



## 16. Symposium Energieinnovation

# Feldtestergebnisse einer kommunikationsbasierten Spannungsregelung für Niederspannungsnetze

**Bastian Maucher**

Graz, 13.02.2020

Technische Universität München  
Professur für elektrische Energieversorgungsnetze

# Agenda

1. Motivation
2. Übergeordnetes Spannungsregelkonzept
  - a. Aufbau des Regelkonzeptes
  - b. Aufbau im Feldtest
3. Ergebnisse
  - a. Leistungs- und Spannungsgradienten im Feldtest
  - b. Spannungsregelkonzepte im Feldtest
4. Zusammenfassung, Forschungsbedarf

# Motivation

## **Aktuelle Situation in den (Niederspannungs-)Verteilnetzen in Deutschland:**

- steigende Anzahl Erneuerbarer Energien in den Verteilnetzen zu erwarten
- hauptsächlich umrichterbasierte PV-Anlagen
- Umkehr des Leistungsflusses
  - ⇒ Verletzungen des erlaubten Spannungsbandes
  - ⇒ Erreichen der thermischen Grenzen der Betriebsmittel
  - ⇒ konventioneller Netzausbau

# Motivation

## Vorgaben aus der DIN EN 50160:

1,1 pu Spannungsobergrenze am Niederspannungs-Netzknoten  
(Spannungsanhebung aus Mittel- und Niederspannung)

## Spannungshaltungsmaßnahmen aus der VDE-AR N 4105:

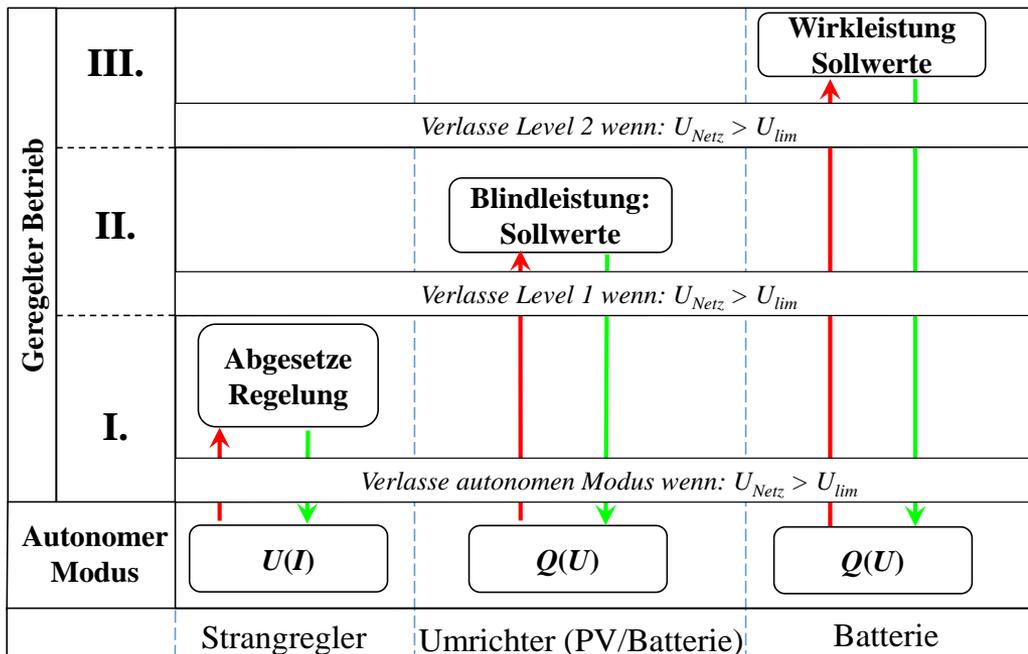
Spannungssteuerung		Spannungsregelung	
Fester $\cos\varphi$	$\cos\varphi(P)$	rONT	$Q(U)$
0,95: $S_E < 4,6$ kVA 0,90: $S_E > 4,6$ kVA			

# Übergeordnetes Regelkonzept

## Wo macht es Sinn?

- mehrfachgespeiste Ortsnetze  
rONT ist dort wegen Kreisflüssen u. regelungstechnischem Aufwand nicht einsetzbar
- einspeisestarke Ortsnetze an lastdominierten Mittelspannungsnetzen

