



# Messung von elektrischen Eigenschaften der Erzeugungseinheiten und – Anlagen mit Bezug auf das Oberschwingungsverhalten

Jochen Möller

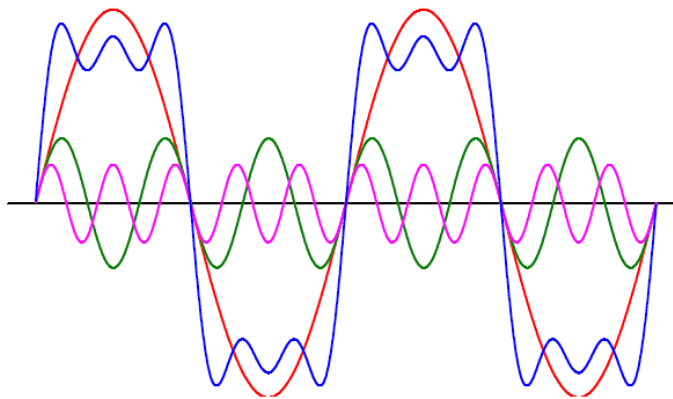


# Agenda



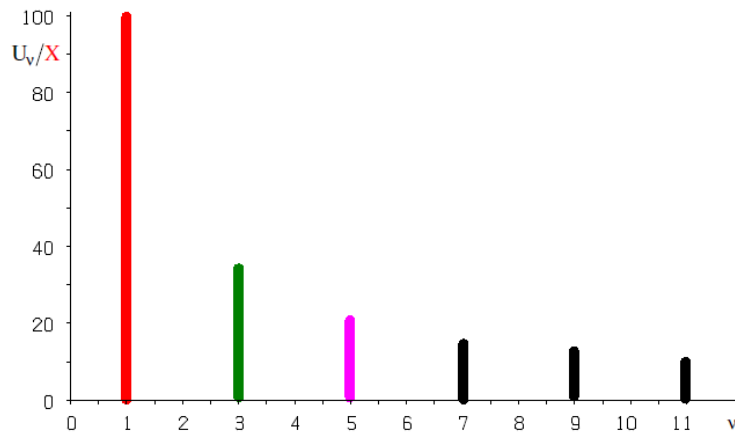
1. Hintergrund
2. Messung im Rahmen der  
Einheitenzertifizierung  
(Prototypenvermessung)
3. Messungen am Windpark  
Oberschwingungsnachmessung

# Was sind Oberschwingungen?



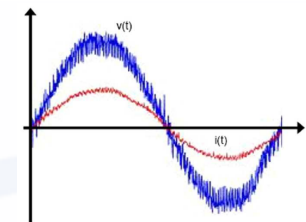
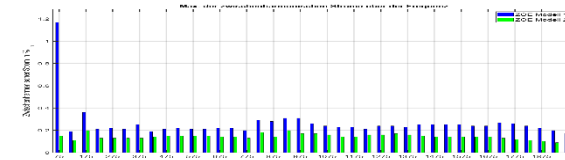
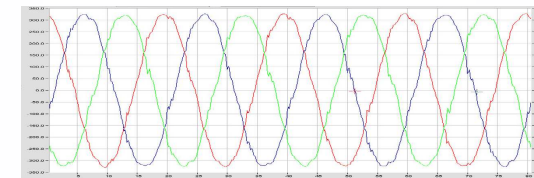
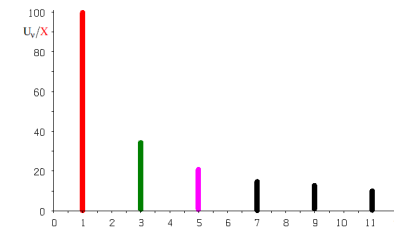
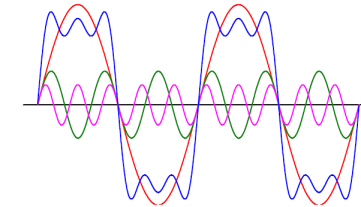
Oberschwingungen sind im Pegel, die von der **Grundschiwingung** abweichen.

Es gibt Strom- und Spannungs-  
oberschwingungen.



# Wir unterteilen die OS in drei Gruppen

- **Harmonische**  
Eine Harmonische ist in der klassischen Physik und Technik eine harmonische Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges vielfaches einer Grundfrequenz ist.
- **Zwischenharmonische**  
sinusförmige Schwingung, deren Frequenz kein ganzzahliges vielfaches der Grundfrequenz ist.
- **Supraharmonische**  
Frequenzanteile im Bereich zwischen 2 kHz und 9 kHz



# Welche Störungen verursachen OS?

- Zusätzliche Erwärmung und somit erhöhte Verluste
- Verkürzung der Lebensdauer
- Störungen an elektronischen Geräten (Steuer-, Regelung und Messung)
- Störungen der energietechnischen und informationstechnischen Betriebsmittel
- Durch Oberschwingungen verursachte Neutralleiterströme vagabundieren im gesamten Potential-Ausgleich-System über Wasser- und Heizungsrohre, Sprinkleranlagen, Erdungssysteme, Schirme von Datenleitungen, Videoleitungen, Kommunikationssysteme und können an Rohrleitungen zu erhöhter Korrosion bzw. Lochfraß führen.
- magnetische Felder der OS führen z.B. zu Bildschirmflackern oder Datenstörungen

