



## **13. Symposium Energieinnovation**

# **Untersuchungen zur Oberschwingungsbelastung in Netzen mit hoher Photovoltaik-Durchdringung**

**Graz, 14. Februar 2014**

**Dipl.-Ing. Robert Pardatscher  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann**

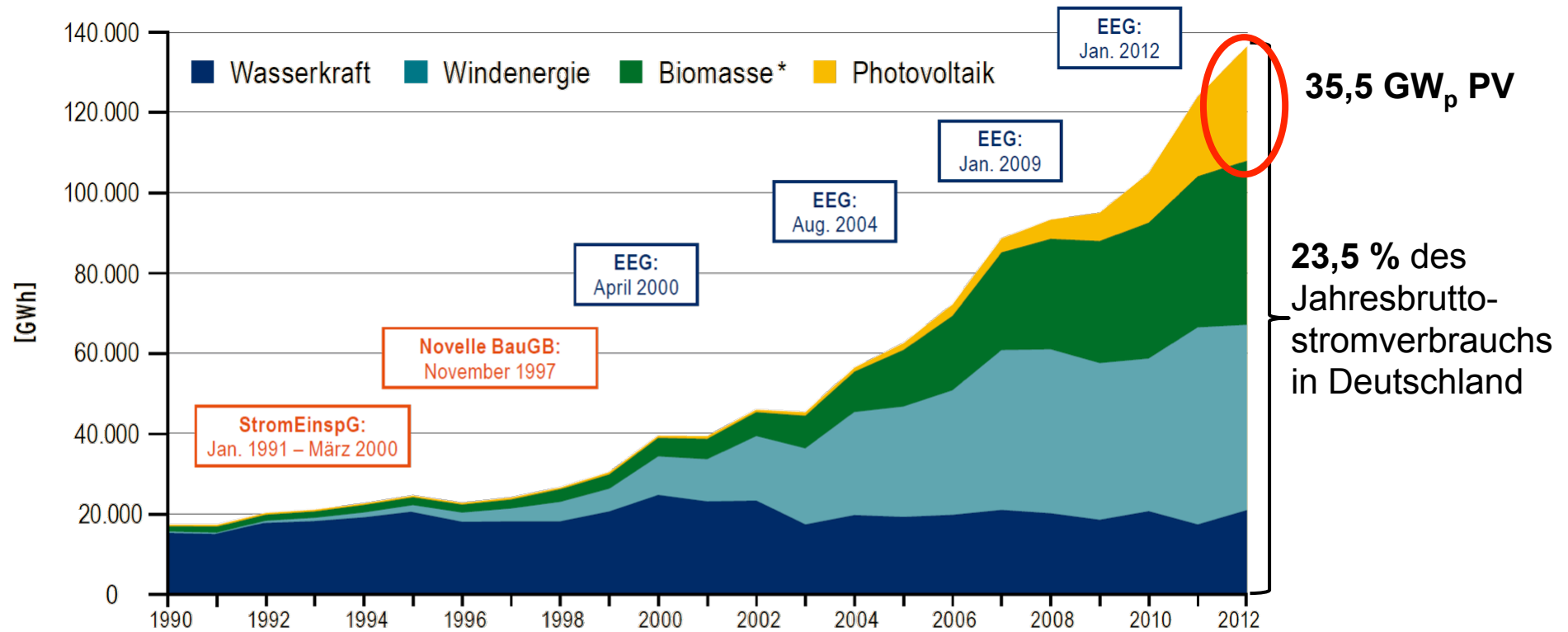
Technische Universität München,  
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze

---

## Gliederung

1. Einführung
2. Datengrundlage
3. Ergebnisse
  - Statistische Auswertung
  - Prüfung auf Einhaltung der Norm
  - THD  $\leftrightarrow$  Jahres- / Tageszeit
  - THD  $\leftrightarrow$  Sonnenscheindauer
  - THD  $\leftrightarrow$  Spannungshöhe
  - THD  $\leftrightarrow$  PV-Einspeiseleistung
  - THD  $\leftrightarrow$  Leistungsfluss an Ortsnetztransformatoren
4. Fazit

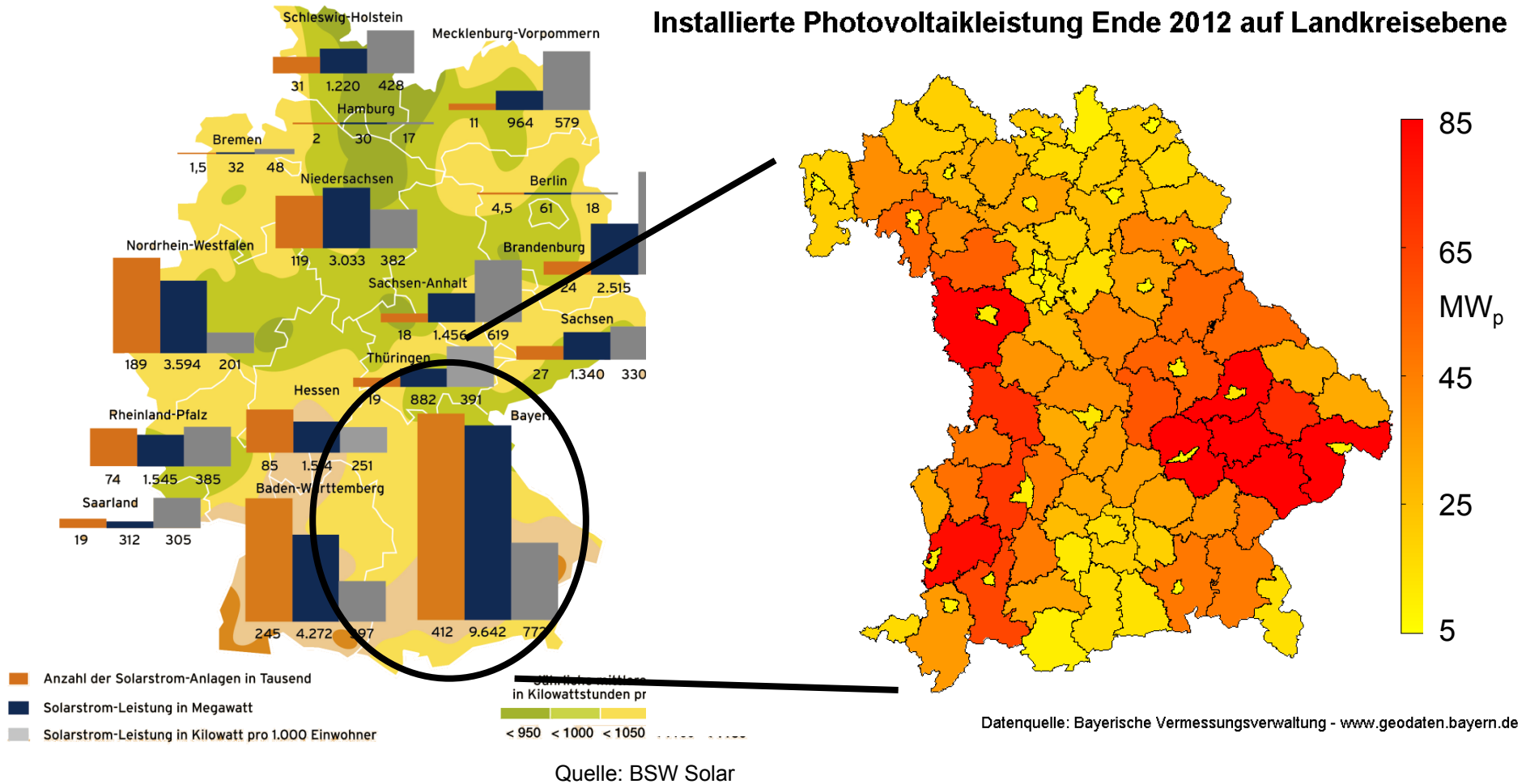
# Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland



\* Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas, biogener Anteil des Abfalls;  
 1 GWh = 1 Mio. kWh; Aufgrund geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt.  
 StromEinspG: Stromeinspeisungsgesetz; BauGB: Baugesetzbuch; EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz;

Quelle: BMU – E I 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2013; Angaben vorläufig

# Verteilung der installierten Photovoltaikleistung





## 1. Einführung

## 2. Datengrundlage

## 3. Ergebnisse

- Statistische Auswertung
- Prüfung auf Einhaltung der Norm
- THD  $\leftrightarrow$  Jahres- / Tageszeit
- THD  $\leftrightarrow$  Sonnenscheindauer
- THD  $\leftrightarrow$  Spannungshöhe
- THD  $\leftrightarrow$  PV-Einspeiseleistung
- THD  $\leftrightarrow$  Leistungsfluss an Ortsnetztransformatoren

## 4. Fazit

## Forschungsprojekt „Netz der Zukunft“

### Projektpartner:

**bayerwerk**

Assetmanagement,

Sebastian Schmidt, Johannes Brantl,  
Regensburg



Labor Solartechnik und Energietechnische Anlagen,  
Prof. Gerd Becker, Georg Wirth, Andreas Spring,  
München



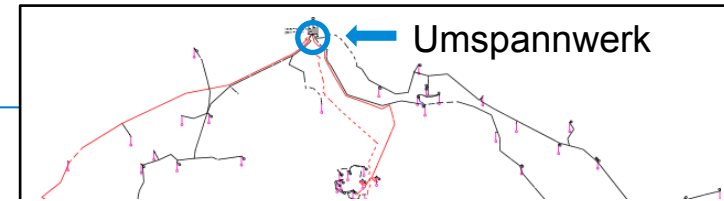
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze,  
Prof. Rolf Witzmann, Robert Pardatscher,  
München

### Projektziele:

- Sicherstellen der DIN EN 50160
- Identifizierung der neuen Anforderungen an Verteilnetze
- Erarbeitung/Anpassung von Planungsgrundlagen von Netzen mit hoher PV-Einspeisung
- Optimierung der Netzauslastung
- Evaluierung von Maßnahmen:
  - Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren (rONTs)
  - Blindleistungsbezug von PV-Wechselrichtern
  - Leistungsbegrenzung von PV-Anlagen