## Ablauf:

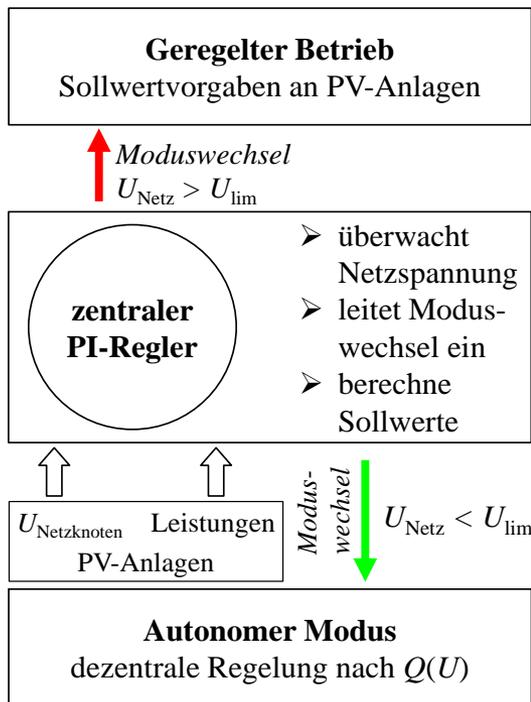


# Übergeordnete Regelung im Feld

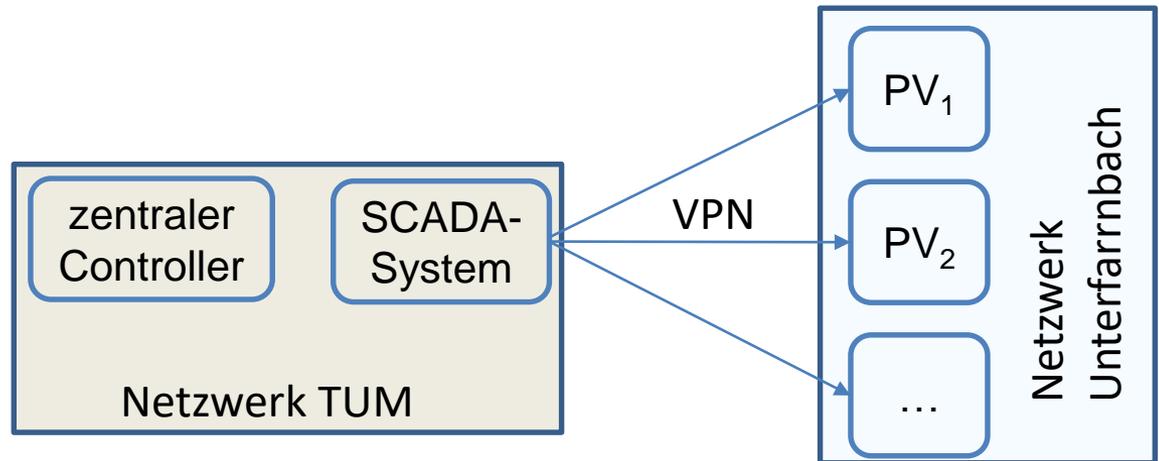
## Welche Betriebsmittel?