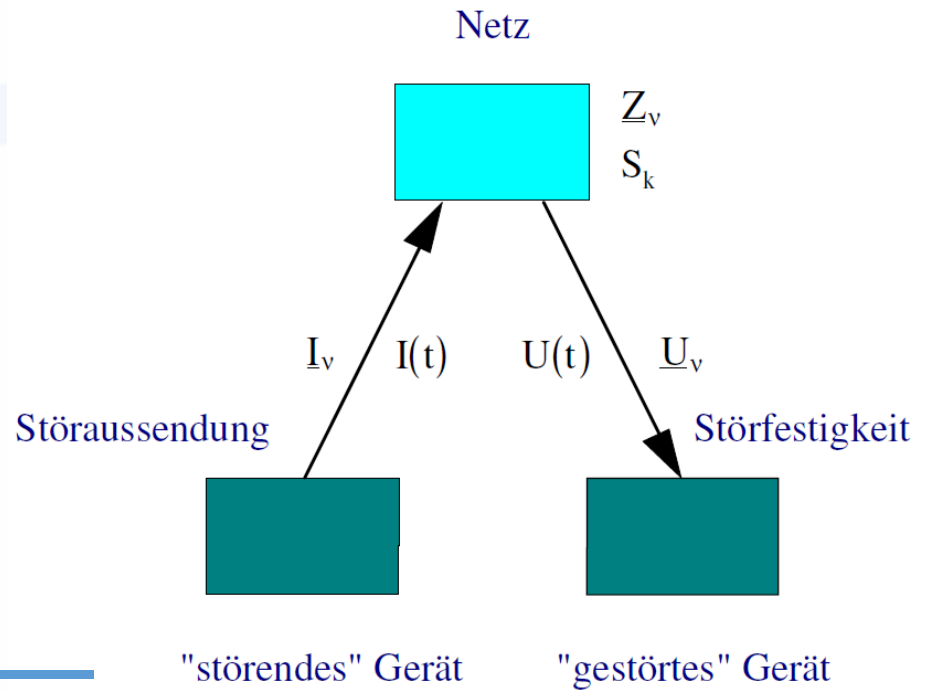


# Typische OS Erzeuger?

- Schaltnetzteile, Gleichrichter, Wechselrichter
- Genutzt in drehzahlvariablen Motoren
- Speicherung und Erzeugung von elektrischen Energie (Windenergie, PV, etc.)



# Störabstand



# Agenda

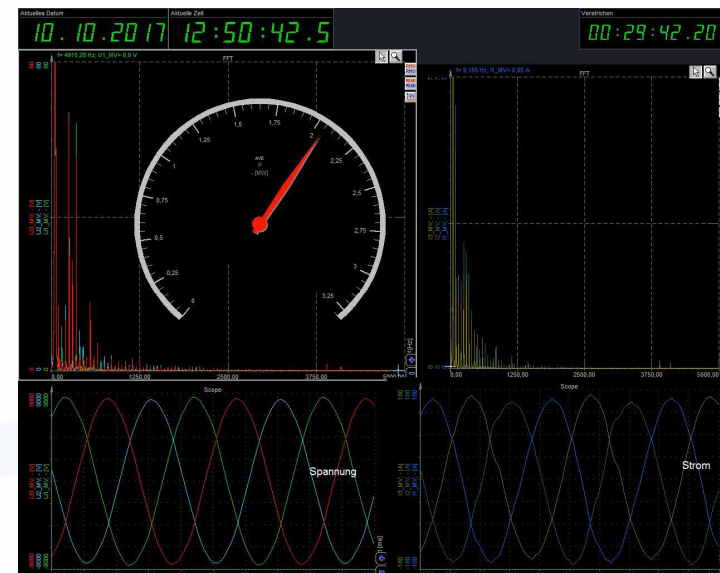
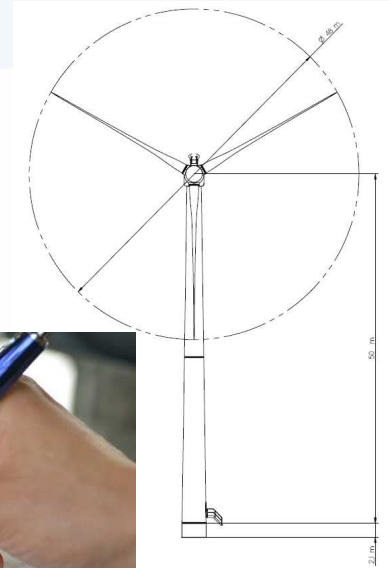


1. Hintergrund
2. Messung im Rahmen der  
Einheitenzertifizierung
3. Messungen am Windpark  
Oberschwingungsnachmessung



# Ziel: Ausweisung der OS Emissionswerte

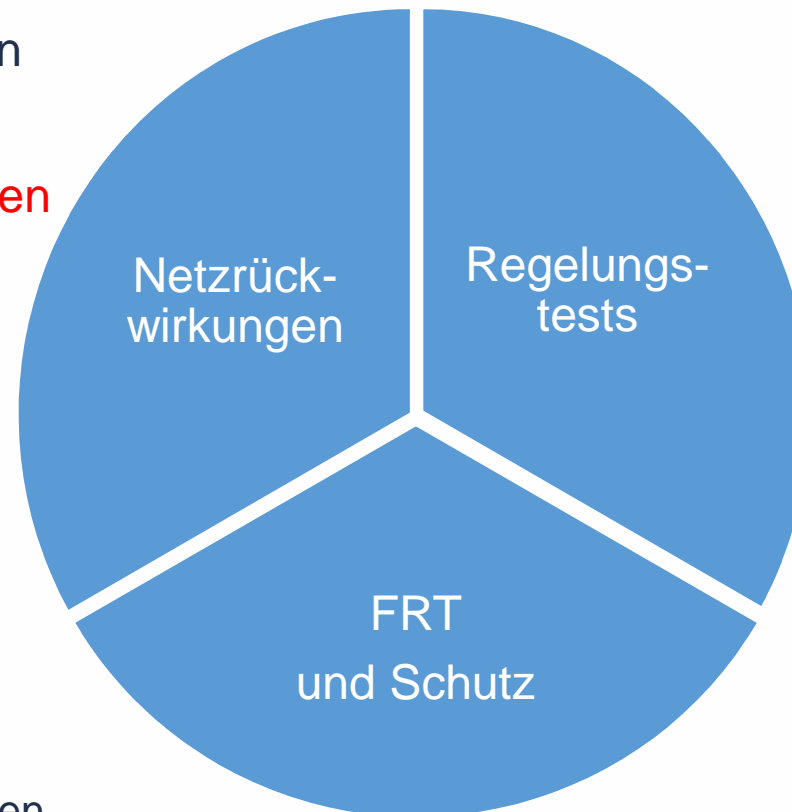
- Die Messung erfolgt am Prototypen über den gesamten Leistungsbereich
- Ergebnisse werden zusammengefasst und ausgewiesen im Einheitenzertifikat
- Herausforderungen: Die gemessenen OS dem jeweiligen Verursacher zu zuordnen und brauchbare Werte erzeugen für die Weiterberechnung.



