

# Power Quality

## Zukünftige Herausforderungen durch neue Technologien

iba Tag  
Fürth, 9. Juni 2018

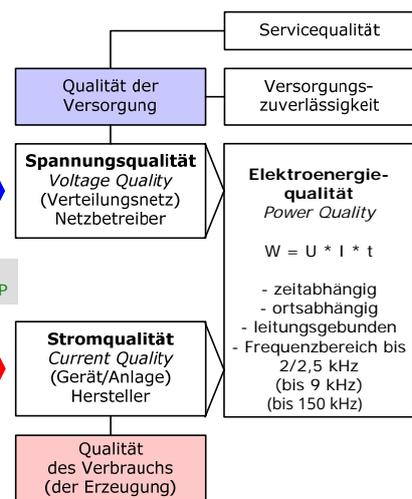
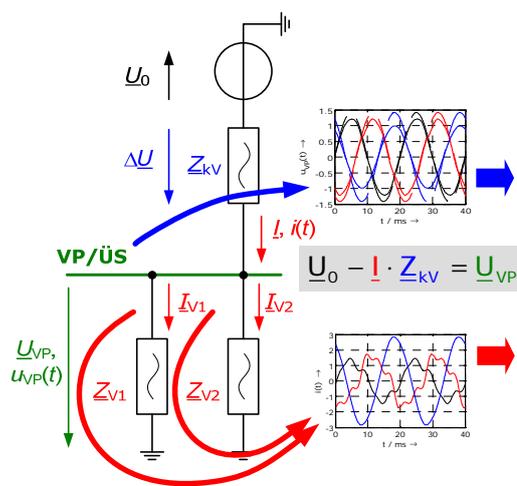
Was ist Qualität ?