Untersuchungen auf breite  
Messdatenbasis stellen

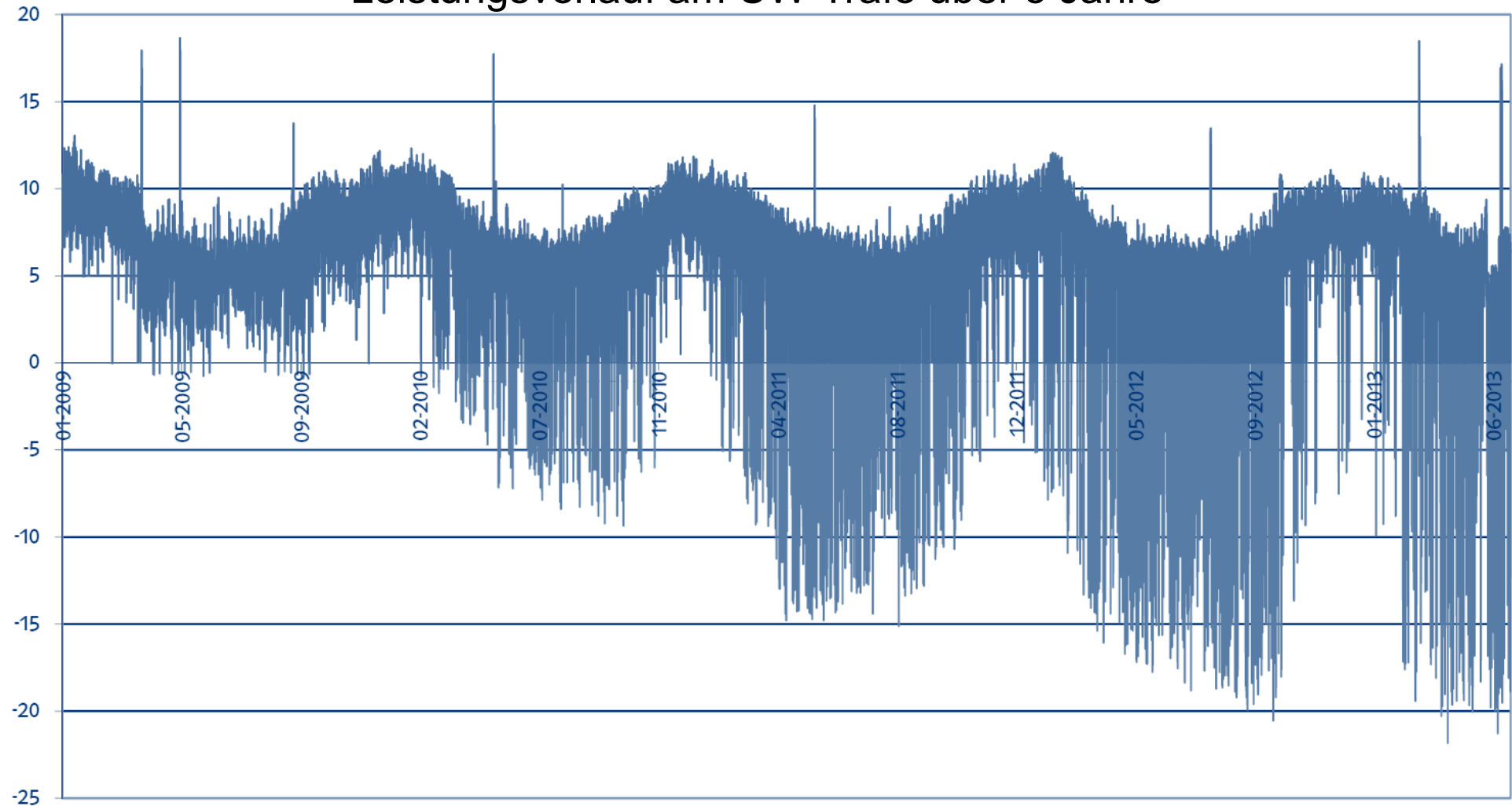
 Untersuchungsgebiet Seebach



# Untersuchungsgebiet Seebach

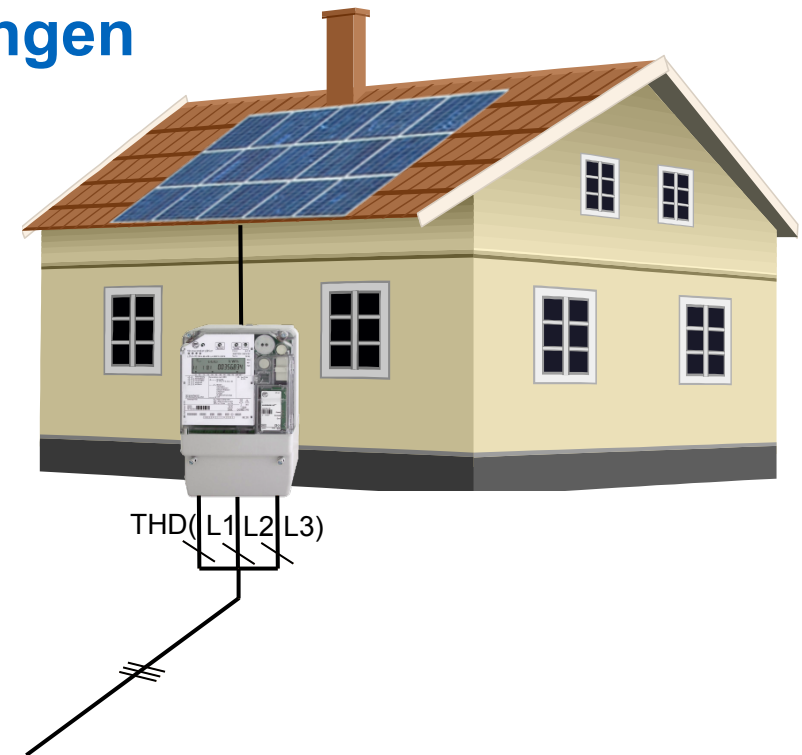
S [MVA]

## Leistungsverlauf am UW-Trafo über 5 Jahre



## Datengrundlage der Untersuchungen

- Datenquelle:
  - Mehrere hundert Lastgangzähler mit PQ-Modul an Hausanschlüssen (HA)
  - PQ-Messgeräte in Ortsnetzstationen
- Verwendete Messgrößen:
  - THD\* der drei Leiter-Erd-Spannungen
  - Leiter-Erd-Spannungen an HA
  - PV-Einspeiseleistung
  - Leistung an Ortsnetztransformatoren
  - Sonnenscheindauer (Quelle: DWD, Station Straubing)
- Messzeitraum: 2 Jahre (Okt. 2010 – Okt. 2012)
- Auflösung: 10-Minuten-Mittelwerte



\*... (Total Harmonic Distortion, Messung der Gesamtverzerrung bis zur 40. Ordnung)





## 1. Einführung

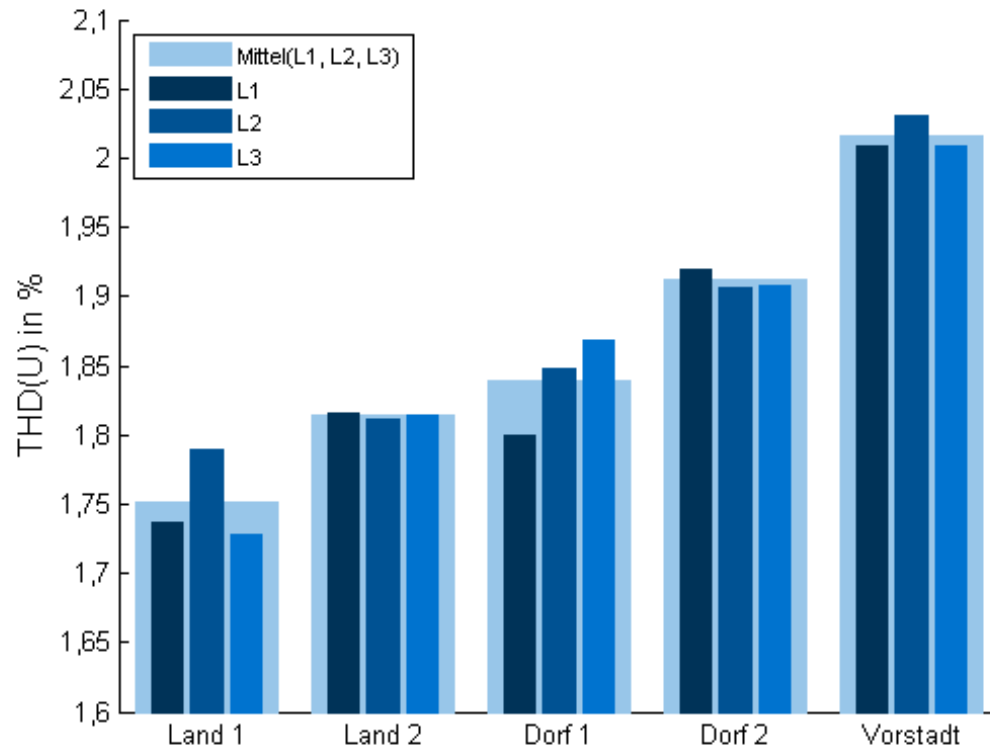
## 2. Datengrundlage

## 3. Ergebnisse

- **Statistische Auswertung**
- **Prüfung auf Einhaltung der Norm**
- **THD ↔ Jahres- / Tageszeit**
- **THD ↔ Sonnenscheindauer**
- **THD ↔ Spannungshöhe**
- **THD ↔ PV-Einspeiseleistung**
- **THD ↔ Leistungsfluss an Ortsnetztransformatoren**

