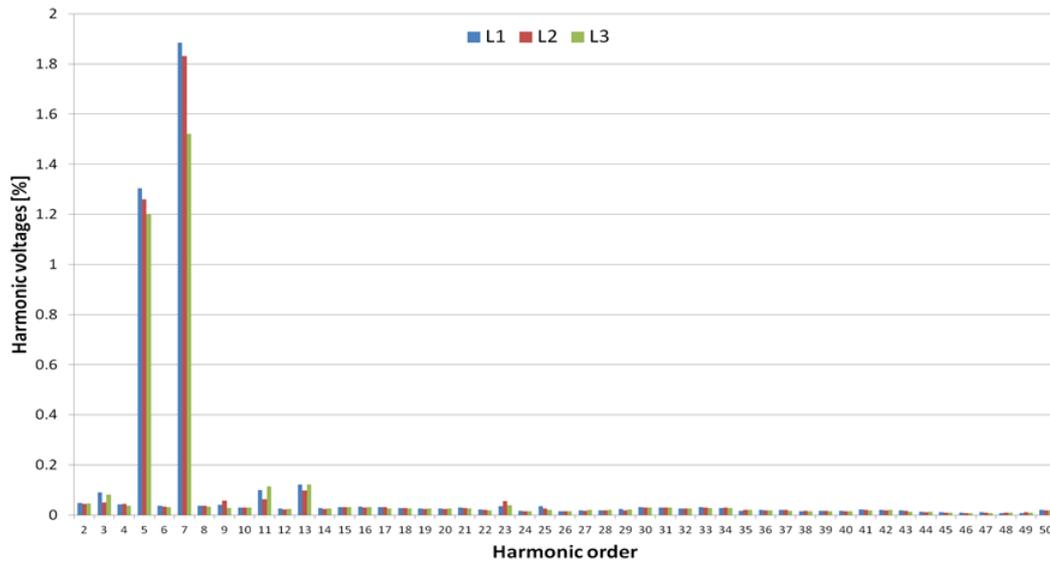
- Ströme in den Trafo-Durchführungen und Wirkleistungsfluss (negatives Vorzeichen: Fluss vom 220- ins 380-kV-Netz):



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Ergebnisse

- Harmonische: Dominierend 5. und 7.
- Maximum 5.: ca. 1.3%, Maximum 7.: ca. 1.8% (IEC 61000-3-6: 2%)
- Analyse des Oberwellen-Leistungsflusses ergab, dass sich die Oberwellenquellen weitgehend auf der 380-kV-Seite befinden.

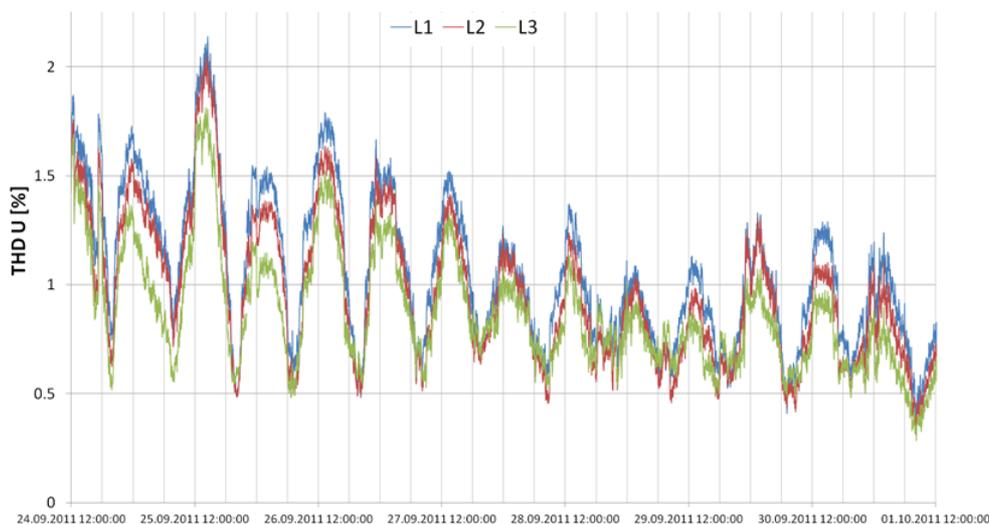


FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Ergebnisse

- THD (Total Harmonic Distortion, gesamte harmonische Verzerrung), IEC 61000-3-6: 3%)
- Ist abhängig von der jeweiligen Kurzschlussleistung im Knoten, Minima bei massivem Kraftwerkeinsatz (220-kV-Ebene)

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Messung Swissgrid UW Gerlafingen 2011

Hintergrund: Stahlwerk Gerlafingen



Glühende Elektroden eines Lichtbogen-Ofens (Quelle: Stahl Gerlafingen)

FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Hintergrund: Einspeisung Stahlwerk Gerlafingen

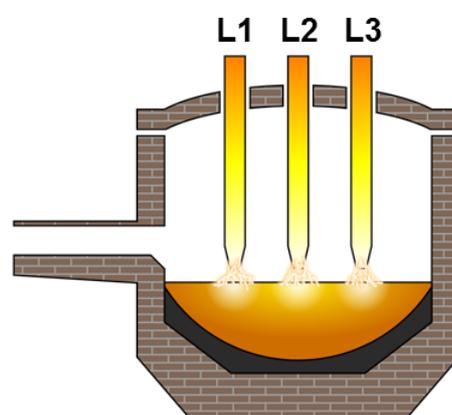
UW Flumenthal

Ofen-Transformator



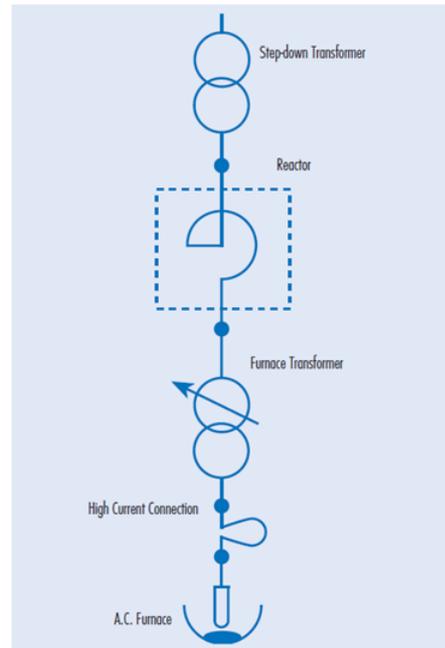
220/50-kV-Transformator UW Gerlafingen

Lichtbogenofen



Hintergrund: Lichtbogenofen

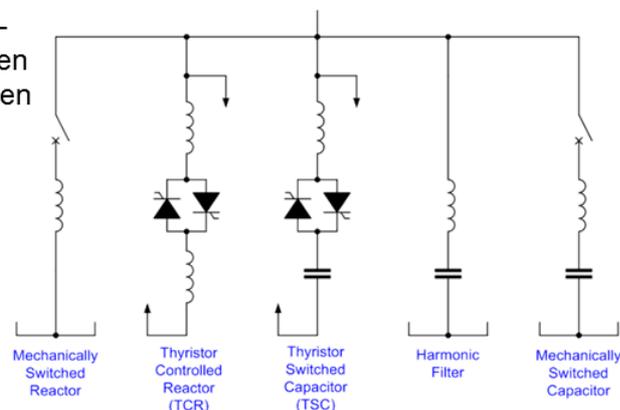
- Gehören zu den grössten konzentrierten Lasten im elektrischen Netz (Anschlussleistungen bis z.T. weit über 100 MVA)
- Lichtbogen bewegt sich während des Schmelzprozesses zufällig und ändert seine Länge
- Der Lichtbogenofen ist damit eine unsymmetrische, zeitlich hoch dynamische Last
- Am Anfang des Schmelzprozesses werden die Elektroden mechanisch auf das zu schmelzende Material (Schrott) abgesenkt. Der Strom wird durch die Streuinduktivitäten der Transformatoren, der Serieinduktivität, sowie Widerstand von Lichtbogen und Kesselinhalt bestimmt.