# Messung im Rahmen der Einheitenzertifizierung

- Schalthandlungen
- Flicker
- **Oberschwingungen**
- Unsymmetrien

- Dynamische Netzstützung:
  - LVRT
  - HVRT
- Trennung v. Netz
- Zuschaltbedingungen



- Wirkleistung
  - Maxima
  - Regelung d. NB
  - $P(f)$
  - Wirkleistungsgradient nach Spannungslosigkeit
- Blindleistung
  - Vermögen ( $U_n$ )
  - Spannungsabhängig P-Q Diagramm
  - Regelung nach Sollwertvorgabe
  - $Q(U)$
  - $Q(P)$

TR 3 Rev. 25  
Kapitel 4

# OS-Messbedingungen

- $\cos \varphi = 1$
- Gesamtverzerrung der Spannung
  - TDD < 5 %
  - Getrennter EZE
- $f = f_n \pm 1 \%$  der Nennfrequenz
- Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz:  
    < 0,2 % der Nennfrequenz
- $U = U_n \pm 10 \%$  der Nennspannung
- Spannungsunsymmetrie < 2 %

# Zusammenfassung Prototypenmessung

- Geeignete Messumgebung aussuchen
- Auf hohe Qualität bei der Messung achten, mit entsprechender Filterung der Netzbelastung
- Die Ergebnisse der Prototypenmessung werden vielfach für die Beurteilung der OS-Emission herangezogen. Multiplikation des Problems.