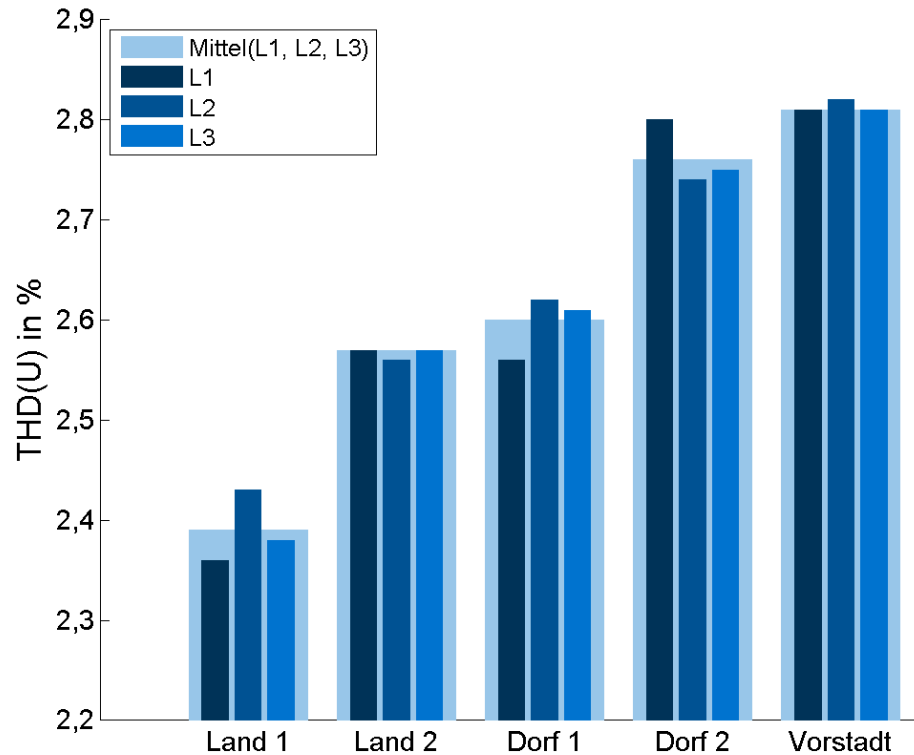
## 4. Fazit

## Statistische Auswertung: Mittlere OS-Belastung



- Wertebereich: 1,7 – 2,1 %
- Geringe Differenzen zwischen L1-L2-L3  
→ für weitere Untersuchungen Mittelwert
- Steigerung der OS-Belastung von Land- über Dorf- zum Vorstadtnetz  
→ gegenläufig zu PV-Problematik

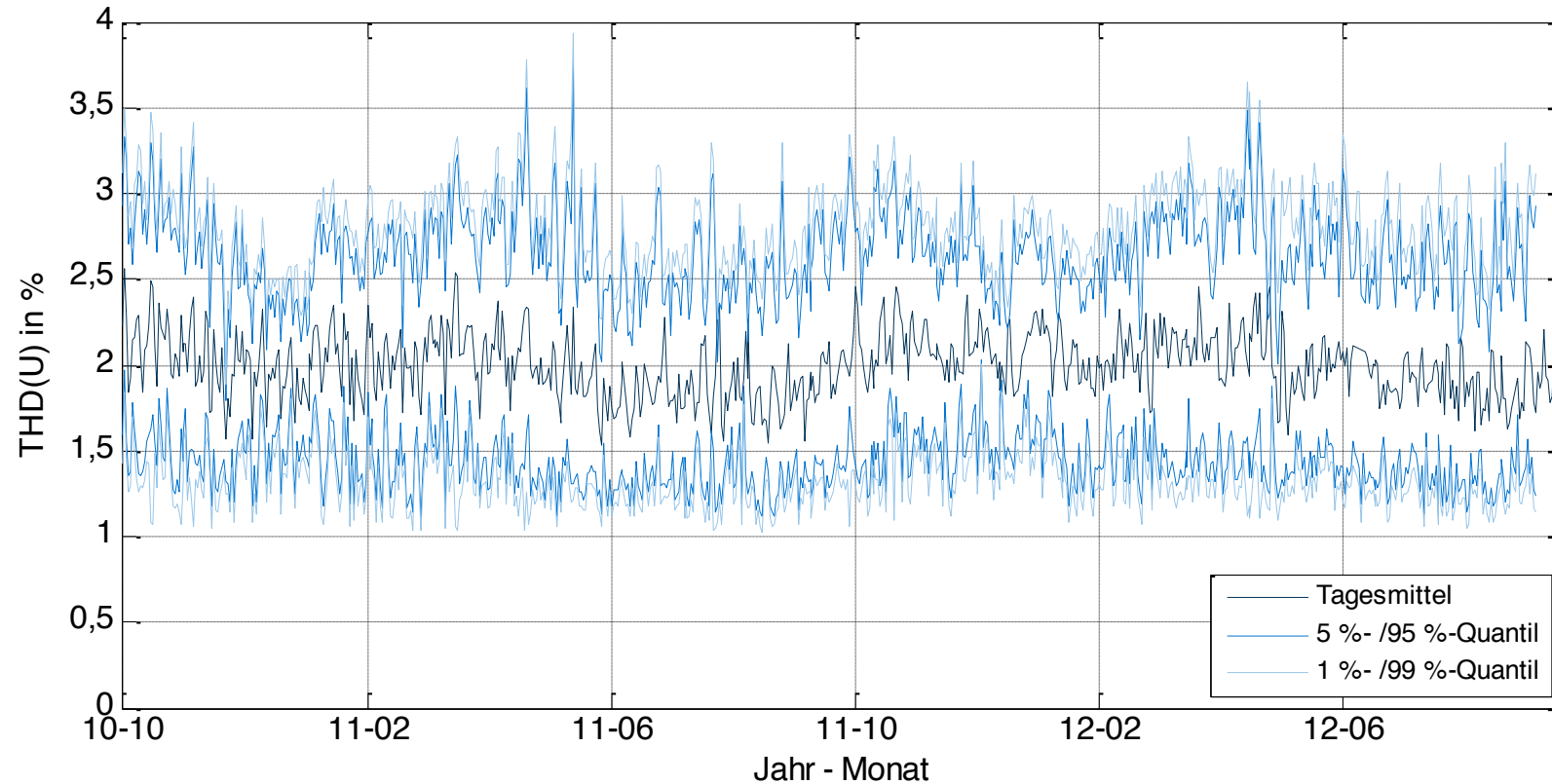
## Statistische Auswertung: 95 %-Quantile des THD