(Quelle: Tamini Group)

Hintergrund: Lichtbogenofen

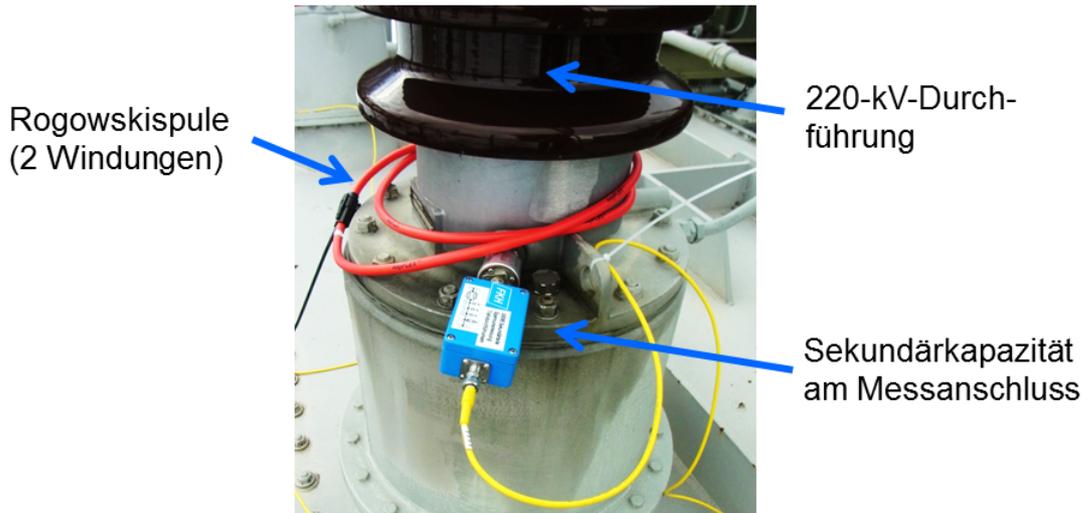
- Am Anfang des Schmelzprozesses weist der Strom schnelle Änderungen mit Frequenzanteilen unterhalb der Netzfrequenz.
- Dies führt zu einer Modulation der Netzfrequenzströme und zum Auftreten von Seitenbändern in der Nähe der Netzfrequenz (Zwischenharmonische)
- Falls die Kurzschlussleistung des speisenden Netzes im Verhältnis zur Anschlussleistung des Ofens nicht hoch genug ist oder keine Gegenmassnahmen getroffen werden (statische Blindleistungskompensation) können sich Zwischenharmonische ins Versorgungsnetz ausbreiten
- Vom Menschen können die verursachten Spannungsschwankungen als störende Helligkeitsänderungen von Leuchtmitteln (Flicker) wahrgenommen werden



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Messtechnik und Messaufbau

- Messstelle
 - 220/50 kV-Haupt-Transformator im UW Gerlafingen
- Strom- und Spannungsmessung an 220-kV-Durchführungen



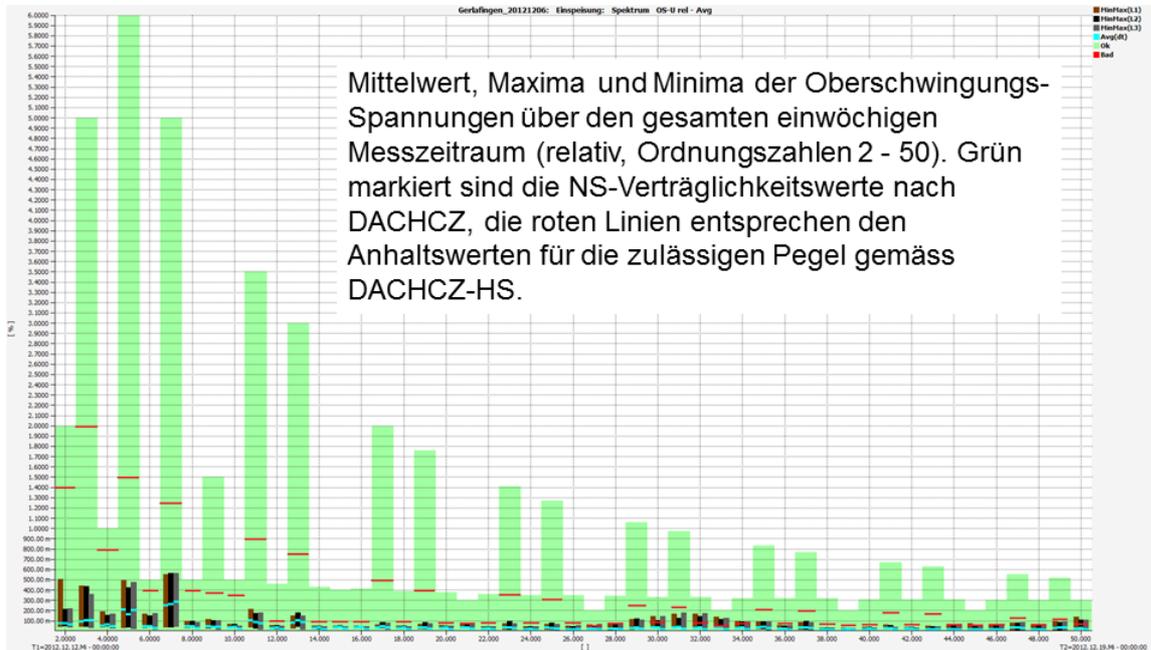
FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Messung

- 1 Woche vom 12.12.12. bis 19.12.12
- Aufgezeichnete Grössen:

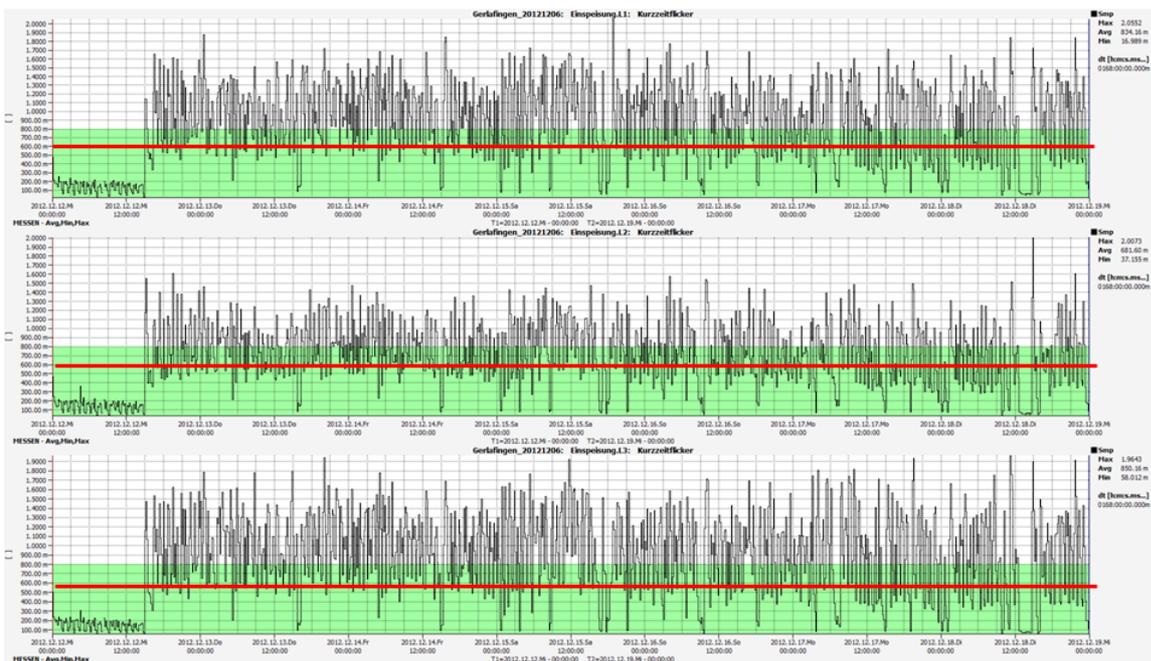
Kategorie	Parameter	Messintervall [s]
Grundwerte	U_{rms}, I_{rms}	60
	P, Q, S	60
	$\cos\varphi$	60
	Frequenz	10
Netzsymmetrie	U_{unbal}	60
Harmonische (2. – 50.)	U_{abs}, I_{abs}	60
Zwischenharmonische (0.5 – 49.5)	U_{abs}, I_{abs}	60
Verzerrung (THD)	U, I	60
Flicker	P_{st}, P_{lt}	600

Ergebnisse: Harmonische



Ergebnisse: Flicker

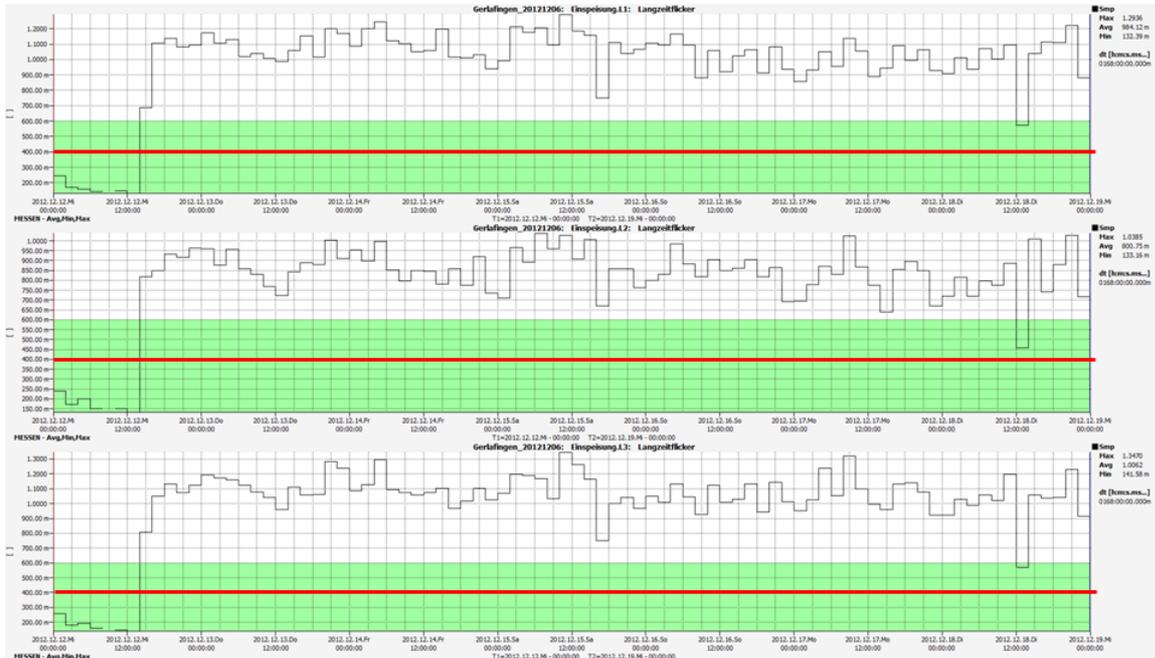
Kurzzeitflicker P_{st} mit dem Planungspegel $P_{st} = 0.8$ aus IEC 61000-3-7 (grüner Bereich) und dem Grenzwert $P_{st,max} = 0.6$ aus DACHCZ-HS (rote Linie)