- PV-Anlagen:
- Längsregler noch nicht in die Regelung eingebunden

## Ablauf:



## Kommunikation:

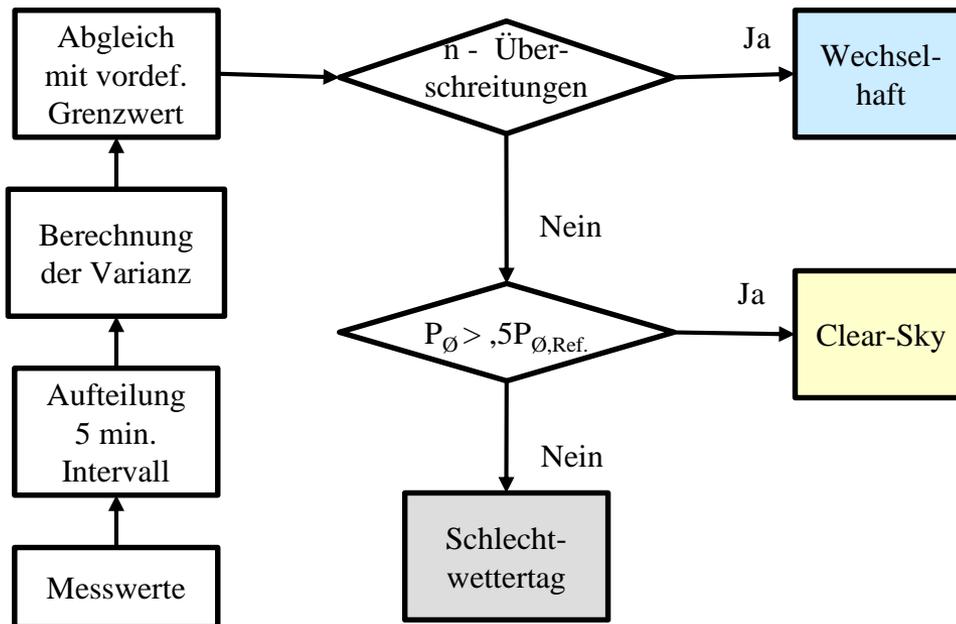


## Ergebnisse – Messwertfilterung

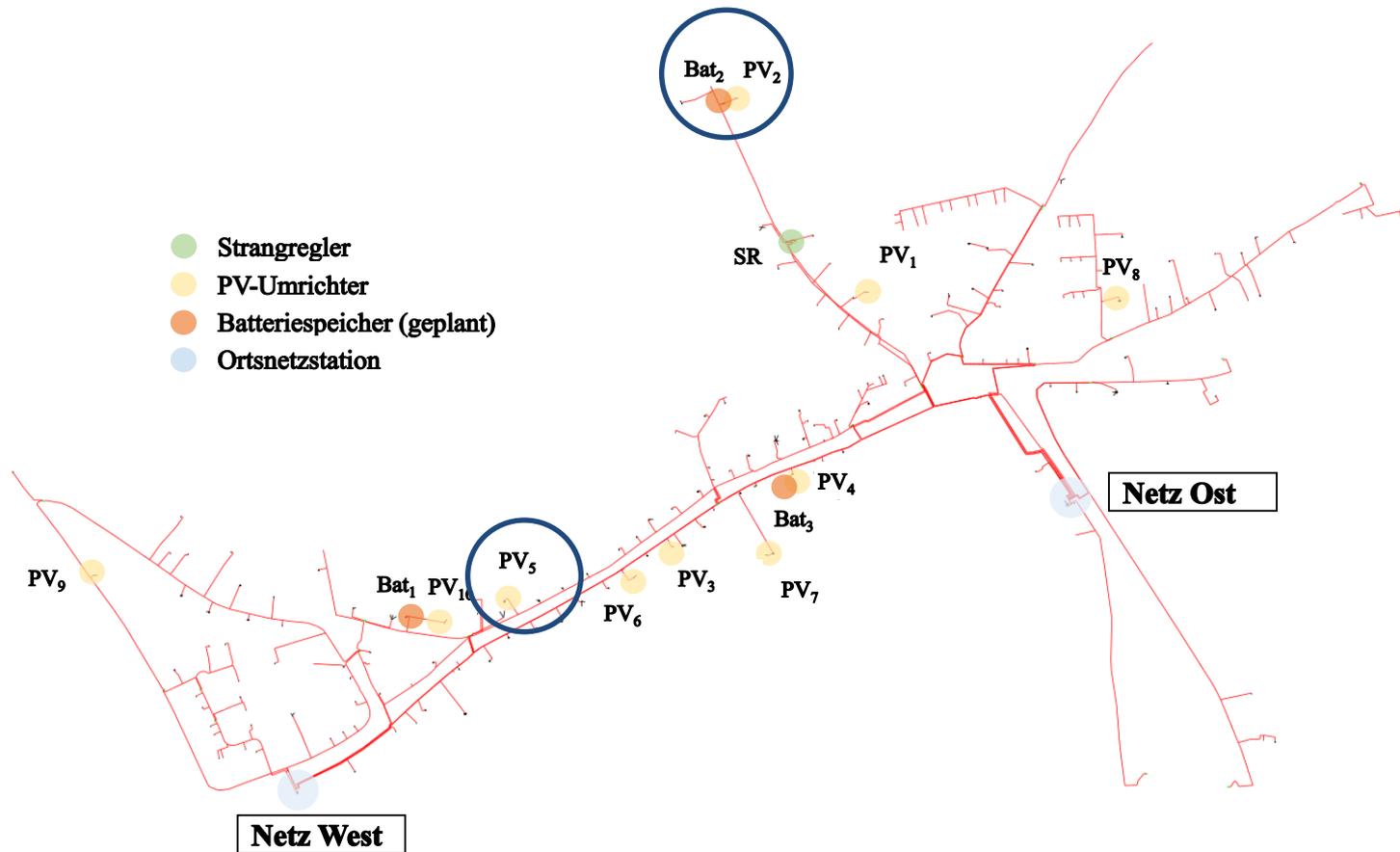
### Welche Rückschlüsse können gezogen werden?

- Zusammenhang zwischen Leistungsgradienten der PV-Anlagen Spannungsgradienten
- Spannungsgradienten nützlich für Tuning des Controllers