- Wertebereich: 2,4 – 2,8 %
- Geringe Differenzen zwischen L1-L2-L3  
→ für weitere Untersuchungen Mittelwert
- Steigerung der OS-Belastung von Land- über Dorf- zum Vorstadtnetz

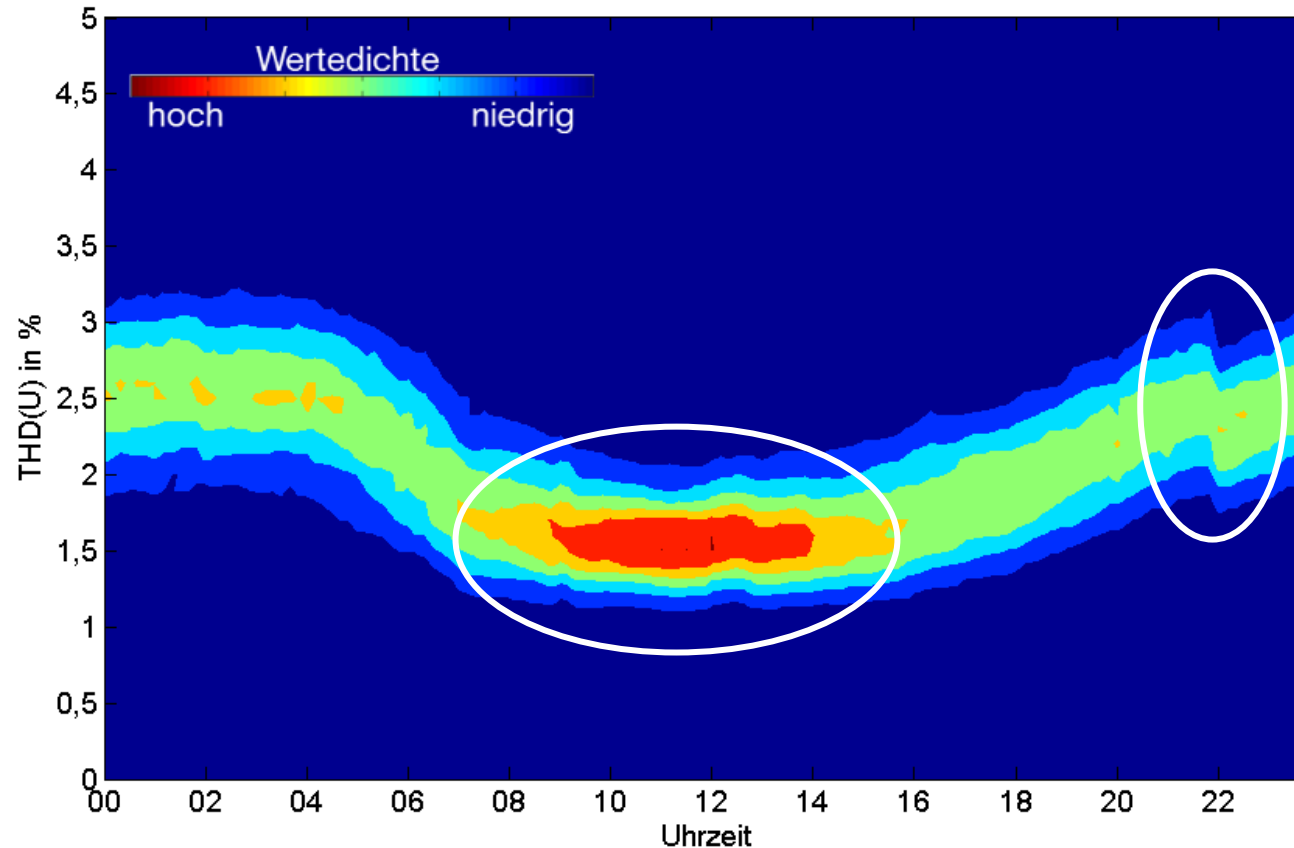
**Prüfung der HA-Daten zeigt keine Normverletzung des THD nach EN 50160**

## Der THD im Laufe der Jahreszeit



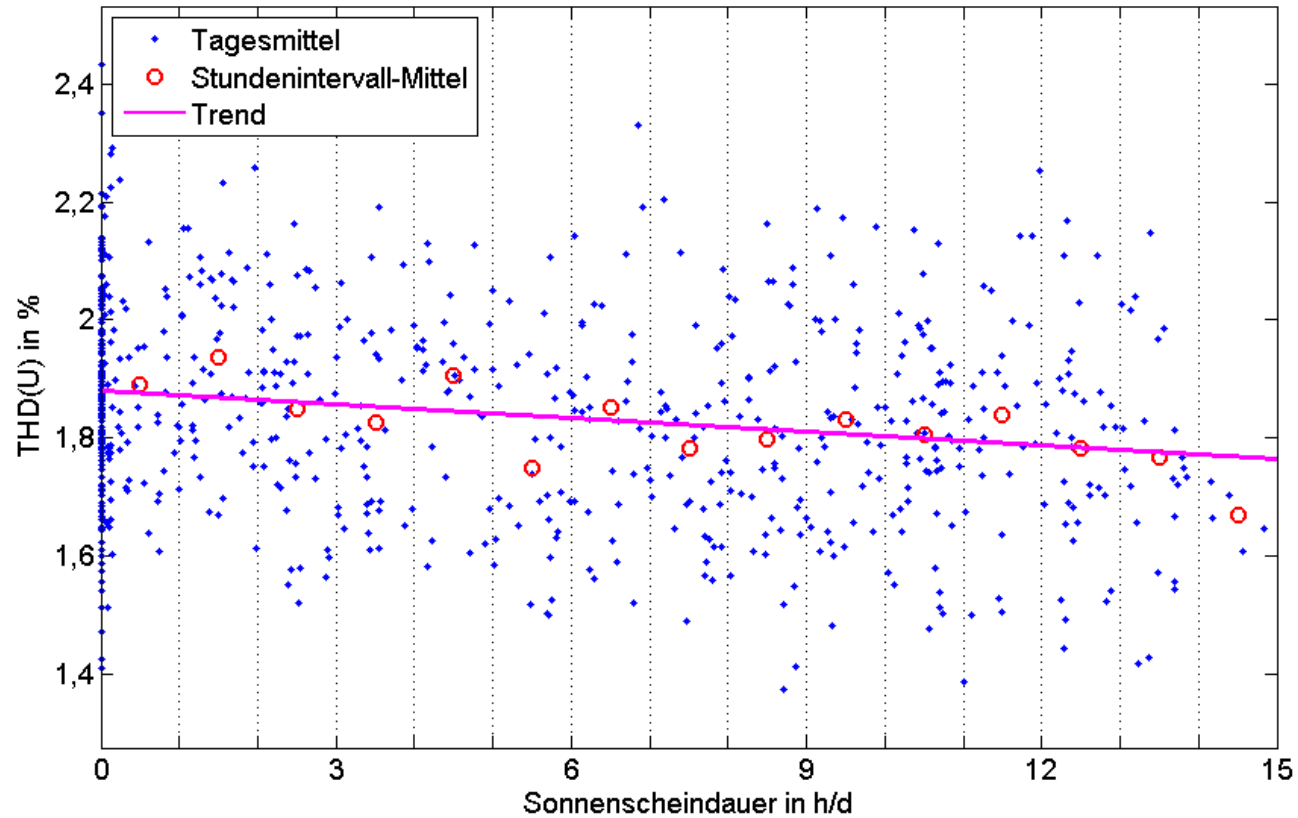
- Keine Abhängigkeit von der Jahreszeit ersichtlich
  - Spreizung der Werte um Tagesmittel relativ konstant
- **Kein Hinweis auf Anstieg der OS-Belastung durch PV-Einspeisung**