# Agenda

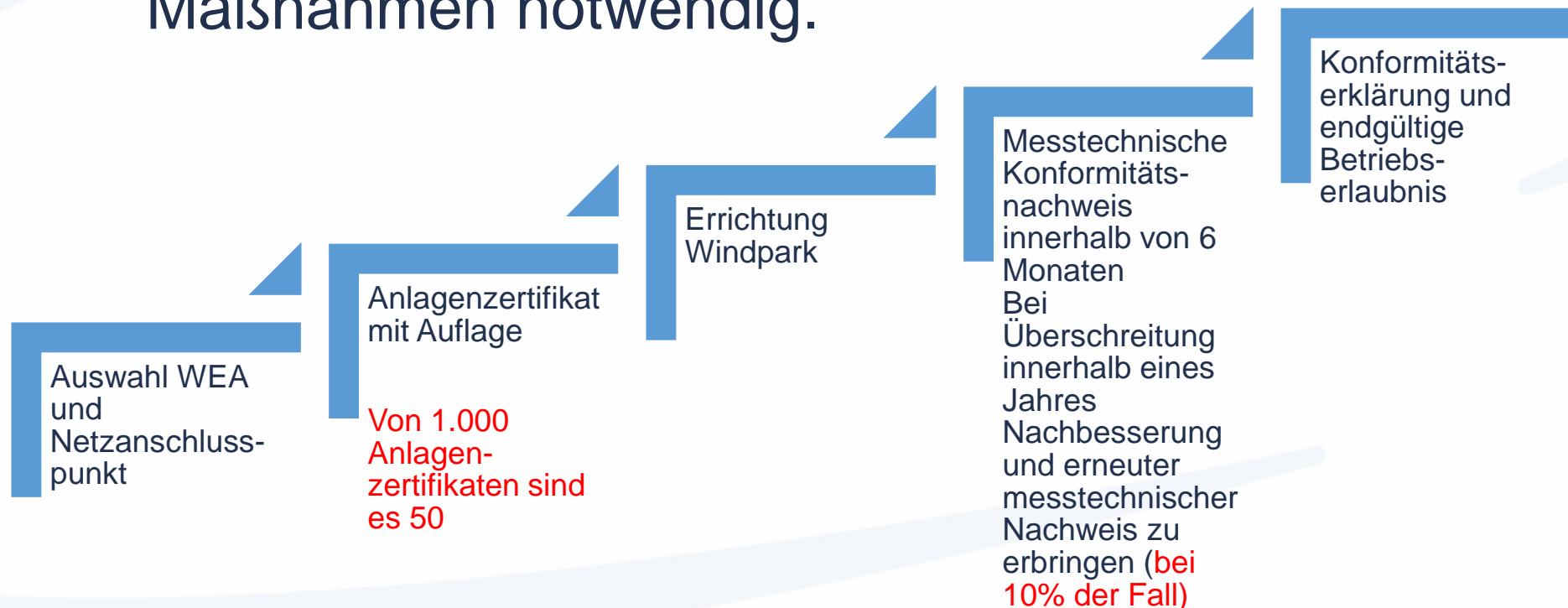


1. Hintergrund
2. Messung im Rahmen der  
Einheitszertifizierung
3. Messungen am Windpark  
Oberschwingungsnachmessung



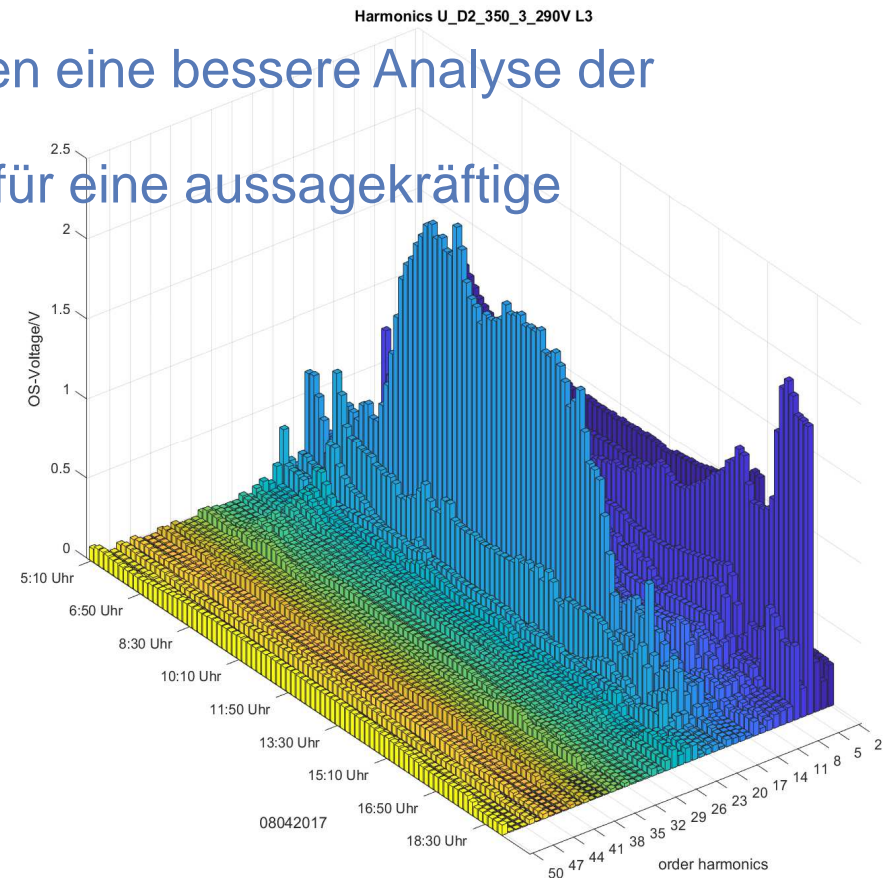
# Ziel der OS-Nachmessung

- Auflage im Anlagenzertifikat für die endgültige Betriebserlaubnis aufheben.
- Der Betreiber übernimmt ein Risiko, wenn er trotz der Auflage einer OS-Nachmessung den Windpark errichtet. Rückstellung für weitere Maßnahmen notwendig.



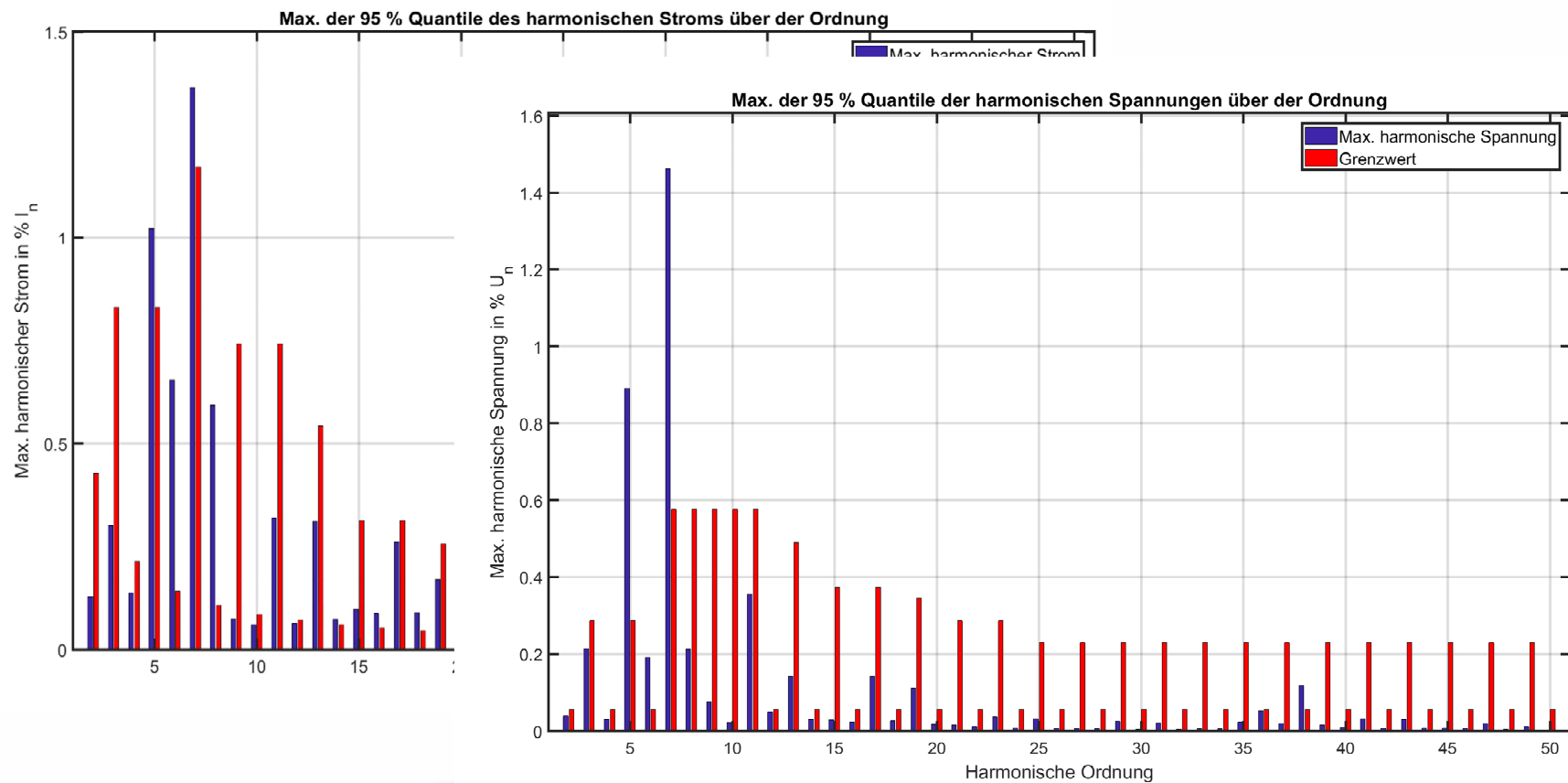
# Add on bei M.O.E.

- Hohe Abtastraten erhöhen die Genauigkeiten.  
Bei M.O.E. Abtastrate von 50 kHz;
- Längere Messzeiträume ermöglichen eine bessere Analyse der Netzbelastung.  
Bei M.O.E. in der Regel 3 Wochen für eine aussagekräftige Datenbasis;
- Für eine Verursacherermittlung im Netz ist es notwendig potentielle OS-Verursacher abzuschalten  
MOE bietet „Schalthandlungen“ – Messung bei verschiedenen Betriebs- und Schaltzuständen an.