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Ergebnisse: Flicker

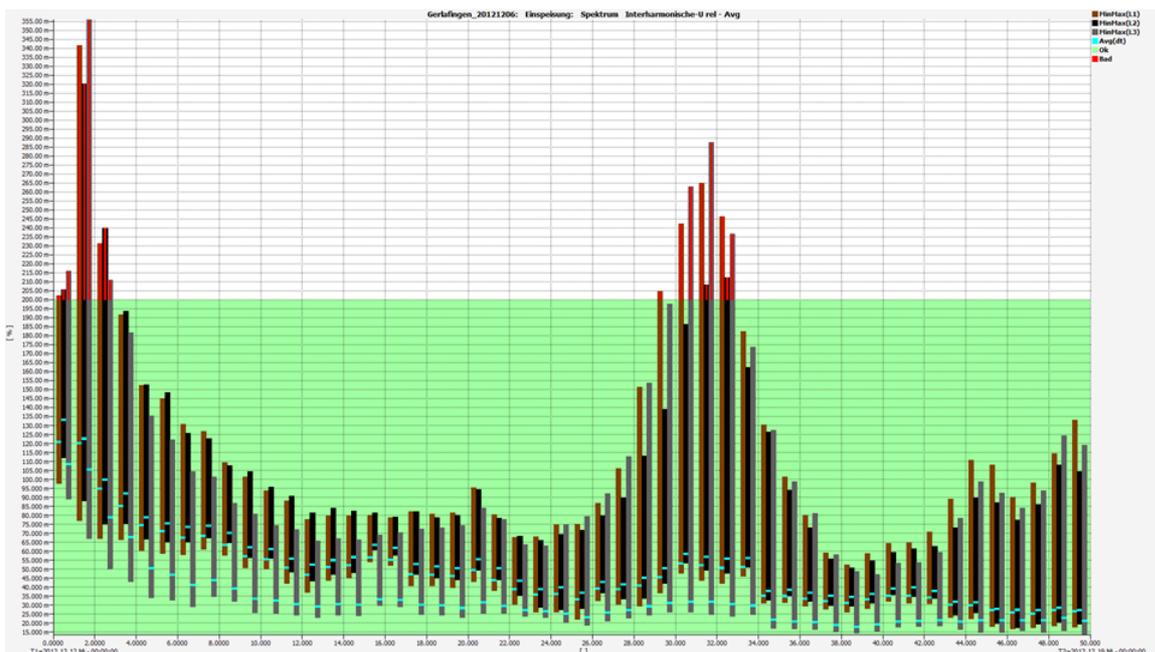
Langzeitflicker P_{lt} mit dem Planungspegel $P_{lt} = 0.6$ aus IEC 61000-3-7 (grüner Bereich) und dem Grenzwert $P_{lt,max} = 0.4$ aus DACHCZ-HS (rote Linie)



FKH FKH-VSE-Fachtagung 2012 „Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen“ 13.11.2014

Ergebnisse: Zwischenharmonische

Mittelwert, Maxima und Minima der zwischenharmonischen Spannungen L1, L2, L3 über den gesamten einwöchigen Messzeitraum (Ordnung 0.5-49.5)



Fazit

- Es gibt Fragestellungen, die Netzqualitätsmessungen auf der Hoch-/Höchstspannungsebene nötig machen
- Die Messungen können mit der vorhandenen Messtechnik durchgeführt werden
- Die Fragestellungen bezüglich Netzqualität im Hoch-/Höchstspannungsnetz werden im Zusammenhang mit
 - dem Anschluss von PV-/Windkraftwerken
 - HGÜ
 - der weiteren Verbreitung von Leistungselektronik (Frequenzumrichtern)zunehmen.
- Die FKH wird die Entwicklung verfolgen und ihr Messtechnik-Knowhow weiter ausbauen

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Aktuelle Probleme der Netzqualität in einem Stadtwerk

Christoph Steinmann
ewz, Zürich

1995	Abschluss El. Ing. HTL am damaligen Technikum Winterthur Ingenieurschule, heute ZHAW
1996 bis 1997	Assistent im Labor für Antriebstechnik und Leistungselektronik
1997 bis 2001	Netzingenieur und Bauleiter Netzbau ewz Verteilnetz
2001 bis 2007	Projektleitung Netzdienstleistungen
seit 2007	Technische Projekte Messtechnik bei ewz. Themen Smart Metering, Rundsteuerung, Spannungsqualität.

Aktuelle Probleme der Netzqualität in einem Stadtwerk

Christoph Steinmann
ewz Verteilnetze, Zürich

1. Einleitung

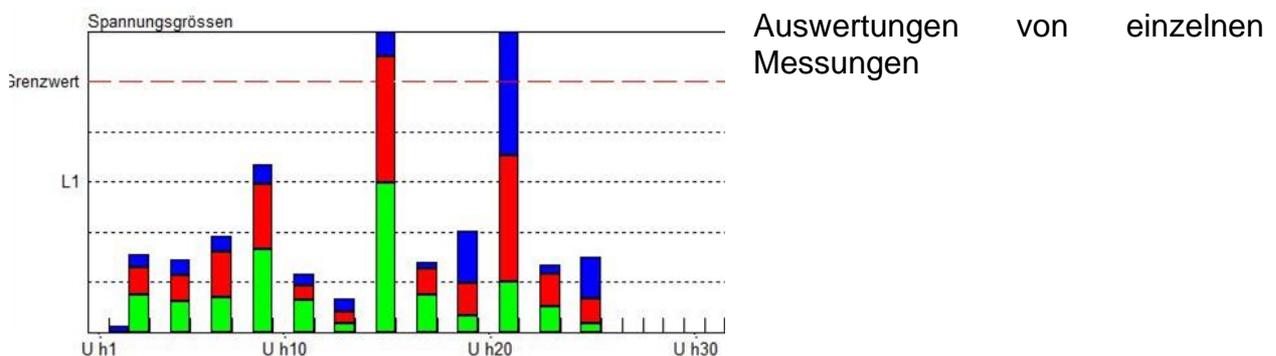
Ein städtisches Verteilnetz ist geprägt durch die hohe Leistungsdichte. Übergabestellen zu Kunden befinden sich auf Netzebene 5 (Mittelspannung) und Netzebene 7 (Niederspannung). An den Übergabestellen sind die Qualitätsmerkmale der Spannung gemäss EN 50160 sicherzustellen und zu überwachen.

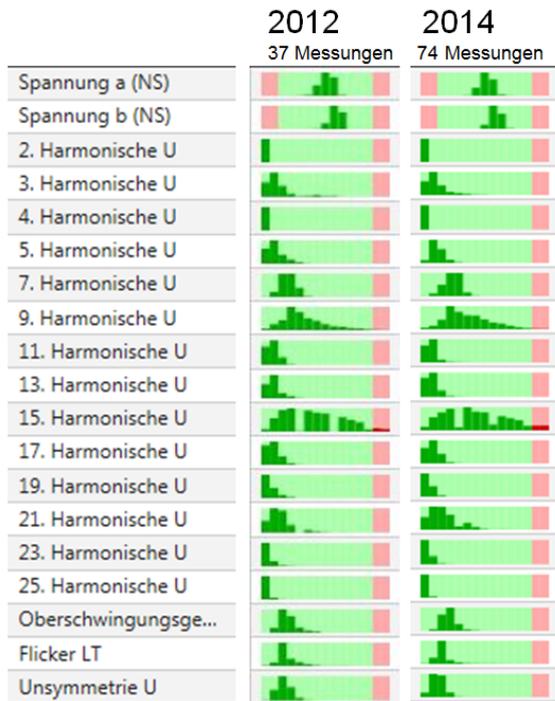
2. Messungen

Die stetige Weiterentwicklung und der breiter werdende Einsatz von Leistungselektronik hat eine Änderung von Eigenschaften der Verteilnetze zur Folge.