## Der THD im Laufe des Tages



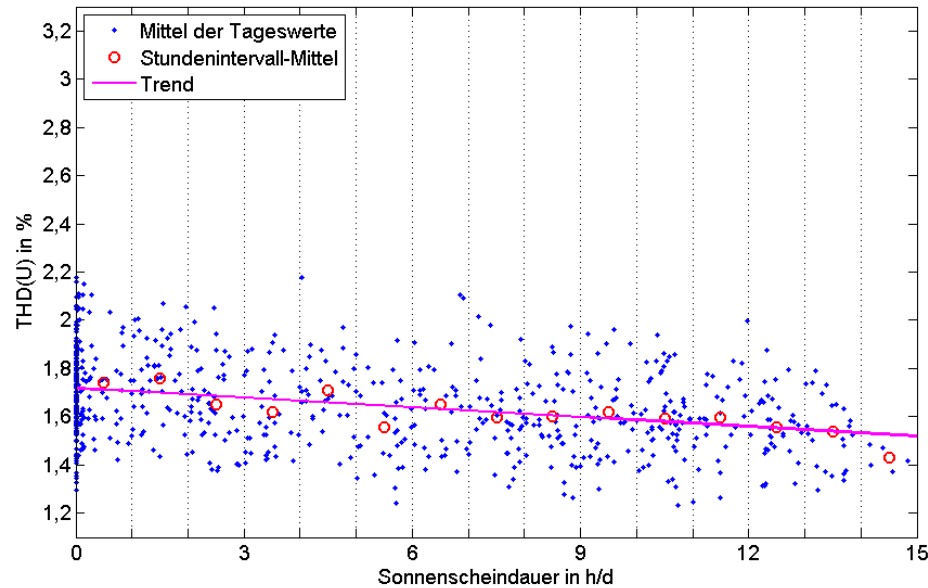
- Absenkung tagsüber
  - Höhere Wertedichte um die Mittagszeit aufgrund geringerer Spreizung um Mittelwert
- **Kein Hinweis auf Anstieg der OS-Belastung durch PV-Einspeisung**