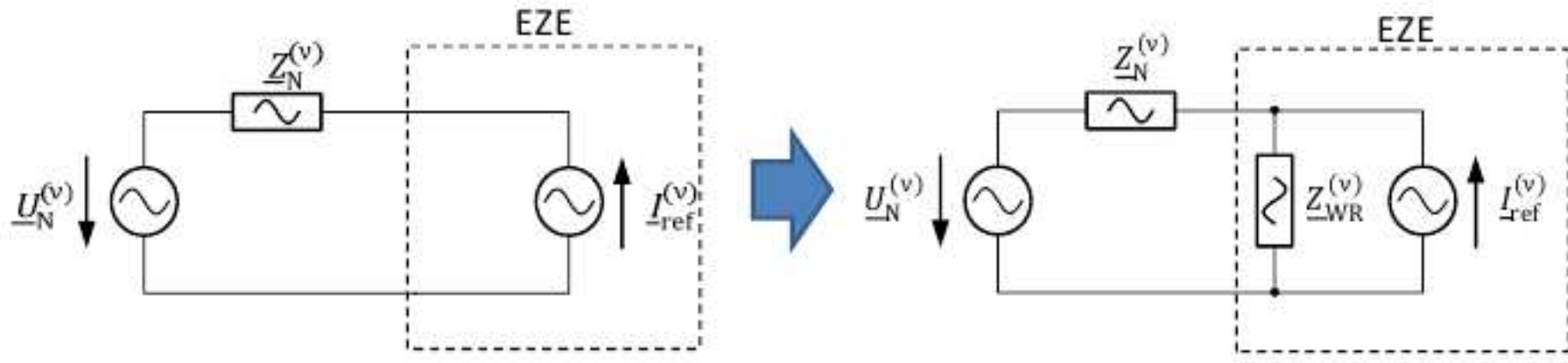
# Oberschwingungen

- Oberschwingungsströme / -Spannungen



# Oberschwingungsbeeinflussung durch benachbarte WEA

Wechselwirkungen zwischen den EZE:



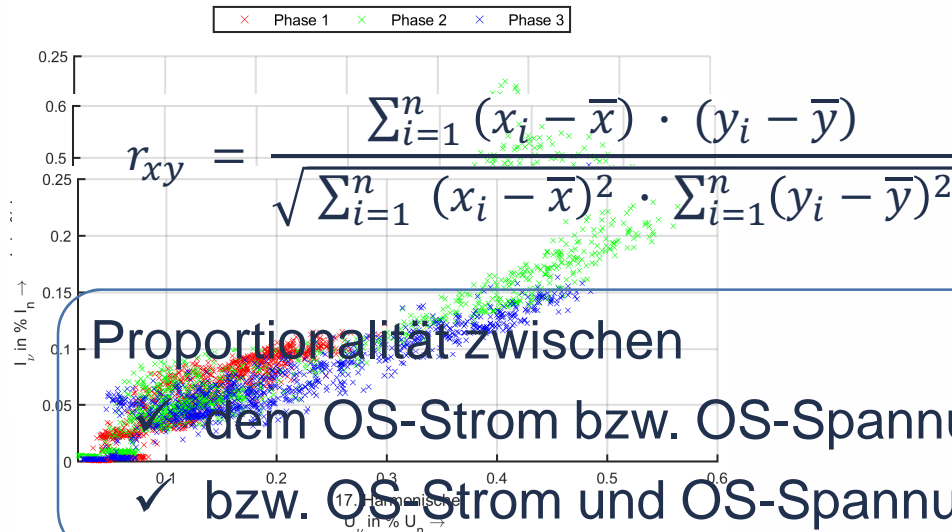
# Korrelation

- OS-Strom
- OS-Spannung
- Eingespeiste Wirkleistung

Grafische Darstellung

Berechnung

- OS-Strom über Wirkleistung
- OS-Spannung über Wirkleistung
- OS-Strom über OS-Spannung
- Linearer Korrelationskoeffizient