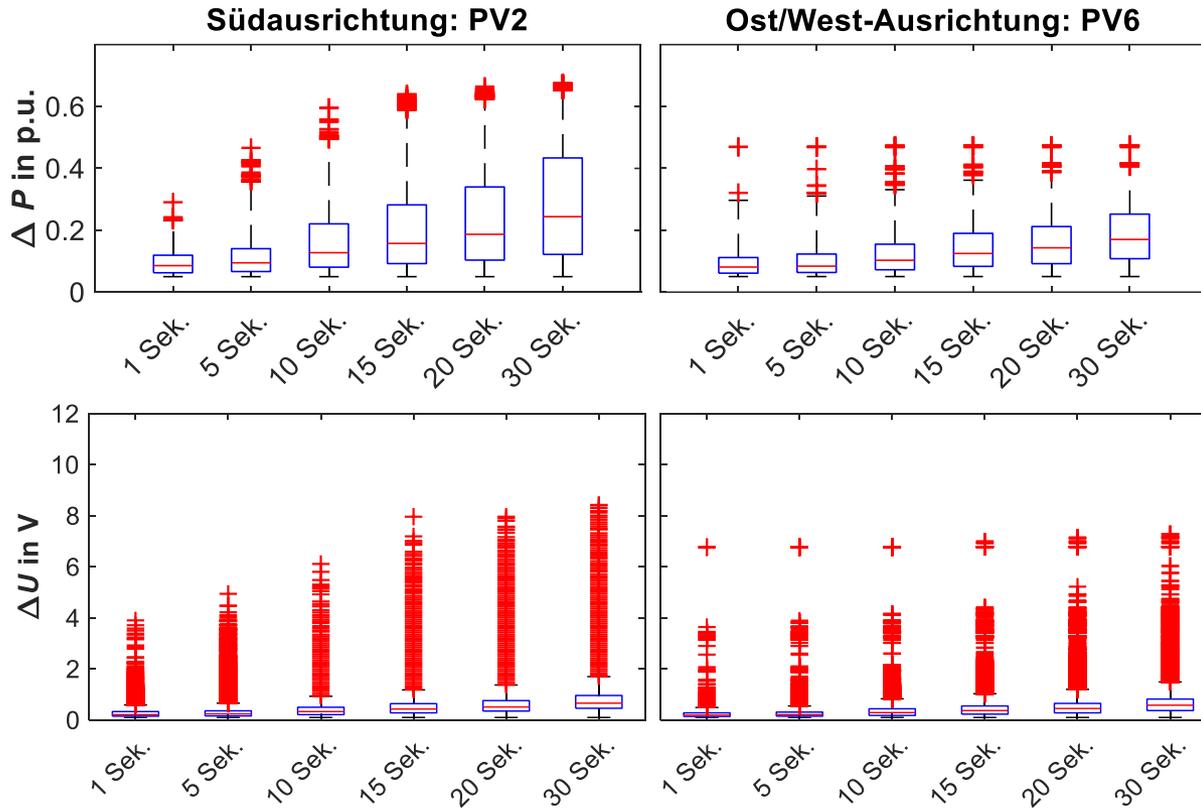
### Filterung der Messdaten:



# Ergebnisse – Feldtestaufbau



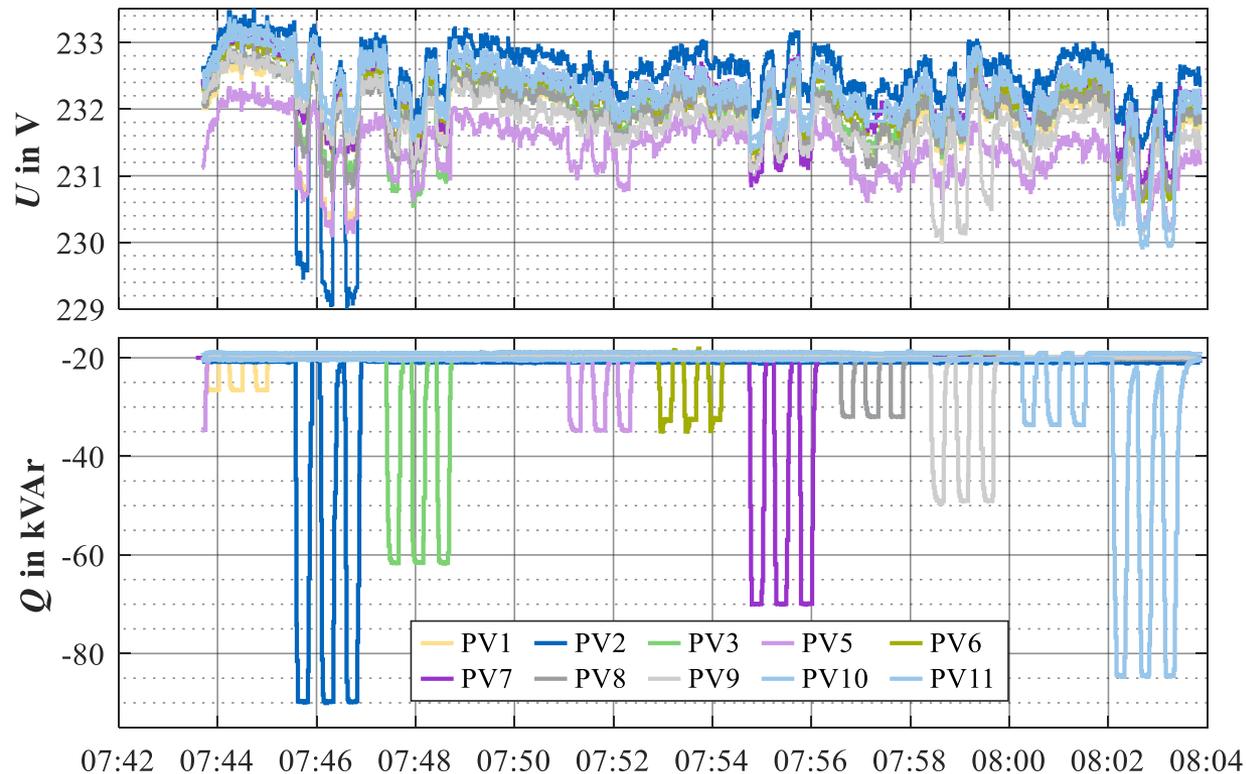
# Ergebnisse – Leistungs-/ Spannungsgradienten