## Der THD und die Sonnenscheindauer

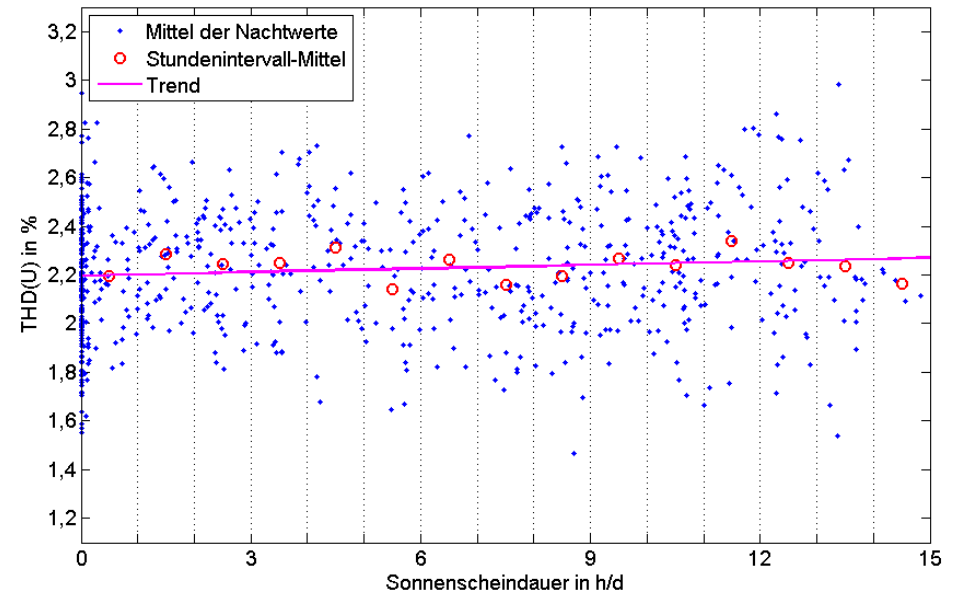


- Fallende Oberschwingungsbelastung an Tagen mit mehr Sonne

# Der THD und die Sonnenscheindauer differenziert nach Tag und Nacht



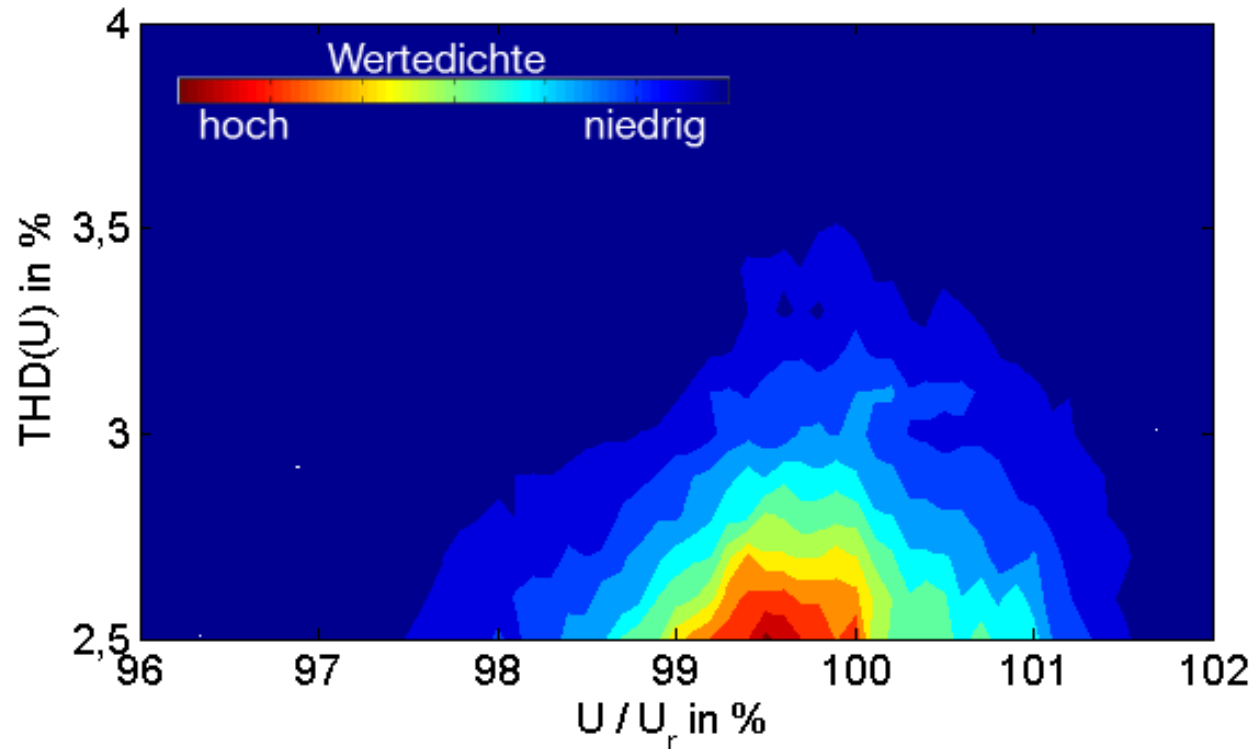
- Fallende Oberschwingungsbelastung an Tagen mit mehr Sonne
- Geringere Abweichung der Tagesmittel von Trendlinie



- Leicht steigende Oberschwingungsbelastung an Tagen mit mehr Sonne
- Größere Abweichung der Tagesmittel von Trendlinie, höhere mittlere Standardabweichung

→ **Kein Anstieg der Oberschwingungsbelastung an Tagen mit mehr Sonne**

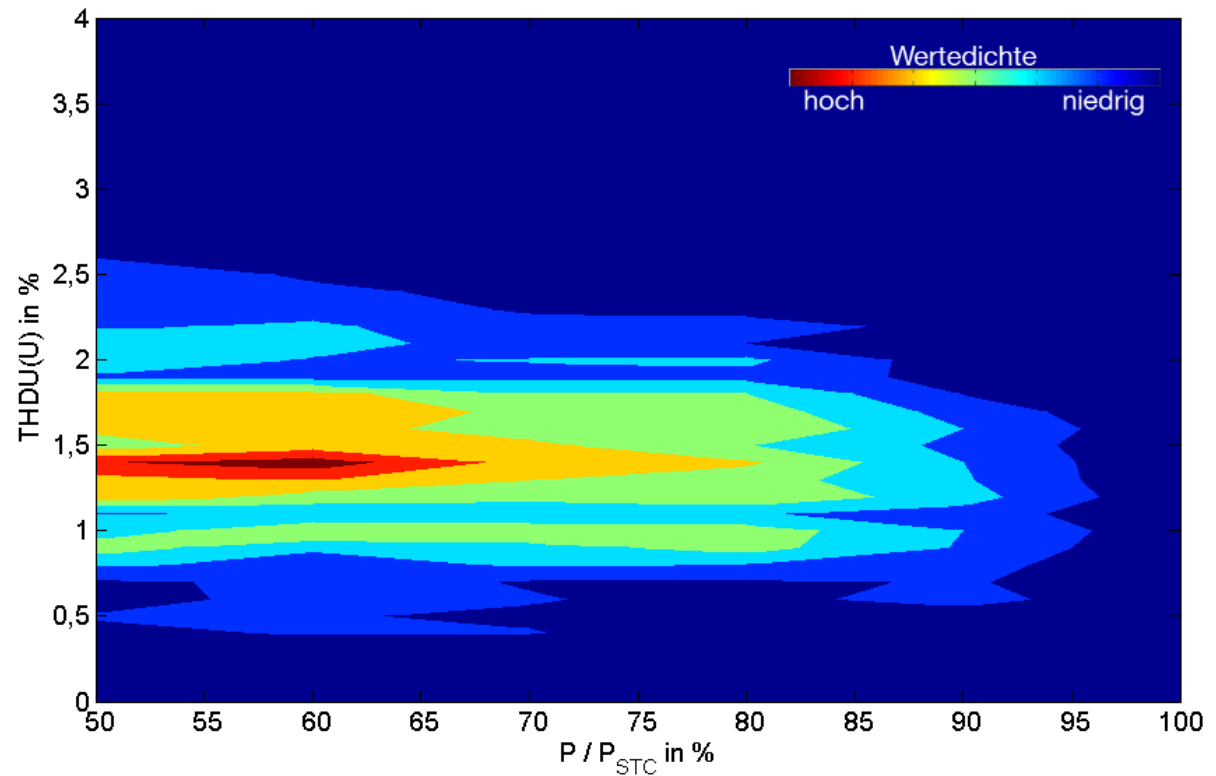
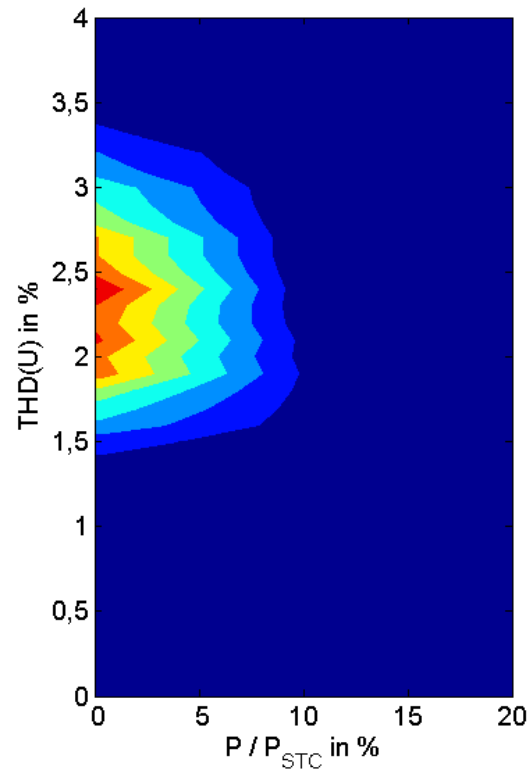
## Der THD in Abhängigkeit der Spannungshöhe