Merkmale ... ausgedrückt durch ... Referenzwerte

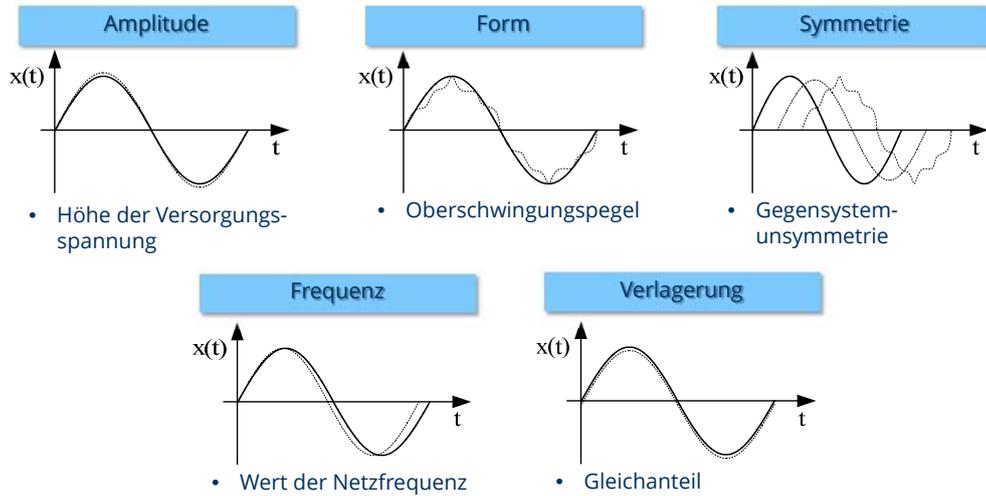
### Grundlagen

#### Was sind Netzurückwirkungen ?



## Grundlagen

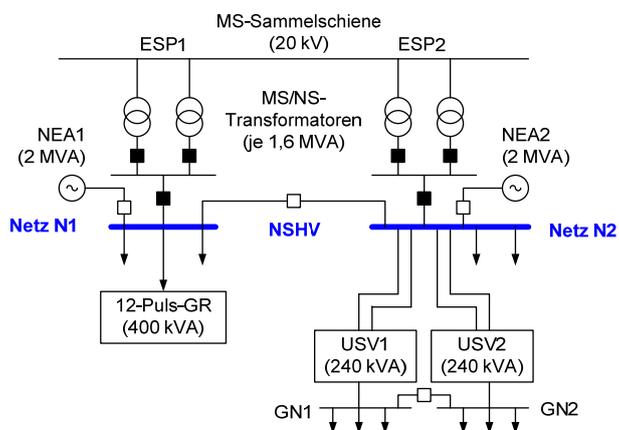
### Wichtige Qualitätsmerkmale



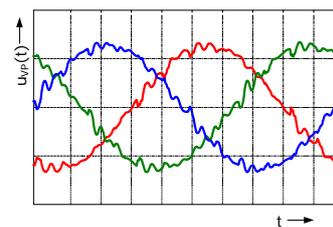
## Grundlagen

### Beispiel zum Einfluss der Kurzschlussleistung

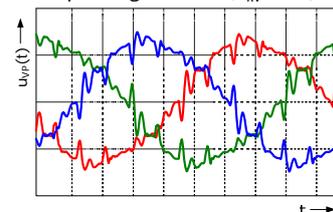
- Messungen an der NS-Sammelschiene eines Industriekunden (näherungsweise konstanter Abnahme)



Speisung aus MS ( $S_{KV}$  groß)



Speisung aus NEA ( $S_{KV}$  klein)

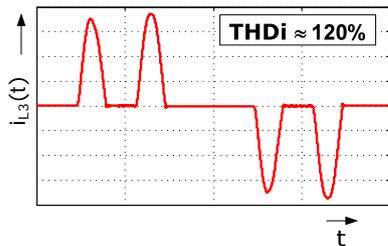


## Grundlagen

### Beispiel zum Einfluss der Gerätetechnologie

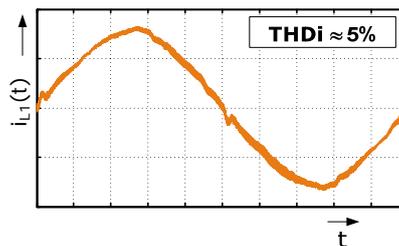
#### Ladegleichrichter mit klassischer Gleichrichtung

- Hoher Anteil an Verzerrung kleiner 2 kHz
- Praktisch keine Verzerrung größer 2 kHz



#### Ladegleichrichter mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur

- Deutliche Reduktion der Verzerrung kleiner 2 kHz
- Erhebliche Verzerrung größer 2 kHz (Schaltfrequenz bei 45 kHz)



## Grundlagen

### Elektromagnetische Verträglichkeit (IEC 61000)

#### Definition gemäß IEC

Die Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in ihrer/seiner elektromagnetischen Umgebung **zufriedenstellend** zu **funktionieren**, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, **unzulässig** zu **beeinflussen**.

#### Gesetzlich geregelt durch

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

- Erfordernis der Koordinierung von **Störfestigkeit** und **Störaussendung** auf Basis von Verträglichkeitspegeln
- Einhaltung relevanter Normen der Serie IEC 61000  
-> Konformitätsvermutung -> CE-Kennzeichnung

Angemessen hohe Störfestigkeit



Verträglichkeitspegel



Angemessen niedrige Störaussendung

## Grundlagen

### Produktqualität (EN 50160)

*Gesetzlich geregelt durch*

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

*EN 50160 ist einzuhalten*

- unter normalen Betriebsbedingungen an jeder **Übergabestelle** zwischen öffentlichem Netz und Kundenanlage

*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

## Herausforderungen

### Überblick ausgewählter Herausforderungen

#### Geräte- bzw. Anlagenseite

- *Neue, energieeffiziente Gerätetechnologien:*  
Tendenz einer Verschiebung der Emission zu höheren Frequenzen;  
Stabilitäts durch Reglerinteraktionen
- *Zunehmende Unterschiede in der Sensitivität von Geräten:*  
„Passfähigkeit“ der EMV-Koordination