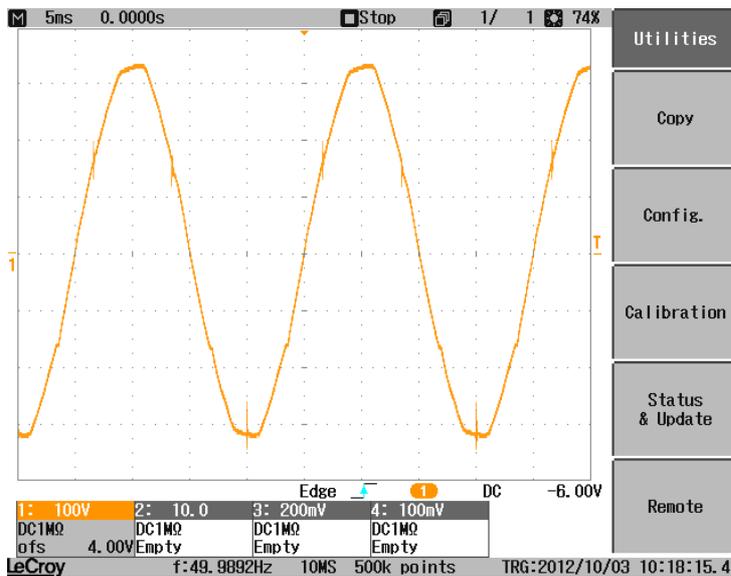
Mit jährlich rund 240 Wochenmessungen der Spannungsqualität nach EN 50160 versuchen wir einen Überblick zu bekommen, wo wir stehen und längerfristig auch zu erkennen, welche Themen uns künftig beschäftigen werden. Im Fokus stehen vor allem gewisse Oberschwingungsspannungen.

Die Suche nach Störungsursachen wird manchmal zur Herausforderung.





Zusammenfassung, Beurteilung und Vergleiche von mehreren Wochenmessungen



Suche von Störungsursachen und Behebung, ausgelöst durch Kundenbeschwerden.

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Leistungselektronik in Elektrizitätsversorgungsnetzen, neue Möglichkeiten, Problemstellungen und Lösungen

Tobias Thurnherr

ABB Schweiz AG, Energietechniksysteme, Turgi

- | | |
|------------|--|
| 2006: | Abschluss Dipl. El.- Ing. ETH Lausanne |
| 2006-2007: | 9-monatiges Praktikum im Bereich Maschinenregelung und Digitaltechnik, JTEKT Corporation, Kashihara, Japan |
| 2007-2012: | Systemingenieur für Mittelspannungs-Stromrichter, ABB Schweiz AG, Turgi |
| Seit 2012: | Leiter Software-Entwicklung für Mittelspannungs-Stromrichter, ABB Schweiz AG, Turgi |

Leistungselektronik in Elektrizitätsversorgungsnetzen, neue Möglichkeiten, Problemstellungen und Lösungen

Tobias Thurnherr

ABB Schweiz AG, Energietechniksysteme, Turgi

1 Einleitung

Um den problemlosen Betrieb eines Elektrizitätsnetzes mit verschiedenen Erzeugern und Verbrauchern sicherzustellen, werden Mindestanforderungen an die Netzqualität definiert. Dafür werden insbesondere die folgenden Kriterien ausgewertet:

- **Spannungsstabilität:** Abweichung von der Nennspannung in einem Netz
- **Frequenzstabilität:** Abweichung von der Nennfrequenz in einem Netz
- **Oberwellen:** Definieren Limiten für Oberwellen, die durch eine Erzeugungs- oder Verbrauchseinheit verursacht werden
- **Asymmetrie:** Anteil der Gegenkomponente in der Netzspannung
- **Transiente Vorgänge** (Flicker, Schalthandlungen): Kurzzeitige, gegebenenfalls sich repetierende Abweichung von der Nennspannung

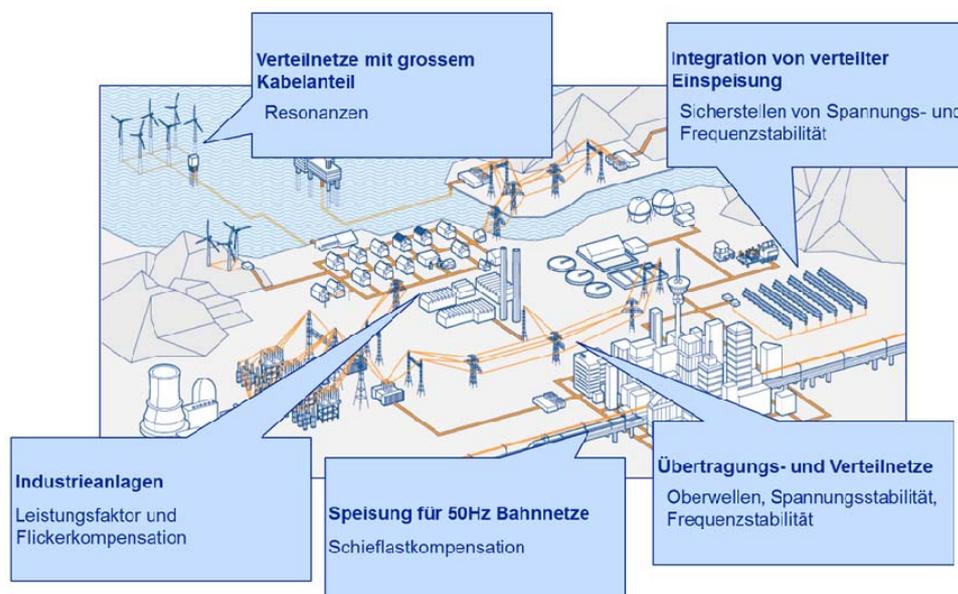


Abbildung 1: Beispiele für verschiedene Aspekte der Netzqualität

2 Aktuelle Problemstellungen

Die Elektrizitätsnetze befinden sich momentan in einem Umbau: Kleinere, verteilte Erzeugungseinheiten mit schwer planbarer Leistungsabgabe, wie zum Beispiel Solar- oder Windkraftwerke, lösen teilweise grosse Kraftwerke mit konstanter Leistungsabgabe ab. Gleichzeitig wird die Energie nicht mehr nur direkt an das Netz angeschlossene Synchronmaschinen eingespeist, sondern vermehrt auch durch Stromrichter, die einen flexiblen Betrieb der Erzeugungseinheit ermöglichen. Dies hat einen Einfluss auf die Erzeugung von Oberwellen, Kurzschlussstrom, Regeldynamik, etc. von den Erzeugungseinheiten.

Verteilte Erzeugungseinheiten bringen auch neue Herausforderungen mit sich. So sind zum Beispiel Windturbinen nicht immer dafür dimensioniert, um in jedem Fall genügend Blindleistung bereitzustellen, damit die Netzanschlussrichtlinien erfüllt werden können, oder Windparks, in denen kilometerlange Kabel installiert sind, weisen Anschlussimpedanzen für die Turbinen auf, die ausgeprägte Resonanzen haben.

3 Möglichkeiten mit Stromrichtern

3.1 Allgemeines

Einige der erwähnten Herausforderungen können dadurch gelöst werden, dass Stromrichter mit einer ausreichend hohen effektiven Schaltfrequenz der Halbleiter eingesetzt werden. Dies wirkt sich einerseits vorteilhaft auf die erreichbare Regeldynamik des Stromrichters aus. Andererseits ergeben sich dadurch einige Freiheitsgrade bei der Erzeugung des Oberwellenspektrums des Stromrichters.

Hohe effektive Schaltfrequenz kann zunächst durch Schalten der einzelnen Leistungshalbleiter mit entsprechend hoher Frequenz erreicht werden. Allerdings müssen dabei meist auch hohe Verluste in Kauf genommen werden.

Ein anderer Ansatz ist es, eine geeignete Stromrichtertopologie zu wählen, welche es erlaubt, trotz hoher effektiver Schaltfrequenz die einzelnen Leistungshalbleiter mit moderater Schaltfrequenz zu betreiben.

3.2 Stromrichtertopologien

Eine Reihe von Stromrichtertopologien ermöglichen es, durch eine hohe Anzahl an Ausgangsspannungsebenen eine hohe effektive Schaltfrequenz zu erzielen, wobei die einzelnen Leistungshalbleiter nur mit einer tiefen Taktfrequenz betrieben werden. Dies reduziert die Oberwellen, die vom Stromrichter in das Netz eingespeist werden und macht teilweise passive Filter überflüssig.

Traditionelle Beispiele dafür sind Stromrichter, deren Spannungslevel über Summiertransformatoren erzeugt werden. Ein modernes Beispiel dafür ist demgegenüber die MMC-Topologie (Modular Multilevel Converter), die in Abbildung 2 dargestellt ist. Je nach Anzahl der Module wird eine Ausgangsspannung erreicht, die der Sinusfunktion sehr nahe kommt.

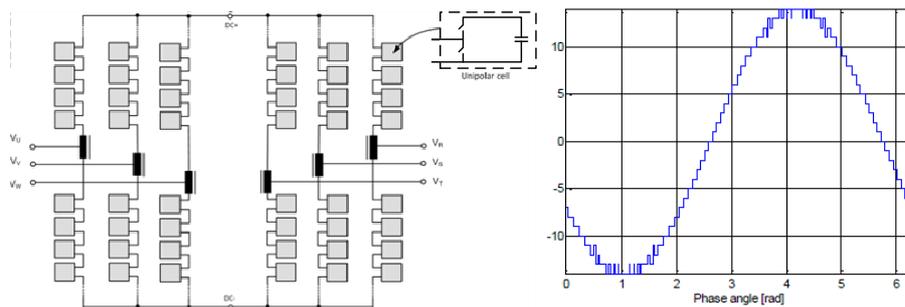


Abbildung 2: MMC Topologie (links) und Spannungsform mit einem Multilevel-Converter (rechts)

3.3 Halbleiterentwicklung

Dank Weiterentwicklung der Halbleiter in den letzten Jahren sind heute Spannungszwischenkreis-Frequenzumrichter im Bereich von 100 Megawatt (MW) oder mehr verfügbar.