- Werte im Bereich zwischen 97,5 % - 101,5 % ·  $U_r$
  - Schwerpunkt zwischen 99 % – 100 % ·  $U_r$
- **Kein THD-Anstieg hin zu höheren Spannungen**

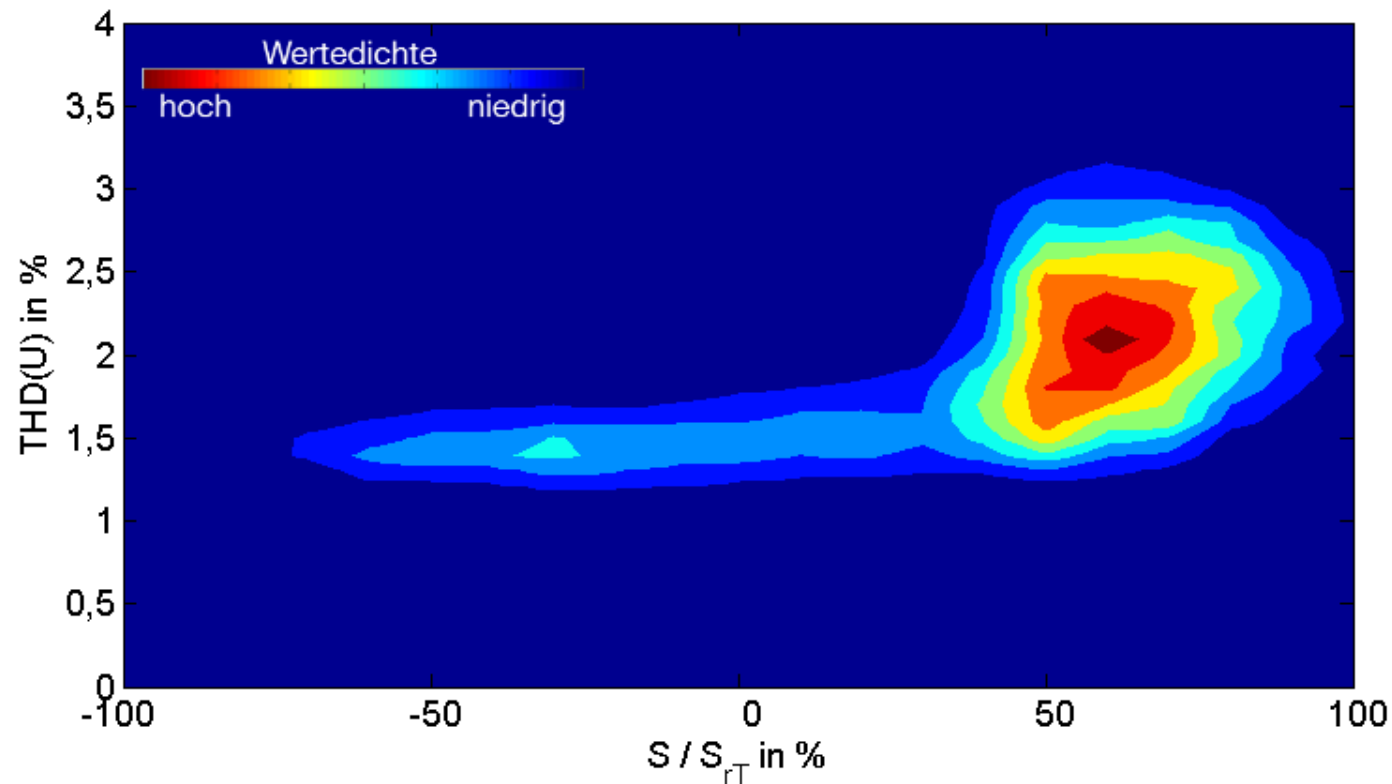


## Der THD in Abhängigkeit der PV-Einspeiseleistung



→ Kein THD-Anstieg bei steigender PV-Einspeiseleistung

## Der THD in Abhängigkeit des Leistungsflusses an den Ortsnetztransformatoren



- Mehr Zeitpunkte mit Verbrauch → Schwerpunkt
  - Abgesenkter THD-Pegel zu Zeiten von Rückspeisung
- **Kein THD-Anstieg bei Rückspeisung**



## 1. Einführung

## 2. Datengrundlage

## 3. Ergebnisse

- Statistische Auswertung
- Prüfung auf Einhaltung der Norm
- THD  $\leftrightarrow$  Jahres- / Tageszeit
- THD  $\leftrightarrow$  Sonnenscheindauer
- THD  $\leftrightarrow$  Spannungshöhe
- THD  $\leftrightarrow$  PV-Einspeiseleistung
- THD  $\leftrightarrow$  Leistungsfluss an Ortsnetztransformatoren

## 4. Fazit

## Fazit

- Die statistische Auswertung der Messdaten zeigt moderate Oberschwingungspegel in allen untersuchten Ortschaften.
  - An keinem HA ist es zu Normverletzungen gekommen.
  - Die unabhängige Betrachtung der Oberschwingungsbelastung in Abhängigkeit
    - Der Jahres- und Tageszeit
    - Der Sonnenscheindauer
    - Der Spannungshöhe
    - Der PV-Einspeiseleistung
    - Dem Leistungsfluss über die Ortsnetztransformatorenzeigt keinen Anstieg bei hoher PV-Einspeisung.
- Unter Beibehaltung aktueller Planungsprämissen ist mit keinen Oberschwingungsproblemen bei weiterem PV-Zubau im Untersuchungsgebiet zu rechnen



Fachgebiet  
Elektrische Energieversorgungsnetze

Technische Universität München



HOCHSCHULE  
FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN · FH  
MÜNCHEN

bayernwerk TUM

# Forschungsprojekt „Netz der Zukunft“

**Dipl.-Ing. Robert Pardatscher**

Technische Universität München  
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze  
Arcisstraße 21, 80333 München, Deutschland

Tel.: +49.89.289.25098

Fax: +49.89.289.25089

Email: [robert.pardatscher@tum.de](mailto:robert.pardatscher@tum.de)

Web: [www.een.ei.tum.de](http://www.een.ei.tum.de)