**Korrelation**

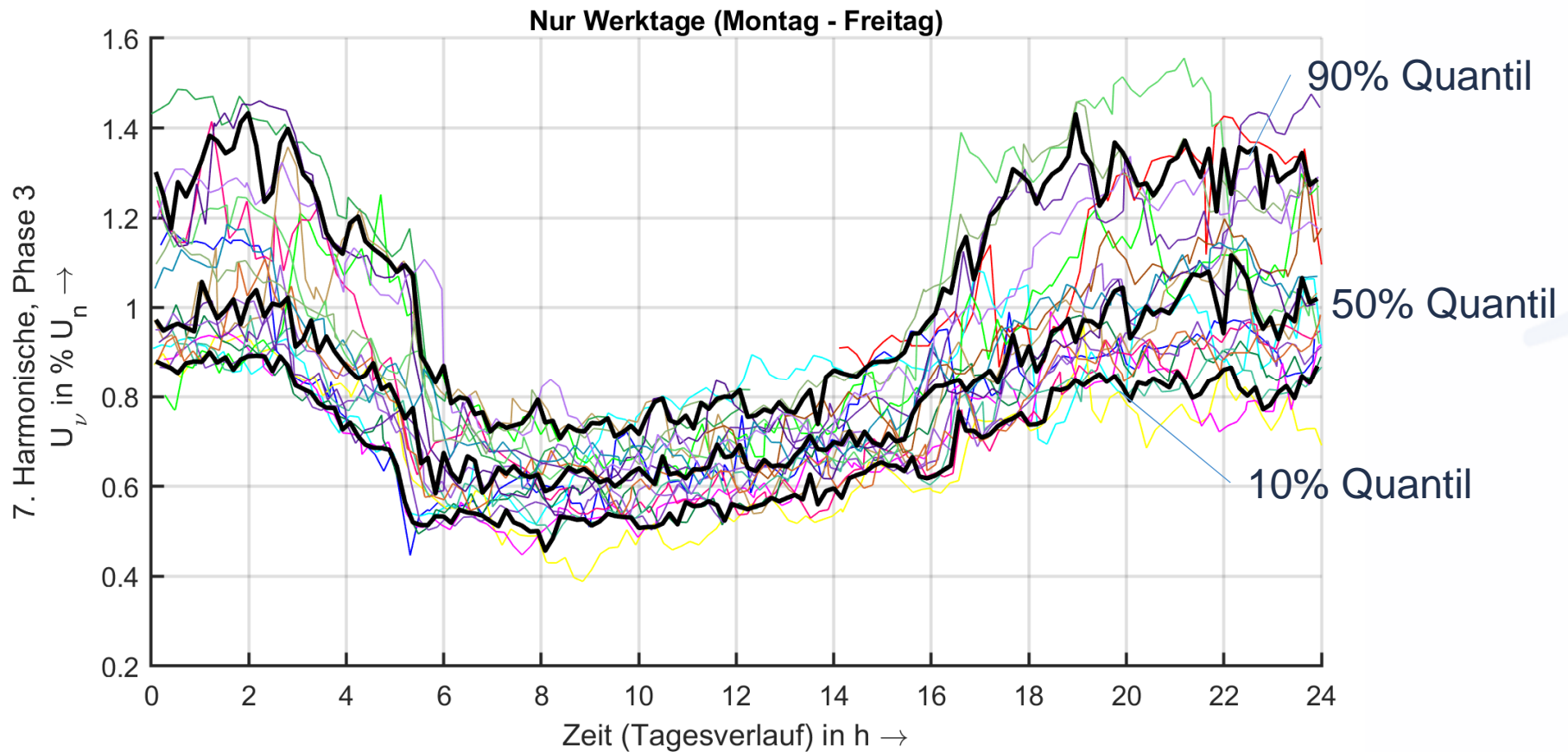


# Analyse der Tagesgänge

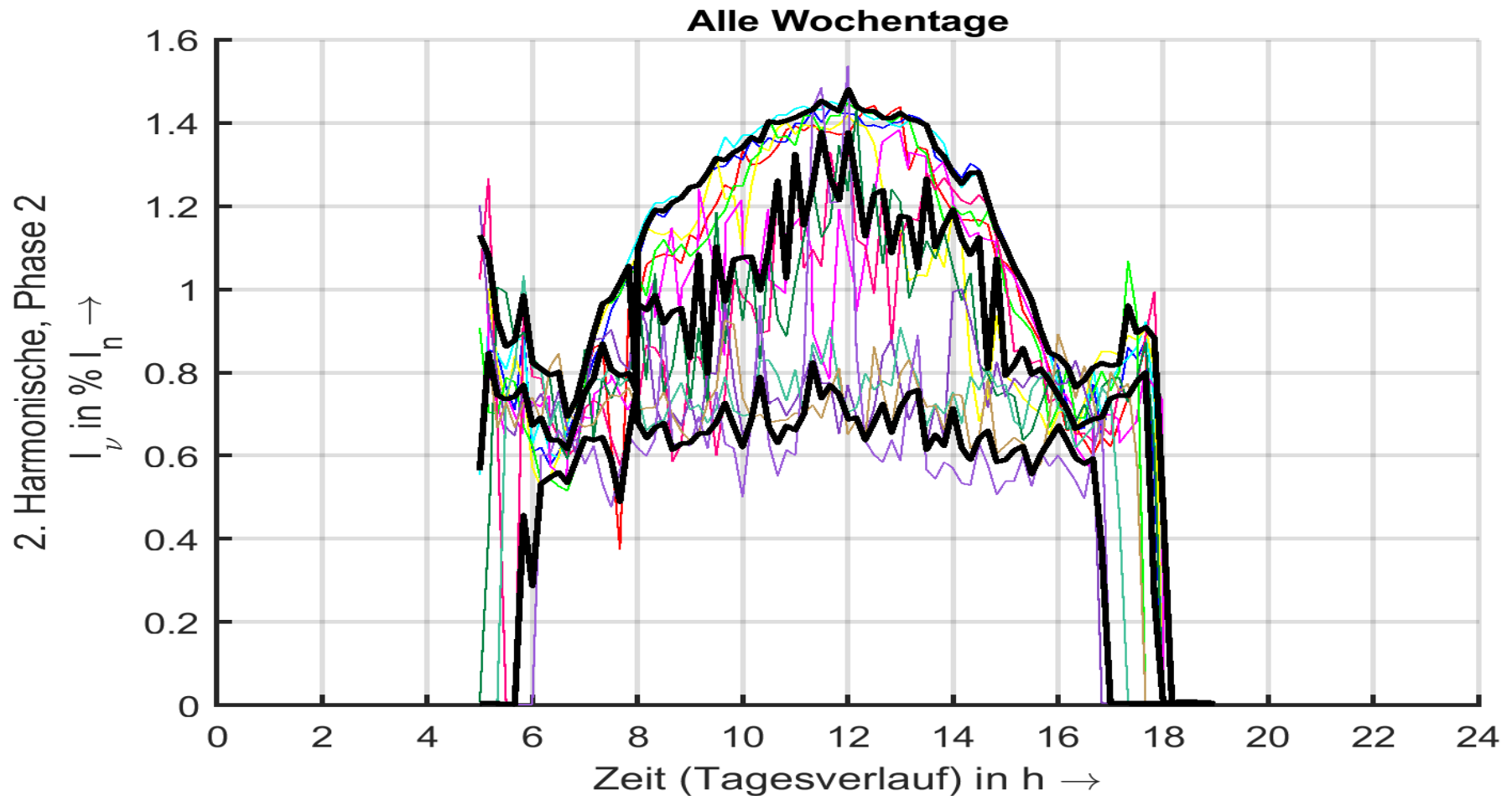
- Darstellung/Auswertung erfolgt separat für Strom bzw. Spannung, der entsprechenden OS-Ordnung, phasenselektiv und Leistungsabhängig
- Darstellung erfolgt von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr
- Gruppierung: Werktage (Mo. – Fr.), Samstage sowie Sonn-/Feiertage
- Oberschwingungstagesgänge:  
Quantil-Bildung: 10 %, 50 % und 90 %
- Je Gruppe wird eine Mindestanzahl von zehn Tagen empfohlen