Zudem sind in Zukunft Halbleiter zu erwarten, die dank sehr tiefer Schaltverluste den Stromrichterbetrieb mit sehr hohen Taktfrequenzen ermöglichen.

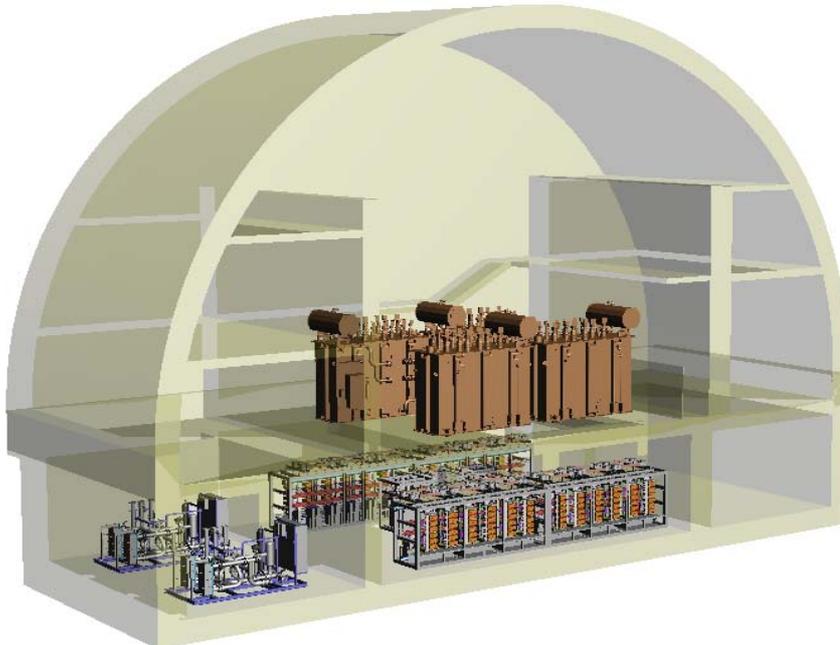


Abbildung 3: PCS 8000: 100 MW Frequenzumrichter für Pumpspeicherkraftwerk dank leistungsfähiger Halbleiter

3.4 Control-Geräte

Höhere Taktfrequenzen, effizientere Architektur und Multicore Design für Echtzeit-Anwendungen erlauben es, kompliziertere Regelalgorithmen flexibel umzusetzen. Dadurch werden aktive Filterung von Oberwellen in Spannung und Strom, aktive Beeinflussung der Ausgangsimpedanz des Stromrichters etc. möglich.

4 Fallbeispiele

Die folgenden drei Beispiele zeigen anhand von ausgeführten Projekten die Möglichkeiten und Problemstellungen der aktuellen Stromrichtertechnik auf.

4.1 Resonanz in Windpark

In ausgedehnten Kabel-Verteilnetzen, wie beispielsweise bei modernen Windparks verwendet, treten potenziell Resonanzen zwischen der Kabelkapazität und Transformatorimpedanzen auf. Abhängig von der Konfiguration des Windparks, d.h. von der Anzahl Stränge, die zugeschaltet sind, kann die Resonanzfrequenz stark variieren. Dies kann dazu führen, dass Stromrichter im Windpark diese Resonanz anregen.

Durch die Auswahl des Pulsmusters sowie durch die Analyse des Frequenzverhaltens eines Stromrichters kann die Resonanz bedämpft werden, wie das Beispiel eines STATCOMs (Static Compensator, statischer Blindleistungskompensator) in einem Windpark zeigt. Die Regelung des Stromrichters wurde so angepasst, dass sie sich im Bereich der Resonanzfrequenz dämpfend verhält. In Abbildung 4 wird die Spannung im Verteilnetz des Windparks mit und ohne STATCOM gezeigt. Die Auswirkungen der Resonanz sind im Zeit- wie auch im Frequenzbereich deutlich sichtbar, wenn der STATCOM nicht in Betrieb ist. Ist er jedoch angeschlossen, verschwindet die Spannungsverzerrung fast komplett.

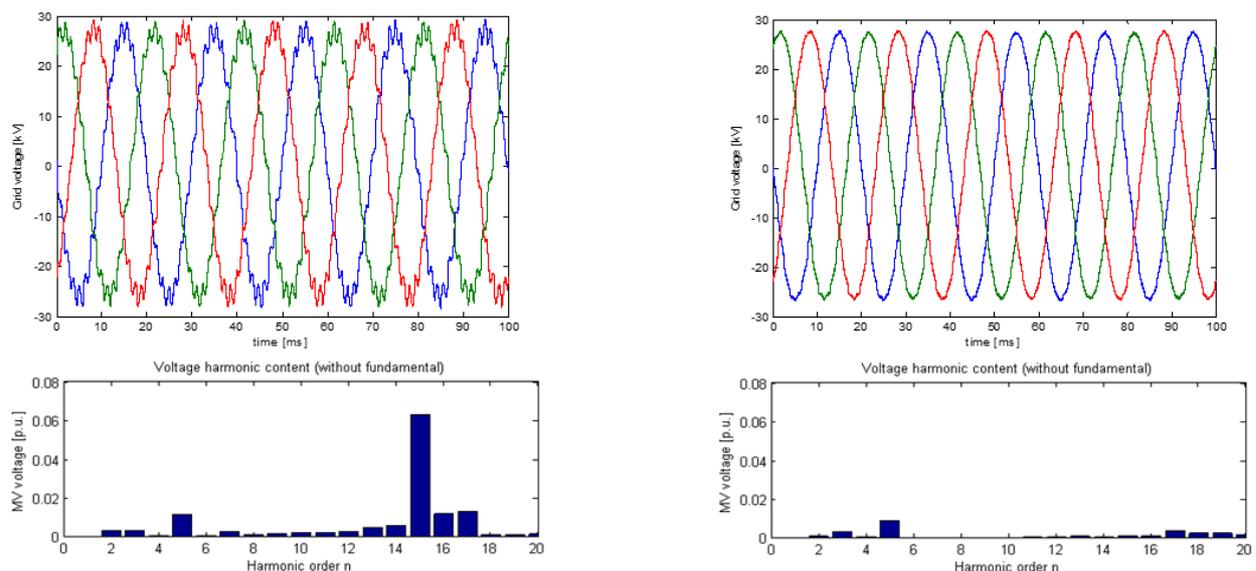


Abbildung 4: Zeitverlauf und Frequenzspektrum der Spannung in der Wind-Farm, ohne (links) und mit STATCOM (rechts)

4.2 Folgenreiche Netzimpedanz

Ausgeklügelte Optimierungsverfahren erlauben es, die Harmonischen am Ausgang eines Stromrichters, abgestimmt auf die Netzimpedanz, gezielt zu steuern. Um mit minimaler Taktfrequenz die Stromrichterverluste zu minimieren und trotzdem die Anschlussrichtlinien zu erfüllen, muss die Netzimpedanz bekannt sein.

So musste für einen Frequenzumrichter ein Filter umgerüstet werden, da sich im Verlauf des Projekts herausstellte, dass der Netzimpedanzverlauf in Funktion der Frequenz sich nicht so verhielt, wie ursprünglich angenommen. Nach der Umrüstung wurden die Richtlinien erfüllt, wie Abbildung 5 zeigt.

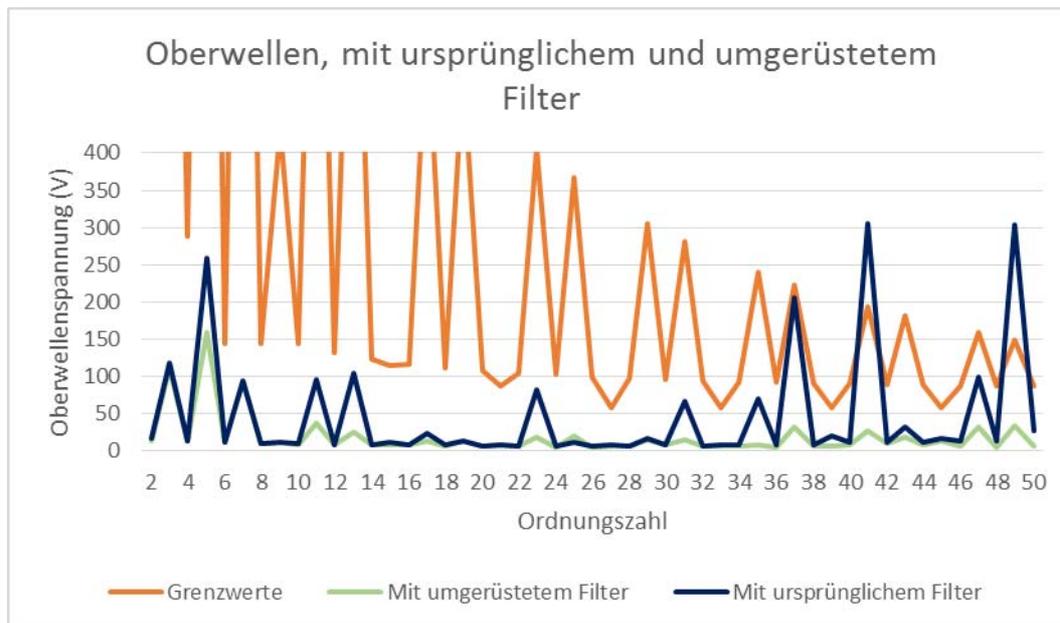


Abbildung 5: Gemessene Oberwellen im Netz, verglichen mit den Limiten, ursprüngliche Konfiguration und angepasste Konfiguration

4.3 Filterung von Oberwellen

Die Filterung von Stromharmonischen gehört heute fast schon zu den Funktionalitäten, die von Stromrichtern erwartet werden. Komplizierter ist die Filterung von Spannungsharmonischen, da der Einfluss des Stromrichters auf die Spannung von der Netzimpedanz abhängig ist.