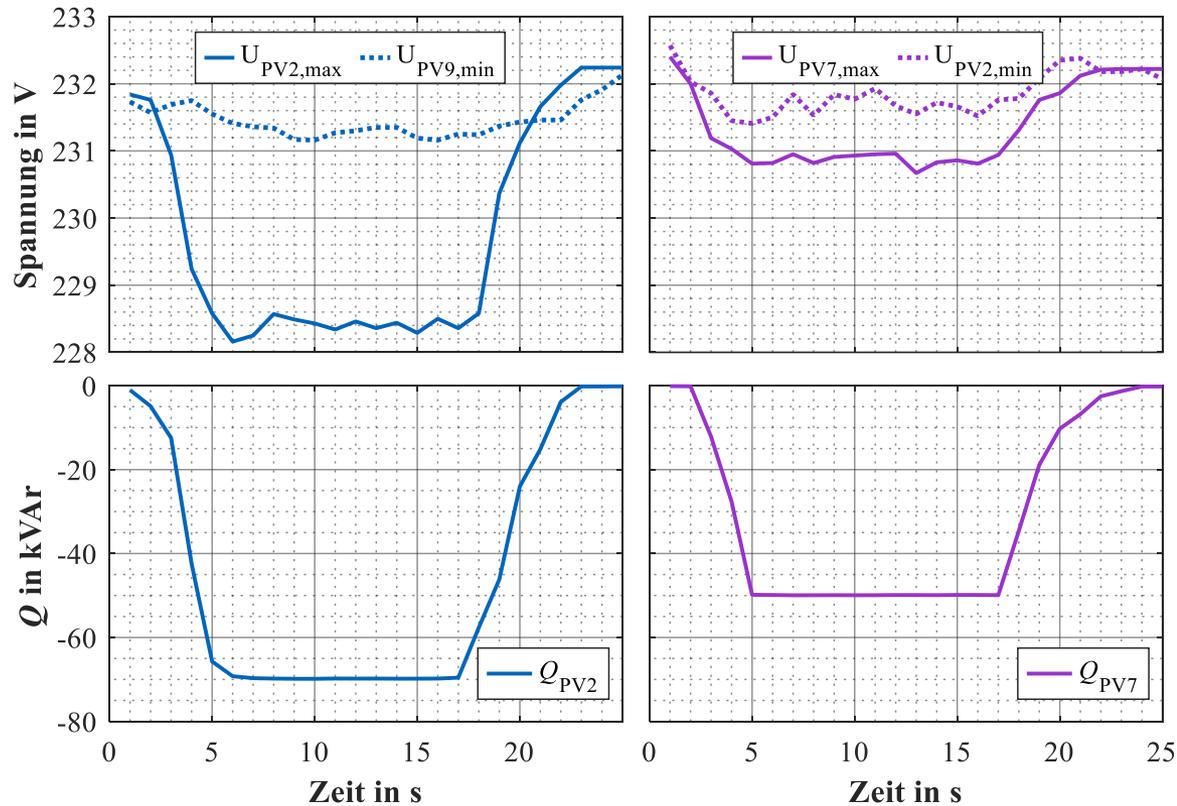
- Leistungsgradienten von 0,4 pu bei 30-Sekunden-Zeitintervall (75%-Quantil)
- Spannungsgradienten kleiner als 2 V (75%-Quantil)

## Ergebnisse – Sensitivitätsmessung

- Blindleistungs-Sollwerte in der Höhe von  $80 \% \cdot S_E$  an die regelbaren PV-Anlagen
- Spannungsänderung an jedem Netzknoten werden erfasst
- Sensitivitätsmatrix: Wirksamkeit jeder PV-Anlage auf die Netzknotenspannungen



## Ergebnisse – Sensitivitätsmessung (Details)



- Blindleistungssprung an  $PV_2$
- Netzspannung an  $PV_2$  sinkt um ca. 4 V
- kleinster Einfluss auf  $PV_9$