#### Netzseite (industrielle und öffentliche Netze)

- *Veränderungen im Betriebsregime:*  
Zunehmende Variabilität der Kurzschlussleistung
- *Zunahme von Geräten mit kapazitiver Charakteristik:*  
Tendenz zu Resonanzen bei niedrigeren Frequenzen

#### Messung und Überwachung

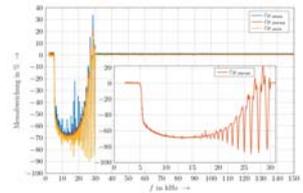
- *„Rasante“ Verbesserung der Monitoring-Möglichkeiten (mehr Messgeräte, größere Datenmengen)*  
Effiziente und automatisierte Methoden der Datenanalyse und Visualisierung;  
Extraktion möglichst vieler, nutzbringender Informationen;  
Ableitung von Handlungen/Aktionen (Aktives Power Quality Management)

## Herausforderungen – Emission bei höheren Frequenzen

### Auswirkungen

- Unerwünschte Geräusche durch mechanische Resonanzen (z.B. in Schaltnetzteilen, Herdplatten, Ladegeräten von Elektrofahrzeugen)
- Reversible Funktionsstörungen an Geräten, vornehmlich mit Touchbedienung (z.B. Kochfelder, Touchdimmer-Lampen, ...)
- Fehlerhafte Energiezählung durch Smartmeter
- Zusätzliche thermische Belastung von Bauelementen (z.B. Zwischenkreiskondensatoren in Energiesparlampen)
- Störende Beeinflussung von Schmalband PLC-Kommunikation

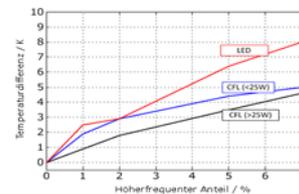
Zählerbeeinflussung



Akustische Geräusche



Temperaturerhöhung



## Herausforderungen – Emission bei höheren Frequenzen

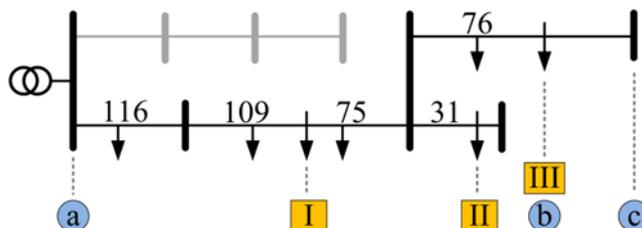
### Beispiel: Ausgangssituation

- Kleinstadt mit ca. 7000 Einwohnern
- Plötzlich auftretende Kundenbeschwerden:
  - I. Kaffeemaschine mahlt Kaffee, gibt aber nur heißes Wasser
  - II. Haartrockner beim Friseur schalten unwillkürlich (40x/Tag)
  - III. Steuerung einer CNC-Fräse zeigt Fehlfunktionen
  - ? Unangenehme Geräuschentwicklung bei einem LCD-TV

Messung gemäß EN 50160 durch Netzbetreiber:  
**Spannungsqualität ok**



Zusätzliche Messung mit erweitertem Frequenzbereich (bis 40 kHz)

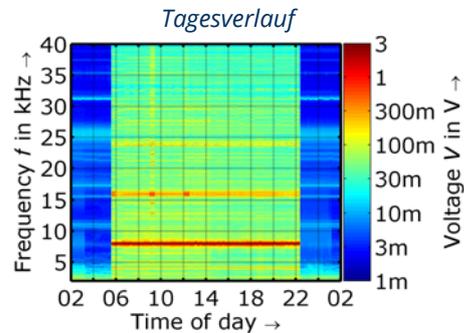
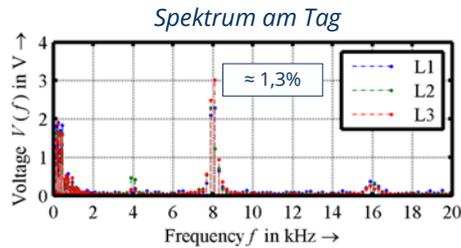