Durch die Schätzung der Netzimpedanz in der Stromrichterregelung und die gezielte Einspeisung von Stromharmonischen ist es möglich, auch Spannungsharmonische aktiv zu reduzieren, wie Abbildung 6 zeigt.

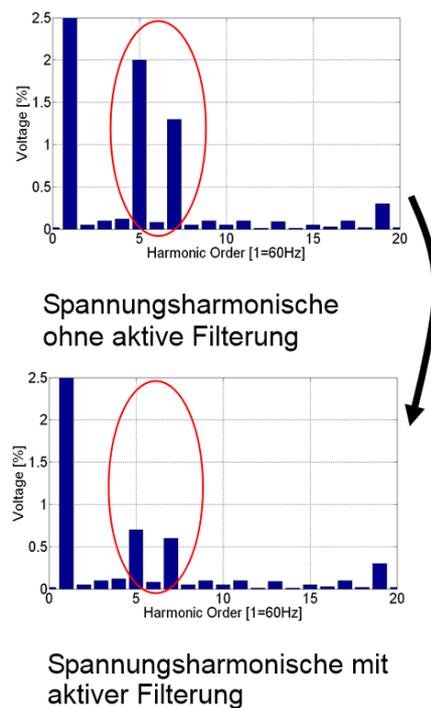


Abbildung 6: Aktive Filterung von Spannungsharmonischen durch einen STATCOM

5 Schlussfolgerung

Die oben genannten Beispiele zeigen, dass die Sicherstellung der Netzqualität eine sorgfältige Planung und Dimensionierung eines Stromrichters erfordert. Um eine optimale Auslegung und später den problemlosen Betrieb des Stromrichters zu ermöglichen, ist die rechtzeitige Verfügbarkeit der relevanten Netzdaten eine wichtige Voraussetzung.

Damit bieten moderne Stromrichter eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Netzqualität zu verbessern.

FKH - / VSE - Fachtagung

13. November 2014

Netzqualität in Übertragungs- und Verteilnetzen

Permanente Netzqualitätsmessungen in Übertragungs- und Verteilnetzen, Möglichkeiten, Grenzen, Praxisprobleme, Ausblick

Jürg Pargätzi
Parmeltec, Horn

1986-1990	Berufslehre als Elektromechaniker bei ABB in Örlikon
1990-1993	Studium Technikum Winterthur (Hochspannungs- und Antriebstechnik)
1994-1996	ABB Turgi (Bereich Kommunikationsnetze)
1996-2007	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG (Netzbetrieb)
2008-	PARMELTEC Mess- und Elektrotechnik GmbH (PowerQuality, Engineering)

Permanente Netzqualitätsmessungen in Übertragungs- und Verteilnetzen, Möglichkeiten, Grenzen, Praxisprobleme, Ausblick

Jürg Pargätzi
Parmeltec, Horn

1. Themen

Im Referat sollen Konzepte für permanente Netzqualitätsmessungen in Verteilnetzen aufgezeigt werden. Zudem werden Grenzen und Praxisprobleme aufgezeigt. Im Ausblick werden mögliche Entwicklungen und Praxis-Anforderungen formuliert.



Permanente Netzqualitätsmessungen in Übertragungs- und Verteilnetzen

**Möglichkeiten, Grenzen,
Praxisprobleme - Ausblick**

von Jürg und Ernst Pargätzi

PARMELETC
Mess- und Elektrotechnik GmbH
Beim Bahnhof 48, CH-7027 Lünen
Tel. +41 81 330 60 15, Fax +41 81 330 60 16
info@parmeltec.ch, www.parmeltec.ch

Folie 1



Branchendokumente als Grundlage

- Im Distribution Code Schweiz, den Technischen Bestimmungen zu Anschluss, Betrieb und Nutzung des Verteilnetzes wird eine Empfehlung betreffend permanenter Netzqualitätsmessungen abgegeben.

4.10. Störungsanalyse, Verfügbarkeitsstatistik und Spannungsqualität

- (1) Die VNB erfassen und analysieren systematisch die Störungen und deren Ursachen in ihrem Netz. Sofern notwendig, stellen sich der ÜNB, die VNB und die UNE die für die Störungsanalyse notwendigen Daten gegenseitig zur Verfügung.
- (2) Aus der Auswertung der Ergebnisse der Störungsanalysen haben die VNB geeignete Massnahmen zur Vorbeugung, Erkennung, Abwendung und Beseitigung zukünftiger Störungen abzuleiten.
- (3) Der VNB hat eine Statistik über wesentliche Verfügbarkeitskenngrössen nach den Vorgaben des VSE zu führen. Der VNB stellt diese jährlich bis Ende Mai des Folgejahres für die vom VSE verwaltete Verfügbarkeitsstatistik zur Verfügung und stellt sie auch Netznutzern auf Anfrage zur Verfügung. In der Verfügbarkeitsstatistik sind mindestens die Angaben zu Art, Dauer und Umfang von Versorgungsunterbrüchen je Spannungsebene zu erfassen, wobei zwischen geplanten und ungeplanten Versorgungsunterbrüchen zu differenzieren ist.
- (4) VNB, die regionale oder überregionale Verteilnetze (Netzebene 5 bzw. 3) betreiben und mindestens 2000 Endverbraucher direkt oder indirekt versorgen, haben insbesondere aussagekräftige Kennzahlen zum Vergleich mit den Zielwerten gemäss Unterkapitel 3.5, Ziffer (7) zu ermitteln und auf Anfrage zur Verfügung zu stellen.
- (5) Auf Grundlage der von den VNB erhaltenen Daten veröffentlicht der VSE jährlich eine Gesamtstatistik der Versorgungsverfügbarkeit in anonymisierter Form. Die einzelnen Werksdaten bleiben in der Verantwortung der jeweiligen VNB.
- (6) Die VNB messen und dokumentieren die Spannungsqualität (in Anlehnung an SN 50160) in regionalen Verteilnetzen (Netzebene 5) an geeigneten Standorten dauernd. Sie geben die Informationen auf Anfrage von betroffenen Netznutzern bekannt.
VNB, die lokale Verteilnetze (Netzebene 7) mit mindestens 2000 angeschlossenen Endverbraucher versorgen, dokumentieren die Spannungsqualität nach SN 50160 einmal im Jahr während mindestens einer Woche an ausgewählten Standorten. Für unterschiedliche Gebiete sollte je eine Messung durchgeführt werden.

Empfehlungen für permanente
Messungen auf der
Mittelspannungsebene

Folie 2

Was ist die geeignete Stelle?

- In der Praxis bewähren sich Unterwerkseinspeisungen oder Mittelspannungseinspeisungen als geeignete Messstellen.
 - In Unterwerken werden wenn, möglich die Spannungs- und Stromwandler in den Trafefeldern mit einer PQ-Messung ausgerüstet. – So ist garantiert, dass alle belieferten Sammelschienen auch gemessen werden.
 - In Mittelspannungseinspeisungen wird üblicherweise die die Verrechnungsmessung für die PQ-Messung «verdoppelt»
- Problem «Wandler»-Hoheit !!!

Folie 3

Was bedeutet Wandlerhoheit?

- Neben technischen Aspekten sind insbesondere Stromwandler funktional «hoheitlich» geschützt.
 - Schutzwandler dienen ausschliesslich dem Netzschutz. «Fremde» Geräte in diesem Wandlerkreis können die Verfügbarkeit der Schutzfunktionen negativ beeinflussen.
 - Verrechnungswandler haben starken finanziellen Charakter. Auch in diesen Wandlerkreisen sind «fremde» Geräte unerwünscht.
- Konsequenz
 - Neuanlagen mit einem zusätzlichen Messkreis ausstatten
 - Verzicht auf ARON-Schaltung
 - Alternative Messmethoden in Betracht ziehen
- Die Mitbenützung von Spannungswandlern für Power Quality ist in der Regel kein Problem

Folie 4

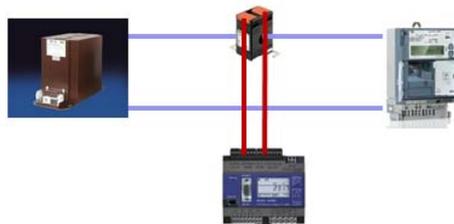
Relevanz der Strommessung

- Die Strommessung wird in Bezug auf die Messqualität vielfach überbewertet, den Power-Quality ist eigentlich vorwiegend ein «Spannungsproblem»
- Die Strommessung dient in der Power-Quality im Wesentlichen als Mittel zum Zweck, das heisst über die Strommessung können Ursachen von Spannungsqualitätsproblemen ermittelt werden
 - Diese Umstand ist aber vorwiegend bei Messungen an Verbrauchern relevant (z.B. Oberschwingungsemissionen)
 - Bei permanenten Messungen auf der Mittelspannungsebene, sind die Stromamplituden der PQ Grössen erfahrungsgemäss aber sehr klein.
- Obwohl die Strommessung bei PowerQuality eine untergeordnete Bedeutung hat, soll man trotzdem nie darauf verzichten!