# Analyse der Tagesgänge

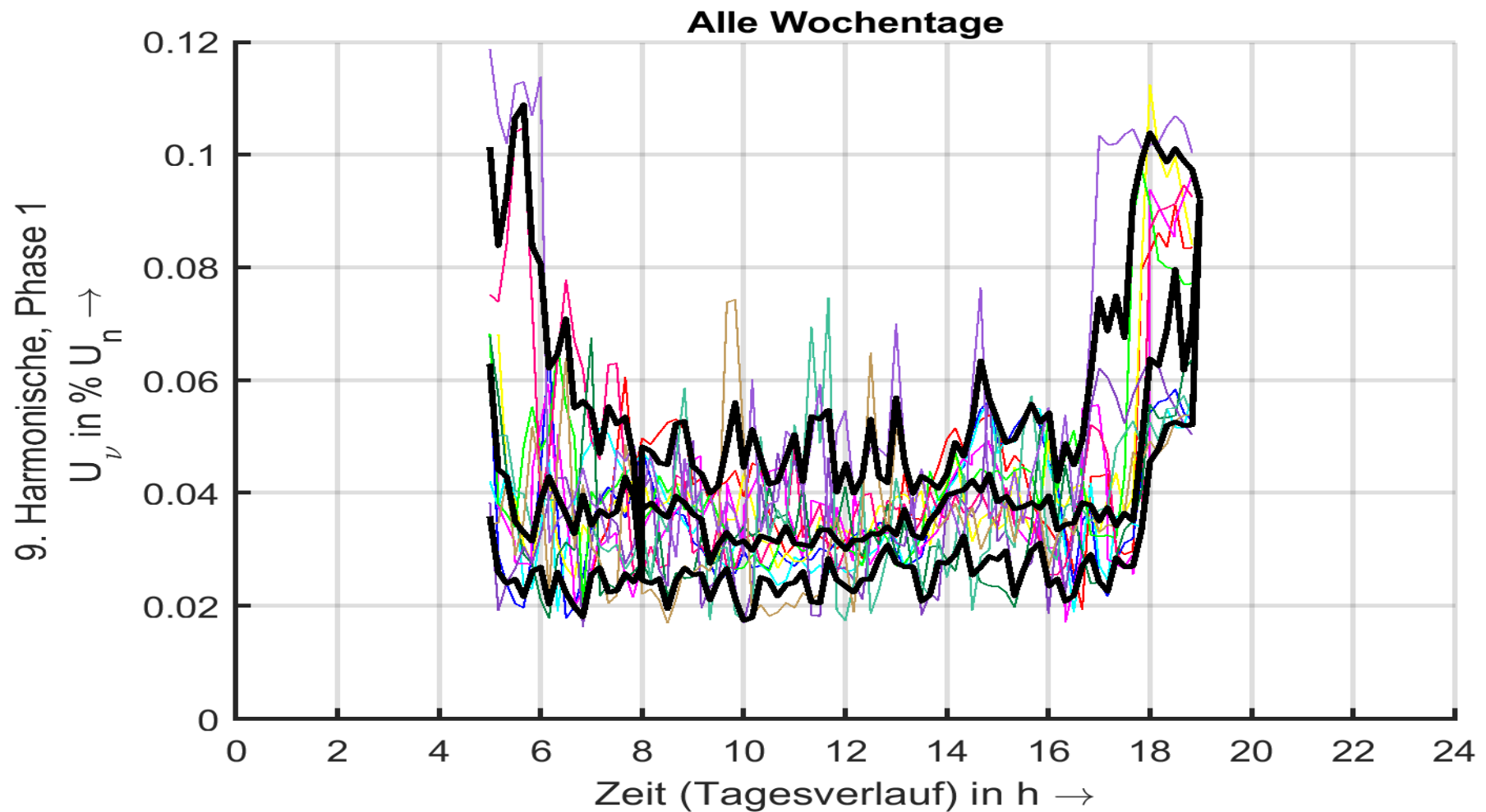
- Tagesgänge



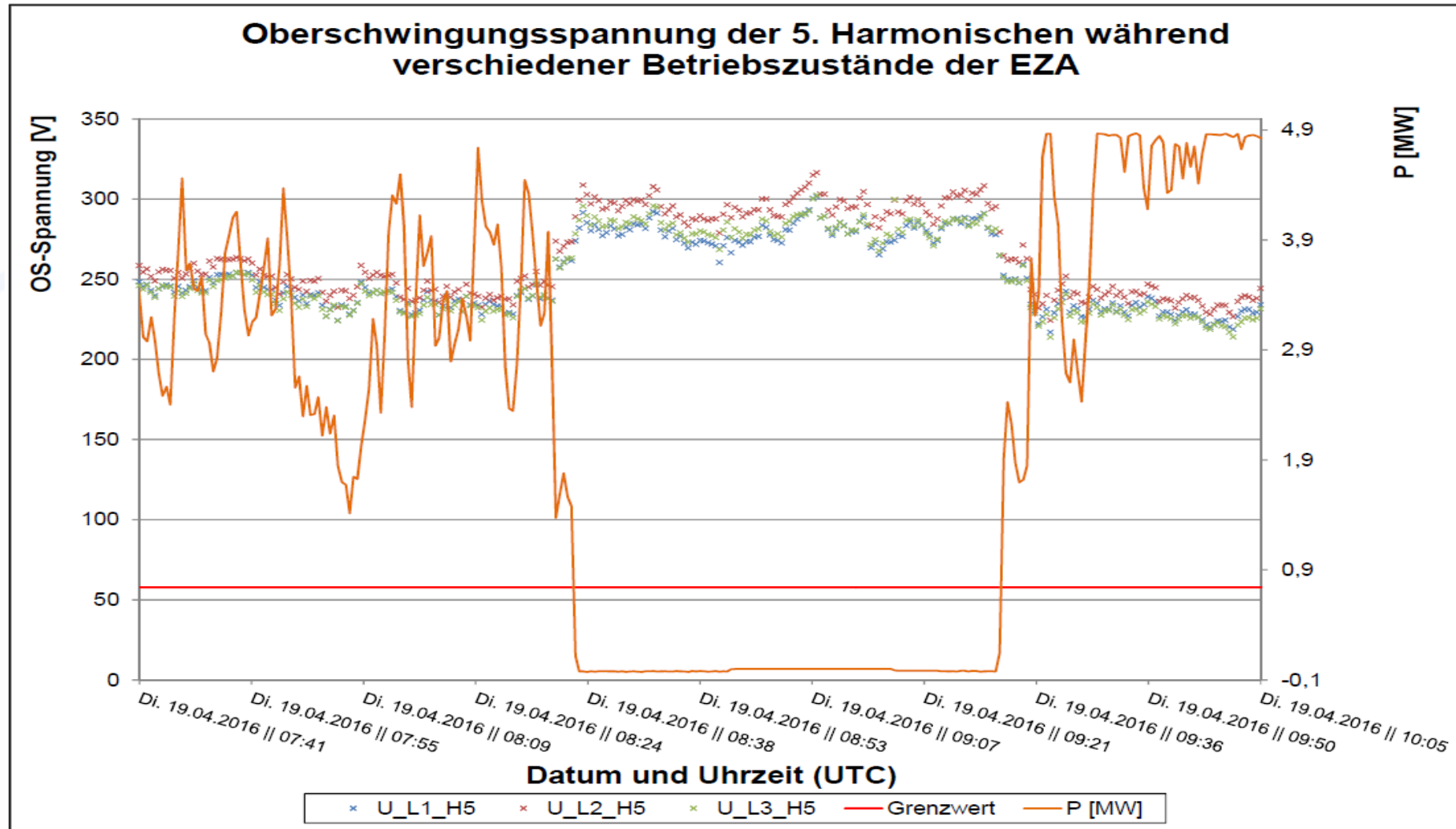
# Analyse der Tagesgänge



# Analyse der Tagesgänge

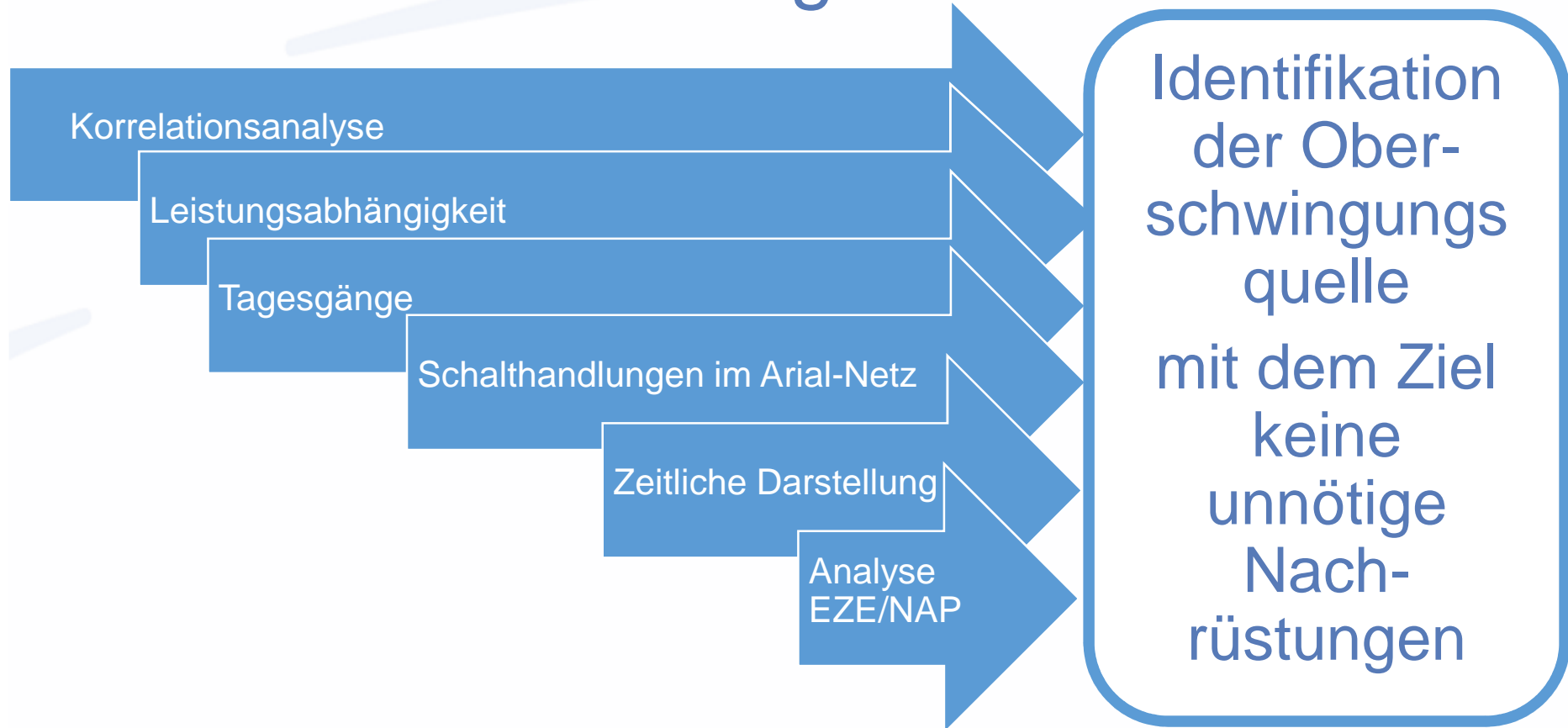


# Bestimmung der Netzvorbelastung



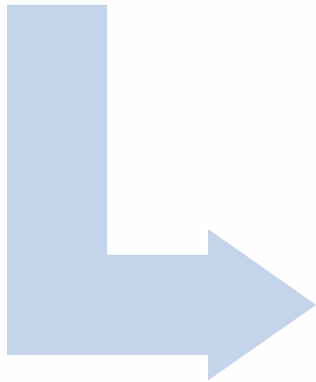


# Zusammenfassung OS Nachmessung



# Oberschwingungen

**!** Mehrere Einflüsse können parallel auftreten



**!** Gewonnene Indizien müssen im Gesamtzusammenhang insbesondere mit den anderen Analyseverfahren betrachtet werden.

# Zusammenfassung

## Rest: Lösung noch offen

- 2,5 % Einbau OS-Filter (erhebliche Kosten)
- 5% Nachbesserungen durch Softwareveränderung
- 7,5% Netzverstärkung oder Einigung mit dem NB
- 10% Filterung Netzvorbelastung

90% Überschreitung der OS-Spannungsgrenzwerte

95% Überschreitung der OS-Stromgrenzwerte

5% aller Anlagenzertifikate haben die Auflage einer OS-Nachmessung



# M.O.E.

MOELLER OPERATING ENGINEERING

Jochen Möller

M.O.E. (Moeller Operating Engineering GmbH)

Fraunhoferstraße 3, 25524 Itzehoe, Germany

Tel: +49 (0) 4821 40 636 10

E-Mail: [jochen.moeller@moe-service.com](mailto:jochen.moeller@moe-service.com)

[www.moe-service.com](http://www.moe-service.com)