Messorte:

- a) NS-Sammelschiene
- b) Anschlusspunkt der CNC-Fräse
- c) Verteilerkasten am Abgangsende

## Herausforderungen – Emission bei höheren Frequenzen

Beispiel: Messergebnisse und Ursache



- Messung ergab hohe Pegel bei 8 kHz
- Verträglichkeitspegel von  $u = 0,7\%$  deutlich überschritten
- Emission nur wochentags zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr

Ursache ist der ungefilterte Umrichter der CNC-Fräse

## Herausforderungen – „Passfähigkeit“ der EMV Koordination

Ausgangssituation

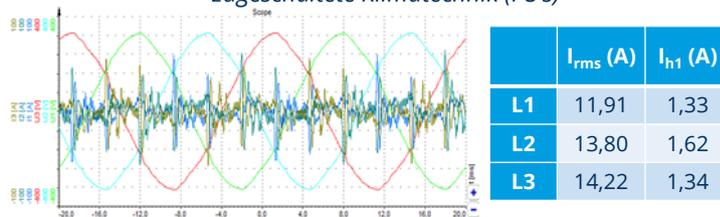
- 20-kV-Werksring (offen betrieben) mit 5 Stationen (je Station zwei MS/NS Transformatoren mit je 1 MVA)
- Gehäufte Ausfälle von USV-Anlagen
  - Kleinere Anlagen von ca. 2 kVA
  - Große Anlage von 200 kVA



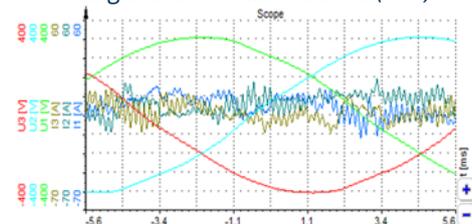
zerstörter Zwischenkreis-kondensator

Strom-/Spannungsverläufe zur großen USV Anlage

zugeschaltete Klimatechnik (FU's)

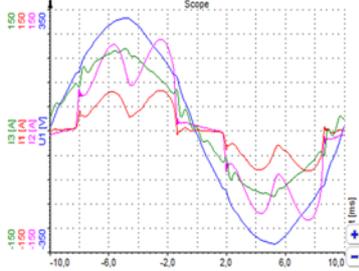


abgeschaltete Klimatechnik (FU's)

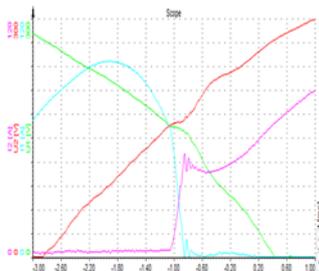


## Herausforderungen – „Passfähigkeit“ der EMV Koordination Ursache und Lösung

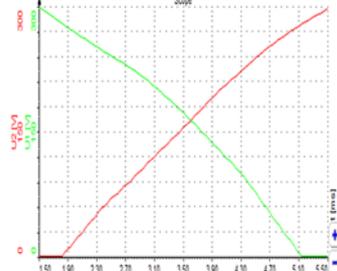
Strom-Momentanwertverläufe  
verschiedener Abgänge (L1)



Ausschnitt der Momentanwert-  
verläufe  $u, i$  (L1, L2) mit FU's



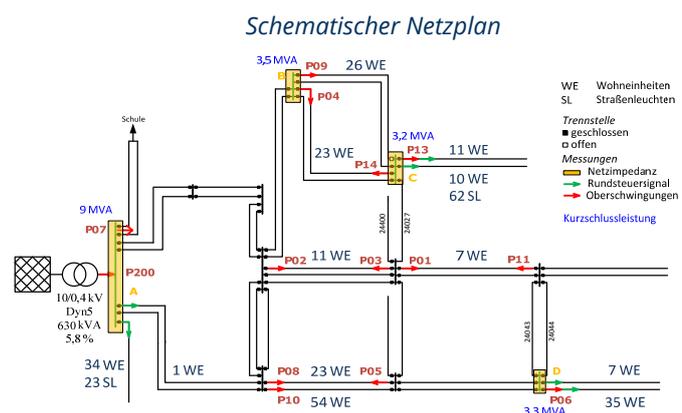
Ausschnitt der Momentanwert-  
verläufe  $u, i$  (L1, L2) ohne FU's