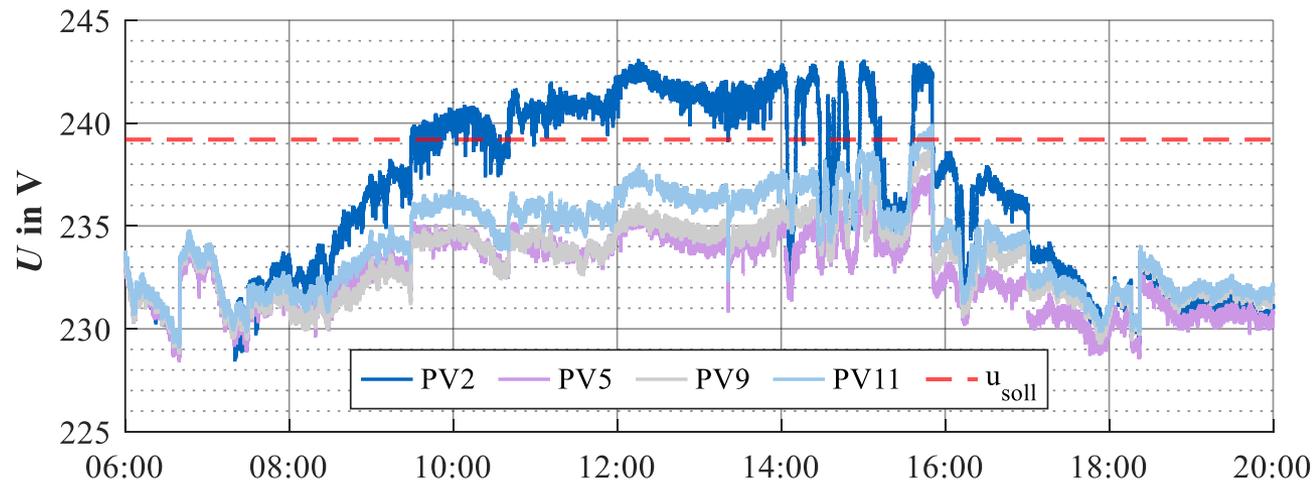
## Ergebnisse – Sensitivitätsmatrix

↓
↓

Sprung an PV <sub>2</sub>	PV*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
→	2	2,479	5,050	1,422	1,703	1,803	1,216	1,416	1,576	0,823	0,977	0,982
	3	1,583	1,504	3,194	1,806	1,485	1,704	2,039	1,912	1,442	1,591	1,579
	6	1,520	1,238	1,876	1,647	1,308	2,617	2,214	1,727	1,990	1,971	1,923
	7	1,542	1,238	2,244	1,758	1,396	1,808	2,850	1,886	1,629	1,742	1,711
	8	2,318	2,175	2,337	2,345	2,001	1,596	2,008	3,703	1,462	1,782	1,668
	9	0,930	0,901	1,287	1,071	0,839	1,438	1,231	1,163	4,348	1,540	1,691
	11	1,028	1,017	1,437	1,205	0,927	1,647	1,481	1,391	1,612	2,572	2,671

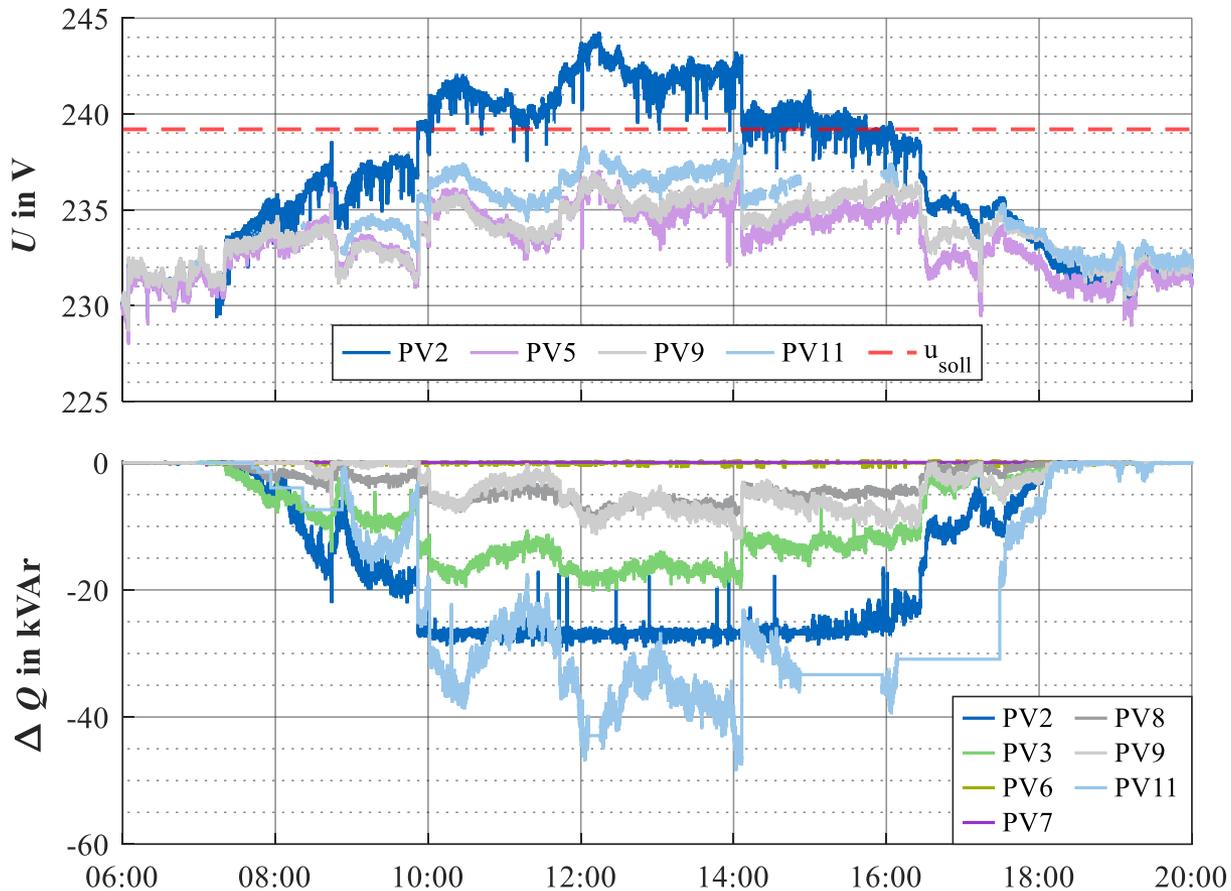
\* Angabe der Sensitivitäten in  $\frac{V}{100 \text{ kVAr}}$

