

# *morePV2grid Erkenntnisse auf dem Weg in die Praxis quo vadis $Q(U)$ , $\cos\varphi$ , ...*



© AK

Benoît Bletterie

Senior Engineer

Energy Department

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Graz, 23.05.2014

Andreas Abart

Power Quality Manager

Network Assets

Netz Oberösterreich GmbH

Graz, 23.05.2014

## Inhalt

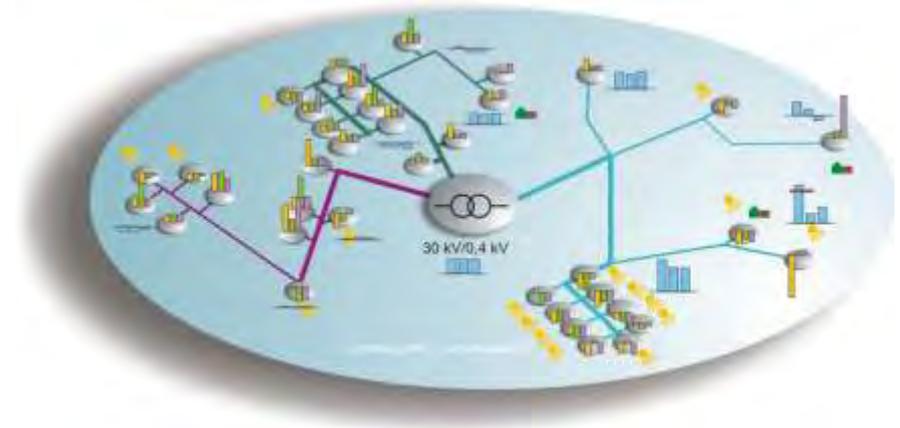
1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)
3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)
4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)
5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz
6. Zusammenfassung

## Inhalt

1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)
3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)
4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)
5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz
6. Zusammenfassung

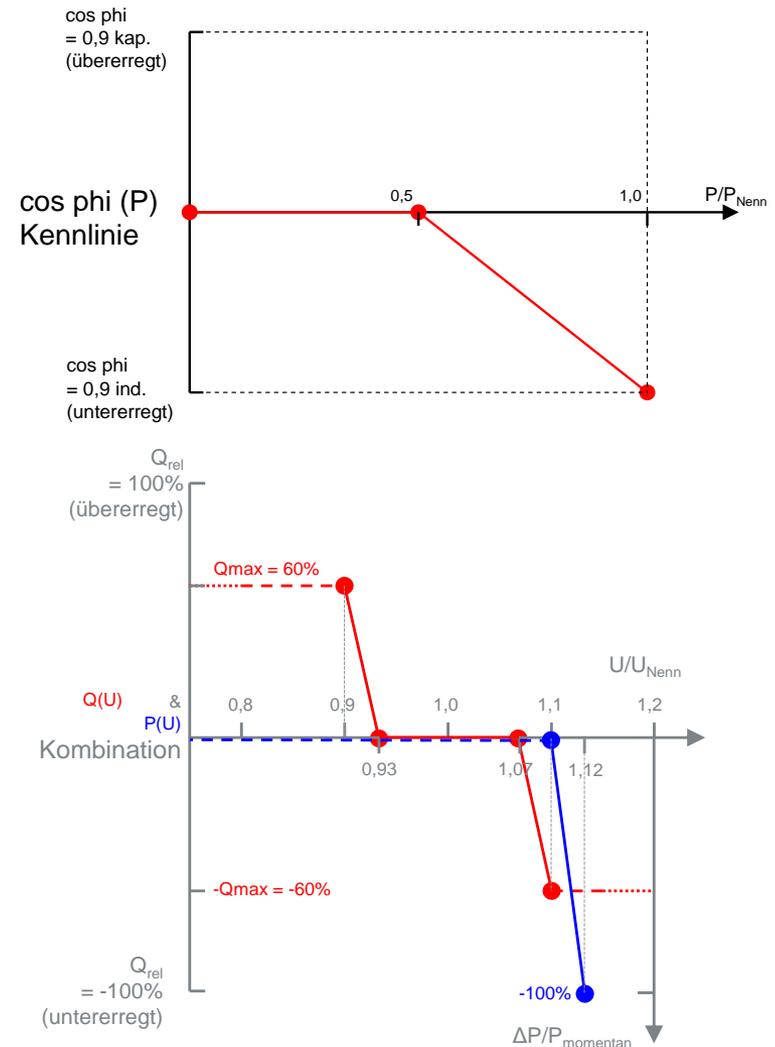
## morePV2grid Ansatz: „muss können“ → Umsetzung

- Motivation:
  - Reserven (*hosting capacity*) schnell erreicht
  - Lokale Probleme lokal lösen
  - Aber: Komplexität steigt, Erfahrungen fehlen
  
- morePV2grid Ansatz: *Simulationen, Labortests* und *Feldtests*:
  - Quantifizierung der Auswirkung einer hohen PV-Dichte (Sim)
  - Abschätzung der Wirksamkeit (Sim) / Stabilitätsuntersuchungen
  - Entwicklung
  - Validierung (Labor- & Feldtests)



# Beitrag der PV zur Spannungshaltung

- Mögliche Ansätze:
  - $\cos\varphi$  konstant
  - $\cos\varphi(P)$
  - $Q(U)$
  - $Q\&P(U)$
  - $Q(U,P)$
  - ...
  - Koordinierte Regelung:
    - mit zentralem Regler
    - optional: mit rONT ...