- Momentanwertabweichung durch gleichzeitige „Kommutierung“ der Eingangsgleichrichter der FUs
- Lösung: Zusätzliche Längsinduktivität im Abgang zur USV
- Sachgerechte Spezifikation und Umsetzung der Anforderungen an die Störfestigkeit

## Herausforderungen - Netzresonanzen Ausgangssituation

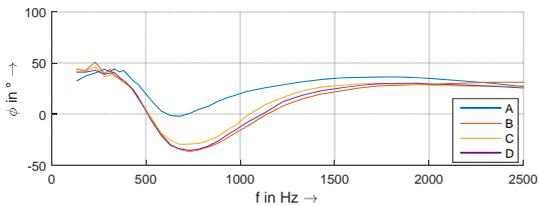
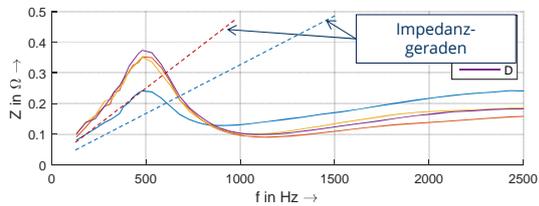
- Neu geplantes und gebautes Niederspannungsnetz (Neubau vor ca. 10 Jahren)
- Wohngebiet mit ca. 430 Wohneinheiten
- Sehr hohe Rundsteuerpegel
- Hohe Pegel im Bereich zwischen 9. und 15. Spannungsharmonischer
- Sprunghafte Änderungen der Pegel einzelner Spannungsharmonischer bei Schaltung der Straßenbeleuchtung



## Herausforderungen - Netzresonanzen

### Messergebnisse

Frequenzabhängige Netzimpedanz an vier verschiedenen Anschlusspunkten



- Ausgeprägte Parallelresonanz bei ca. 500 Hz (Serienresonanz aus Sicht des MS-Netzes)
- Überhöhung um ca. 1,5 im Resonanzmaximum
- Ursache: Vielzahl verteilter Filterkreis-Kondensatoren in Kleingeräten

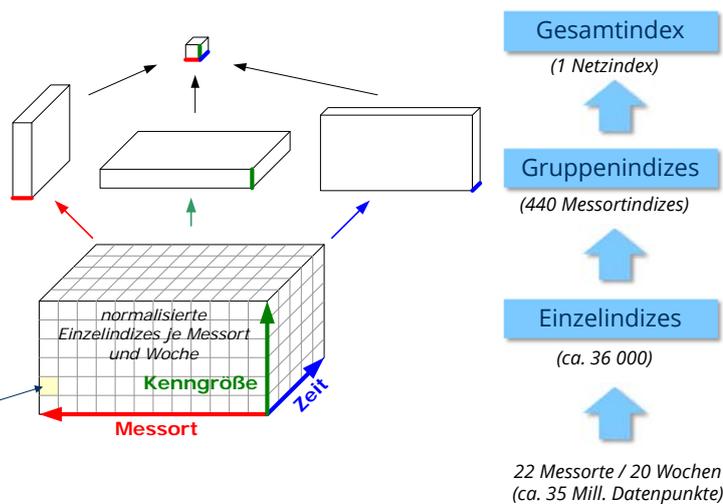
## Herausforderungen - Datenanalyse

### Konzept

- Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Qualitätskenngrößen, Messorten und Netzen
- Direkte Proportionalität zwischen Einzelindex und vorhandener Qualitätsreserve
- Einfach interpretierbare und übersichtliche Indizes, insbesondere im Falle einer hohen Messortanzahl (u.a. „Ampelprinzip“)