Folie 5

Alternative Strommessmethoden

- Als alternative Strommessmethoden können eingesetzt werden:
 - Zusätzliche Kabelumbauwandler einbauen – auf richtige Behandlung der Schirme achten
 - Zusätzliche Durchsteckstromwandler 25:5A in vorhandene Kreise einbauen und bestehenden 5A Messkreis «durchstecken». Dadurch wird eine bestehende Übersetzung nochmals übersetzt. (Bsp. 150:5 Messkreis mit 25:5 → $\ddot{U} = 150$)



- Messung über Stromzangen im 5A Messkreis → Leider verfügen die meisten PQ-Messgeräte immer noch über Strommesseingänge – Stromzangen haben aber meist Spannungsausgänge.

Folie 6

Thematik «Frequenzabhängigkeit der Wandler»

- Grundsätzlich sind induktive Wandler für eine Nennfrequenz fr ausgelegt.
- Gemäss «Ritz» haben folgende Parameter einen Einfluss auf den Frequenzgang von Spannungswandlern
 - Betriebsspannung
 - Bebürdung
 - Umgebungstemperatur
- Gemäss «Ritz» ist bei einem 20kV Wandler bis 2.5kHz der Messfehler < 6%
- Bei Stromwandler beträgt der Messfehler allgemein bis 10kHz < 6%
- Quelle:
 - http://www.ritz-international.com/fileadmin/pictures/download/kataloge/deutsch/RITZ-Frequenzabhaengiges_Uebertragungsverhalten_von_Strom-und_Spannungswandlern_GER_Rev_Jan_2012.pdf

Folie 7

Praxisfazit «Frequenzabhängigkeit»

- Momentan müssen wir davon ausgehen, dass grundsätzlich alle gleich falsch messen.
- Eine Überreaktion in Bezug auf die Anforderungen halten wir aber als völlig unangemessen, weil ...
 - ... auf der Verteilnetzebene üblicherweise im Bereich der harmonischen Spannungen und Ströme kaum Grenzwertüberschreitungen vorkommen
 - ... falls nötig das ganze auch mit «korrigierten» Grenzwerten praxistauglich gelöst werden kann.
- Eine Kalibrierung der Messgeräte auf die Übertragungsfunktion der Wandler wurde in Deutschland von einigen Herstellern bereits implementiert. Die Einführung in der Praxis aber wieder verworfen!
- Für die Ermittlung von Trend's sind die aktuellen Wandler absolut genügend !!!

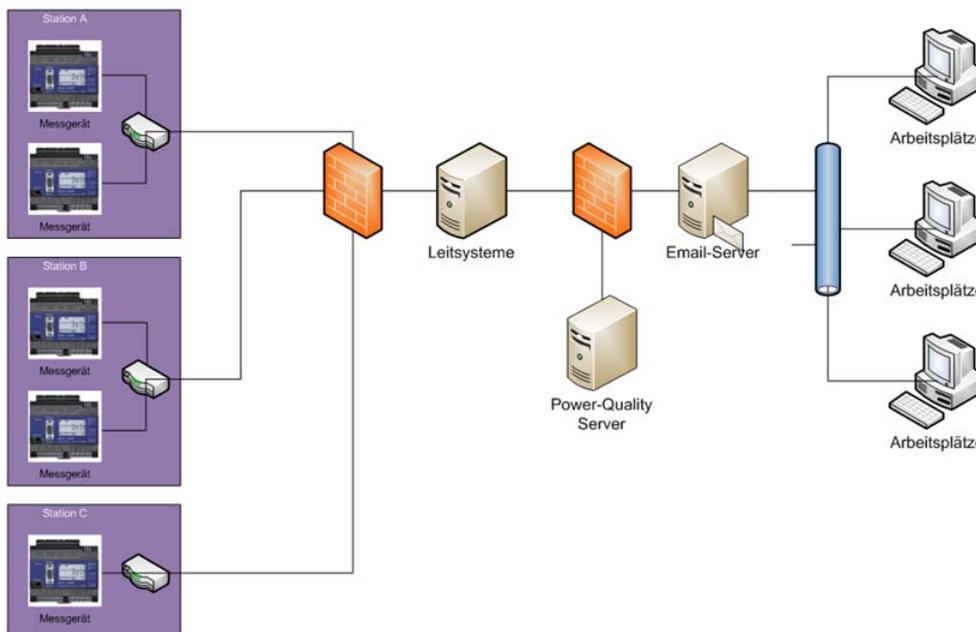
Folie 8

Softwareinfrastruktur

- Um permanente Netzqualitätsmessungen effizient Auswerten zu können, ist eine Softwareinfrastruktur nötig, welche folgende Aufgaben erfüllt:
 - Periodische Auswertung nach geltenden Normen (EN50160 Berichte)
 - Benachrichtigung bei Spannungsereignissen
 - Allenfalls Überwachung von Grenzwerten
 - Langzeitarchivierung der Messdaten um negative Trends zu erkennen
 - Integration/Vergleich von mobilen Messungen
- Praxiserfahrung:
 - Grenzwertverletzungen nach EN50160 auf der Mittelspannungsebene sind äusserst selten
 - Auf der Mittelspannungsebene ist aber mit ca. 50-100 Spannungsereignissen pro Jahr zu rechnen
 - Entscheidende «Pegelländerungen» in Form von Sprüngen (z.B. Plötzliche Erhöhung einer Spannungsharmonischen liegen teilweise weit in der Vergangenheit)

Folie 9

Prinzipschema einer PQ-Infrastruktur



Folie 10

Funktionsbeschreibung

- Die Netzqualitätsmessgeräte zeichnen autonom die Netzqualitätsparameter dezentral auf
- Die Netzqualitätsmessgeräte werden über Ethernet an das Unternehmensnetzwerk unter Berücksichtigung der IT-Sicherheitsrichtlinien angebunden.
- Der Power-Quality Server lädt zyklisch die Daten von den PQ Messgeräten und wertet diese periodisch aus.
- Registrieren PQ-Messgeräte «Ereignisse», so erfolgt eine Benachrichtigung an den PQ-Server oder das Leitsystem. Der PQ-Server überträgt dann die Daten von den Messgeräten, wertet diese aus und benachrichtigt über Email die entsprechenden Benutzer.
- Sämtliche Langzeitdaten können durch geschulte Mitarbeiter von Hand ausgewertet werden.
- Die Zeitsynchronisierung erfolgt über das NTP Protokoll

Folie 11

Periodische Auswertung

- Periodische Auswertungen beinhalten:
 - Übersicht Power-Quality
 - Statistische Auswertungen (95% Werte)
 - Zeitverläufe (z.B. Flicker, Spannung)
 - Ereignisse
- Üblicherweise wird gemäss EN50160 jeweils 1 Wocheintervall ausgewertet
- Bei permanenten Messungen macht in der Praxis eine Auswertung pro Monat mehr Sinn.

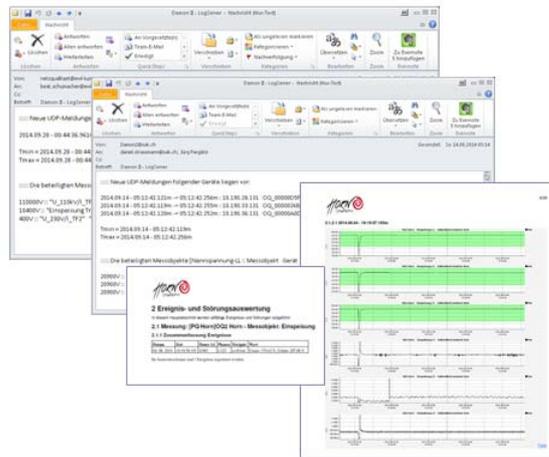


Folie 12

Ereignisauswertung

- Die Ereignisbenachrichtigung beinhaltet folgende Informationen:

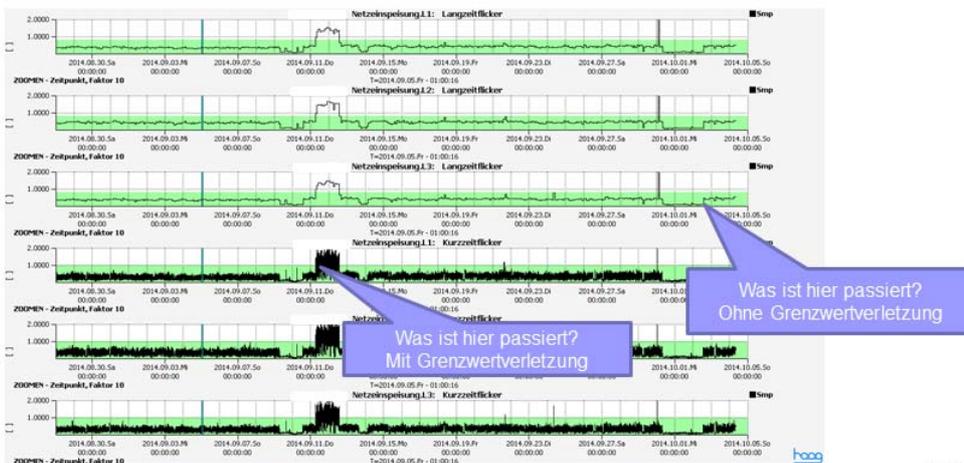
- Welche Stationen haben ein Ereignis detektiert
- Auf welcher Spannungsebene wurde das Ereignis detektiert
- Information über die Art und Dauer des Ereignisses
- Störschriebe mit Spannungs- und Stromverlauf als Halbwellentransiente



Folie 13

Manuelle Auswertung

- Ziel der manuellen Auswertung ist es insbesondere «plötzliche» Veränderungen von PQ-Größen festzustellen.
- In vielen Fällen sind diese Veränderungen nicht an Grenzwertverletzungen geknüpft.