## Ergebnisse – Referenz-Szenario



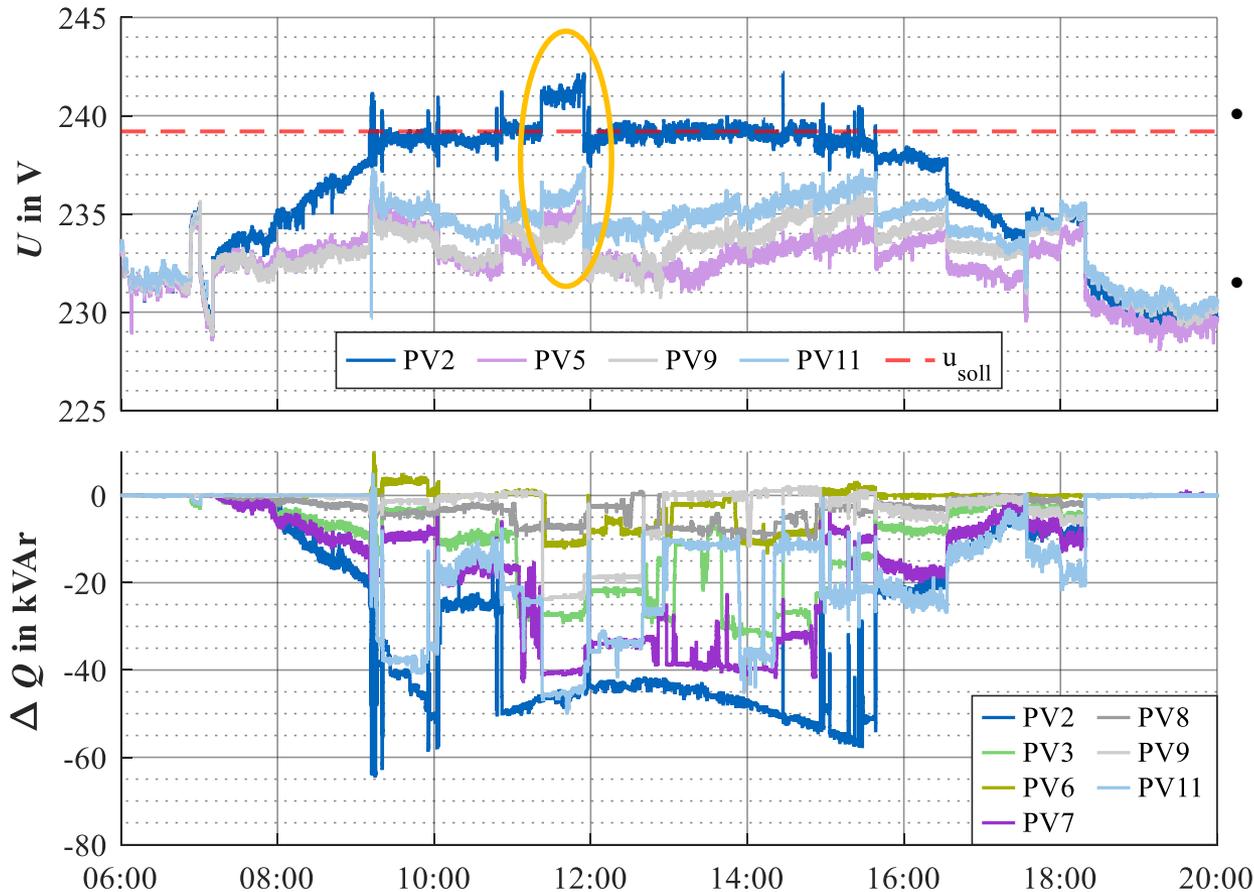
- Clear-Sky-Tag zur besseren Vergleichbarkeit der Spannungsentwicklung
- Grenzwert: 1,04 pu (239 V)
- Spannungsgradienten nützlich für Tuning des Controllers