Jeder Einzelindex entspricht dem gemäß einer gewünschten Norm zu bewertendem Wert

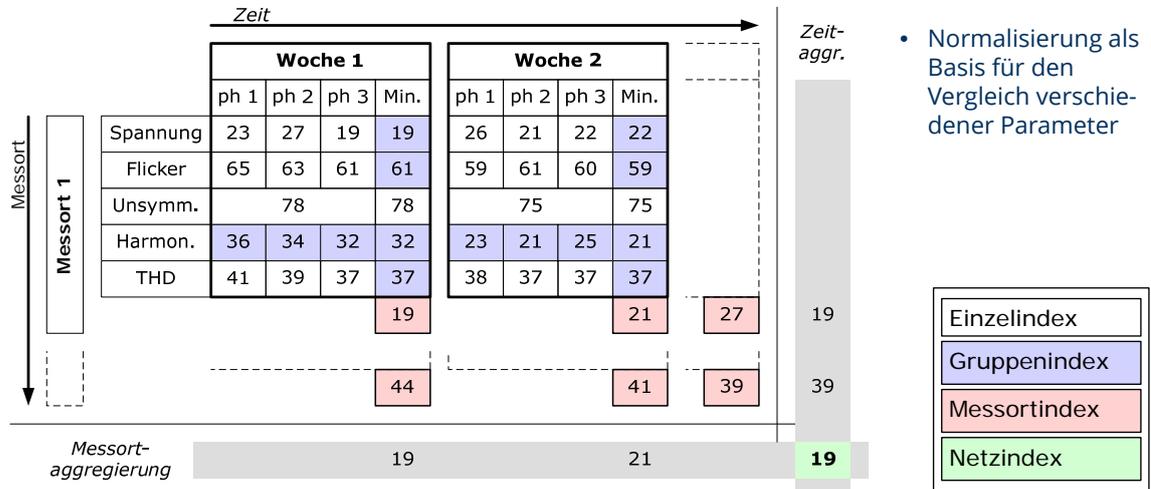
(z.B. 95%-Quantil einer Woche gemäß EN 50160)



22 Messorte / 20 Wochen  
(ca. 35 Mill. Datenpunkte)

## Herausforderungen - Datenanalyse

### Berechnungsbeispiel

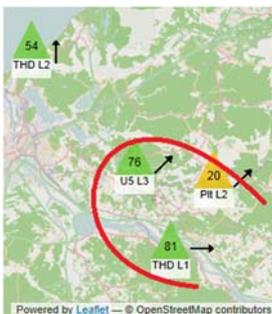


## Herausforderungen - Datenanalyse

### Darstellungsbeispiele

- Graphische oder tabellarische Darstellung (z.B. hohe Aggregation für Netzware)
- Konsequente Nutzung der Vorteile webbasierter Anwendungen

Messortindizes im GIS (flexible Zoomstufen)

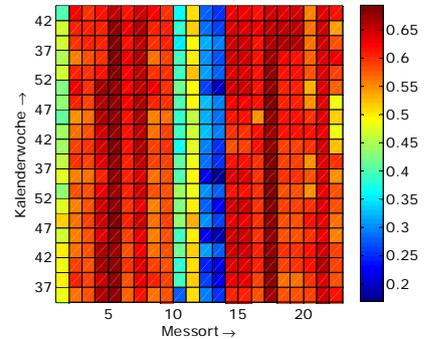


Rangliste zur einfachen Feststellung bester/schlechtester Kenngrößen

	PQ-Index 95	PQ-Index 99	PQ-Index 100
RMS L12 mean	76,99	73,61	67,23
RMS L21 mean	76,26	72,12	66,85
RMS L31 mean	73,74	69,75	64,35
THD L12 mean	27,5	21,5	13
THD L21 mean	22	8,83	3,33
THD L31 mean	35,33	25,33	22