Folie 14

Permanente Messungen / Trends

- Auch in der Industrie werden permanente Netzqualitätsmessungen vermehrt an den Übergabestellen zu den Netzbetreibern installiert
 - Netzqualitäts-Ereignisse führen in vielen Fällen zu Produktionsausfällen
 - Permanente Messungen haben den Vorteil, dass jederzeit überwacht wird und nicht punktuell nach einem Problem gesucht wird
 - Permanente Messungen kosten in aller Regel nicht mehr, wie punktuelle Messungen von Messdienstleistern
- Dies führt dazu, dass der Kunde vor dem Netzbetreiber über ein Ereignis Bescheid weiss und diesen kontaktieren kann
- Dieser Umstand ist in der Schweiz relativ neu, wird aber von den Messdienstleistern unterstützt.

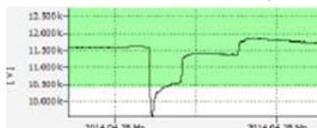
Folie 15

Praxisproblem am Beispiel

- Am 28.4.2014 um 03:01:48h wurde ein Vorfall auf der 400V Ebene registriert. Dieser Vorfall hat zu einem Start des Notstromaggregates geführt



- Selbstverständlich haben sich die Verantwortlichen bei den Netzbetreibern über den Vorfall erkundigt. Viele Netzbetreiber hatten von diesem Vorfall aber keine Kenntnis, weil sie selbst keine permanente PQ-Infrastruktur betreiben.
- Auf der MS Ebene sah der gleiche Vorfall an einem ganz anderen Ort in der Schweiz wie folgt aus. Es ist offensichtlich, dass es sich um den gleichen Vorfall handelt



- Nach diversen Rückfragen auf höchster Ebene durch alle Instanzen konnte die Ursache dieses Vorfalles auf einen Kurzschluss in einem Deutschen Unterwerk auf der 380kV Ebene gefunden werden.

ELS Steuerung Hand. Gemäss Info Swissgrid, Spannungseinbruch im D/CH Übertragungsnetz. Grund: Sammelschiene 3 in UW Kühmoos D Störung.

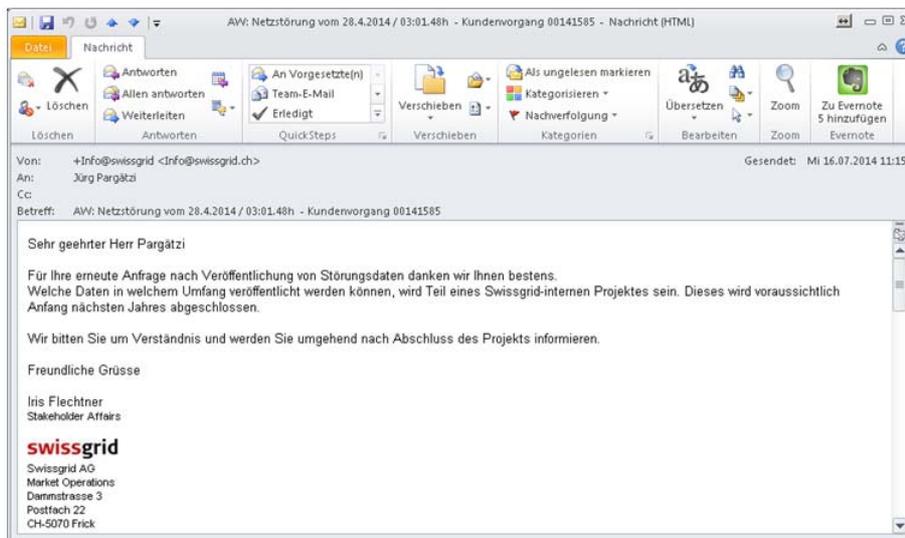
Folie 16

Ausblick / Wunsch

- Der Vorfall vom 28.4.2014 zeigt auf, dass sie viele PQ-Ereignisse von der Quelle (europäischer Verbund) bis zur Steckdose auswirken.
- Erfahrungsgemäss sind 50-100 Ereignisse pro Jahr an der «Steckdose» feststellbar
 - 95% dieser Ereignisse haben eine Dauer < 200ms und haben ihre Ursache in den Netzebenen 1 bis 3
 - 5% der Ereignisse haben eine Dauer > 200ms < 1.5s und haben ihre Ursach in der Netzebene 5
 - Diese Werte sind persönliche Abschätzungen. In keiner Norm sind entsprechende Kennzahlen aufgeführt.
- Über die Ereignisse der Netzebenen 1 bis 3 gibt es keine «öffentliche» Dokumentation. Informationen sind nur über komplizierte Wege zu erhalten.

Folie 17

Zukunft? – Ohne Worte



AW: Netzstörung vom 28.4.2014 / 03:01.48h - Kundenworgang 00141585 - Nachricht (HTML)

Von: +Info@swissgrid <Info@swissgrid.ch>
An: Jürg Pargätzi
Cc:
Betreff: AW: Netzstörung vom 28.4.2014 / 03:01.48h - Kundenworgang 00141585

Gesendet: Mi 16.07.2014 11:15

Sehr geehrter Herr Pargätzi

Für Ihre erneute Anfrage nach Veröffentlichung von Störungsdaten danken wir Ihnen bestens. Welche Daten in welchem Umfang veröffentlicht werden können, wird Teil eines Swissgrid-internen Projektes sein. Dieses wird voraussichtlich Anfang nächsten Jahres abgeschlossen.

Wir bitten Sie um Verständnis und werden Sie umgehend nach Abschluss des Projekts informieren.

Freundliche Grüsse

Iris Flechtner
Stakeholder Affairs

swissgrid
Swissgrid AG
Market Operations
Damnstrasse 3
Postfach 22
CH-5070 Frick

Folie 18

Vision

- Die Netzqualität wird im wesentlichen durch Ereignisse geprägt!
- Vielleicht kann zukünftig ein Gefäß bereitgestellt werden, in welchem Ereignisse «ortsbezogen» «anonymisiert» publiziert werden können.
- Ziel ist ganz klar einer bessere und schnellere Information des Kunden.



Folie 19

Einige Betreiber permanenter PQ-Messungen



Folie 20

Referentenadressen

Brügger, Dr.	Thomas	Fachkommission für Hochspannungsfragen FKH Voltastrasse 9 8044 Zürich	bruegger@fkh.ch Tel.: +41 44 253 62 68 Fax: +41 44 253 62 60
Holenstein	Hansjörg	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen Hintere Bahnhofstrasse 10 5001 Aarau	hansjoerg.holenstein@strom.ch Tel.: +41 62 825 25 35 Fax: +41 62 825 25 26
Meyer, Dr.	Jan	Technische Universität Dresden Institut fuer Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik D- 01062 Dresden	jan.meyer@tu-dresden.de Tel.: Tel.: +49 351 463 35102 Fax.: +49 351 463 37036
Meyer, Dr.	Markus	emkamatik GmbH Rebbergstrasse 20a 5430 Wettingen	markus.meyer@emkamatik.com Tel.: +41 79 460 61 49
Pargätzi	Jürg	PARMELTEC Mess- und Elktrotechnik GmbH Gartenstrasse 1b 9326 Horn	jürg.pargaetzi@parmeltec.ch Tel.: +41 71 340 03 63 Fax: +41 71 340 03 64
Steinmann	Christoph	ewz Verteilnetze Tramstrasse 35 8050 Zürich	christoph.steinmann@ewz.ch Tel.: +41 58 319 43 34 Fax: +41 58 319 41 84
Thurnherr	Tobias	ABB Schweiz AG Leistungselektronik & MS-Antriebe Austrasse Postfach 5300 Turgi	tobias.thurnherr@ch.abb.com Tel.: +41 58 589 35 76
Vollenwyder	René	SBB AG Industriestrasse 1 3052 Zollikofen	rene.vollenwyder@sbb.ch Tel.: +41 52 220 12 69 Fax: +41 51 220 66 18

Internetseite für nachträgliche Informationen zur Fachtagung

Internetseite: <http://46.140.26.42/>

Benutzername: FT2014

Passwort:
(wird anlässlich der Tagung angegeben)

Die Gross-/Kleinschreibung muss bei der Eingabe des Benutzernamens und des Passwortes berücksichtigt werden.

Bei der Benutzung des Microsoft Internet-Explorers Version 7.0 muss die Freigabe zum Download aus Web-Seiten vor dem Aufruf des FKH-Fileservers erfolgen, sonst tritt ein Fehler auf. Bei allen anderen Versionen und Browsern kann der Download auch bei Rückfrage des Browsers noch bestätigt werden.