## Ergebnisse – $Q(U)$



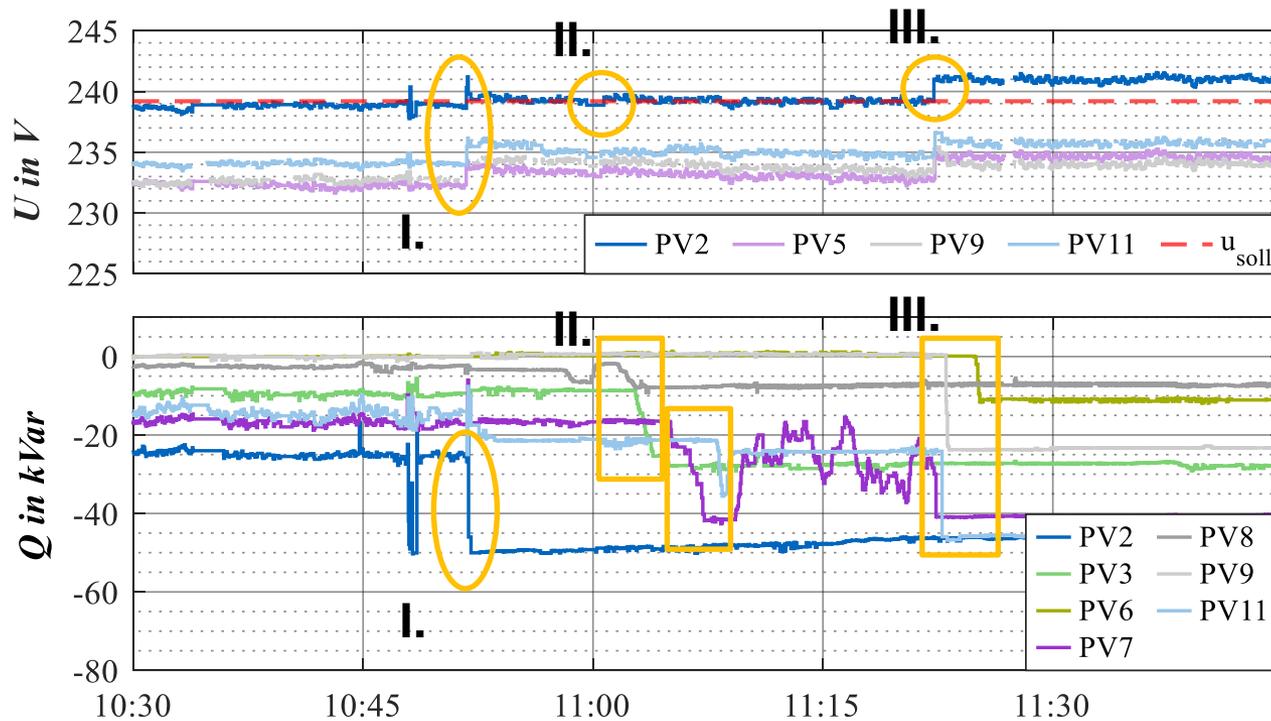
- Maximalwert: 244 V (Leistungsfluss höher als am Referenztag)
- $Q(U)$  an  $PV_2$  ausgereizt
- andere PV-Anlagen haben noch Leistungsreserven

## Ergebnisse – übergeordnete Spannungsregelung



- Spannung kann mittags auf 239 V gehalten werden
- Stufensteller-Schaltung bei ausgereizter Leistungsreserve  
→ Grenzwertverletzung

# Ergebnisse – übergeordnete Spannungsregelung (Details)



## Reihenfolge:

I.

1: PV<sub>2</sub>

II.

2. PV<sub>8</sub>

3. PV<sub>3</sub>

4. PV<sub>7</sub>

5. PV<sub>11</sub>

III.

PV<sub>9</sub>, PV<sub>6</sub>

## Ergebnisauswertung

	Regel-Algorithmus	Q(U) -Kennlinie	Referenz Tag
$U_{PV2}$	242,13 V	244,24 V	243,05 V
$U_{NS,Trafo}$	234,67 V	235,35 V	234,48 V
$P_{PV,ges}$	231,07 kW	226,18 kW	213,6 kW
$P_{Trafo}$	-455,42 kW	-483,08 kW	-426,82 kW
$Q_{PV,ges}$	-220,01 kVAr	-99,36 kVAr	-7,1 kVAr
$Q_{Trafo}$	258,03 kVAr	142,76 kVAr	16,58 kVAr
$\Delta U_{PV2-U,trafo}$	7,46 V	9,03 V	9,45 V
$\Delta U_{Trafo}$	2,8 V	1,5 V	0,33 V

## Zusammenfassung

	Dezentrale Regelverfahren	Übergeordnete Spannungsregelung
Vorteile	einfache Implementierung	Hohes Spannungssenkungspotential
	bewährte Verfahren	Weitere Netzdienstleistungen denkbar
Nachteile	Betriebsmittel für Spannungsregelung nicht optimal ausgenutzt	benötigt Kommunikation
	weitere Netzdienstleistungen derzeit nicht abrufbar	finanziell u. technisch aufwändiger