- Interpretation ist auch für nicht in Power Quality versiertem Personal einfach möglich

Farbige Visualisierung u.a. von zeitlichen Änderungen



## Herausforderungen - Datenanalyse

### Anwendungsbeispiel

- Analyse des Schweizer PQ-Messprogramms
- 707 Wochenmessungen an 590 verschiedenen Orten (NS)

- Klassifizierung der Messorte nach:

Kundentyp:		Netztyp	
Wohnbebauung:	38,8 %	Städtisch:	60,5 %
Gemischt:	36,9 %	Ländlich:	38,5 %
Gewerbe:	14,6 %	Berg:	1 %
Landwirtschaft:	6,6 %		
Tourismus:	3,1 %		

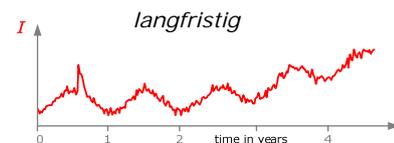
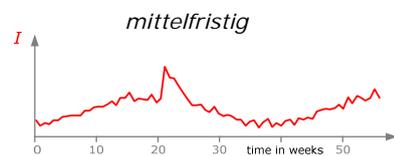
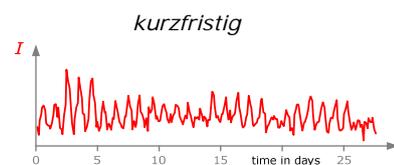
Minimale Qualitätsreserve  
(Keine Messung ist schlechter als ...)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
RMS	54	54	55	50	33	49	43	33
THD	62	65	71	54	48	49	46	46
UNB	64	54	54	53	49	51	47	47
PLT	-43	-13	22	-62	-71	-86	-76	-86
H03	67	62	73	67	30	36	43	30
H05	63	73	70	55	40	41	43	40
H07	53	65	69	36	43	32	48	32
H09	45	23	43	40	-7	-7	-17	-17
H11	54	79	68	58	61	62	57	54
H13	70	65	59	52	57	56	57	52
H15	-30	0	20	0	-18	-40	-90	-90
H17	73	60	82	76	68	68	65	60
H19	75	73	77	73	70	77	74	70
H20	78	94	93	88	68	73	73	68
H21	53	41	56	50	27	40	20	20
H22	79	95	91	89	70	70	80	70
H23	87	73	86	77	77	69	73	69
H24	82	95	76	85	70	72	69	69
H25	89	83	87	75	80	77	79	75
	-43	-13	20	-62	-71	-86	-90	-90

## Herausforderungen - Datenanalyse

### Weiterführende Datenanalysen

- Analyse des "typischen" Verhaltens von Anlagen/Geräten bzw. Netzen in verschiedenen Zeitmaßstäben
- Identifikation plötzlicher Abweichungen vom „typischen“ Verhalten
- Systematische Analyse korrelativer Zusammenhänge
- Adaptive Algorithmen zur automatisierten (assistenten-gestützten) Datenanalyse („Agents“)



## Zusammenfassung

### Fazit

- Neue Technologien haben einen nachweisbaren Einfluss auf die Strom- und Spannungsqualität.
- Eine sachgerechte Koordination von Störfestigkeit und Störaussendung sollte bereits bei der Planung berücksichtigt werden.
- Die (praktisch) störungsfreie Koexistenz neuer Geräte mit bereits vorhandenen Geräten ist wichtig.
- (Angemessenes) Monitoring kann den zuverlässigen Betrieb von Netz und Anlagen unterstützen  
ABER: Daten nicht nur sammeln, sondern auch analysieren !

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !**

*Kontakt:*  
Dr.-Ing. Jan Meyer  
TU Dresden – IEEH  
+49 351 463 35102  
jan.meyer@tu-dresden.de