## Inhalt

1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
- 2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)**
3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)
4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)
5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz
6. Zusammenfassung

# Kompensation der Spannungsanhebung für NS-Kabel und -freileitungen

$$\Delta U \approx \frac{R \cdot P}{U_N^2} \cdot \left[ 1 - \tan(\varphi) \cdot \frac{1}{R/X} \right]$$

- $\Delta U$  Relative Spannungsanhebung (nach Blindleistungsregelung)
- $\varphi$  Einspeisewinkel
- $R$  Ohmscher Anteil der Netzimpedanz (Widerstand)
- $X$  Induktiver Anteil der Netzimpedanz (Reaktanz)
- $P$  Anlage Nennwirkleistung
- $U_N$  Nennspannung am Verknüpfungspunkt

Querschnitt <sup>1</sup> (mm <sup>2</sup> )	Freileitung		Kabel	
	R/X	Kompensation @cosφ=0,90 (%)	R/X	Kompensation @cosφ=0,90 (%)
<b>50</b>	1.9	26.1	7.2	6.8
<b>70</b>	1.4	34.4	5.3	9.1
<b>95</b>	1.1	45.6	3.8	12.9
<b>120</b>	0.8	57.1	3.2	15.2
<b>150</b>			2.6	18.6
<b>240</b>			1.7	29.2

## Vergleich der Regelungsmodi (qualitativ)

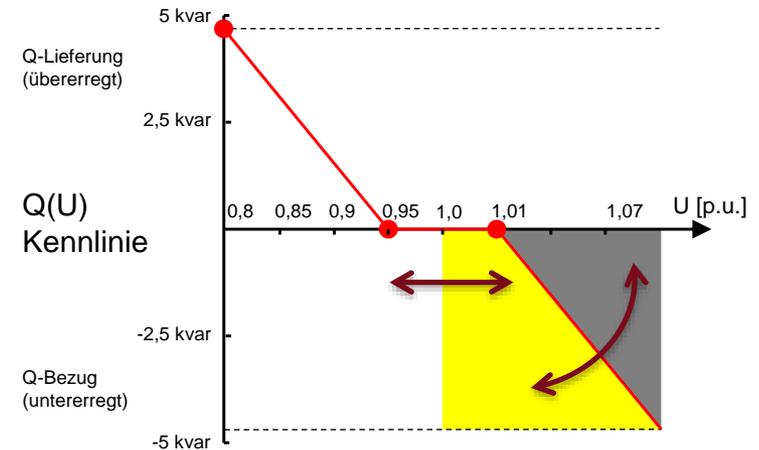
Regelungsart	$\cos\varphi(P)$	Q(U)	Q&P(U)
<b>Wirksamkeit<sup>[1]</sup></b> (Reduzierung der Spannungsanhebung)	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> am wirksamsten: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alle Anlagen tragen gleichmäßig bei</li> <li>▪ Anlagen in Nebensträngen helfen über die Traforeaktanz mit</li> </ul>	<input checked="" type="checkbox"/> weniger wirksam als $\cos\varphi(P)$ (nur Anlagen, die auch eine erhöhte Spannung messen helfen mit).	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Wirksamkeit der Blindleistungsregelung wie bei Q(U). Durch P(U) Spannungsanhebungen über einen wählbaren Grenzwert unmöglich.
	<input checked="" type="checkbox"/> undifferenzierte senkende Wirkung	<input checked="" type="checkbox"/> Stützung bei Unterspannung (sofern PV-Einspeisung vorhanden)	<input checked="" type="checkbox"/> Stützung bei Unterspannung (sofern PV-Einspeisung vorhanden)
<b>Einfluss auf Blindleistungshaushalt / Netzverluste</b>	<input checked="" type="checkbox"/> teilweise unnötiger Blindleistungsbezug (geringer als bei $\cos\varphi$ )	<input checked="" type="checkbox"/> kein unnötiger Blindleistungsbezug	<input checked="" type="checkbox"/> kein unnötiger Blindleistungsbezug
	<input checked="" type="checkbox"/> erhöhte Netzverluste	<input checked="" type="checkbox"/> keine unnötige Erhöhung der Netzverluste	<input checked="" type="checkbox"/> keine unnötige Erhöhung der Netzverluste
<b>Komplexität der Parametrierung (Netzplanung)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> einfach (aber $U_{\max}$ nicht mehr unbedingt bei $P_{\max}$ ) <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionierung des WR sollte berücksichtigt werden	<input checked="" type="checkbox"/> komplexere Parametrierung; Kompromiss Wirksamkeit / Blindleistungsbezug	<input checked="" type="checkbox"/> komplexere Parametrierung; Kompromiss Wirksamkeit / Blindleistungsbezug / Wirkleistungsbegrenzung <sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup> Die Wirksamkeit ist mit dem R/X Verhältnis inversproportional.

<sup>[2]</sup> unklare regulatorische Rahmenbedingungen (Anschlusszusage mit Ertragsverlust)

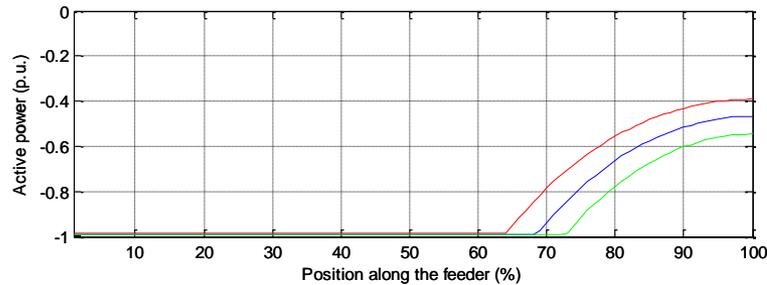
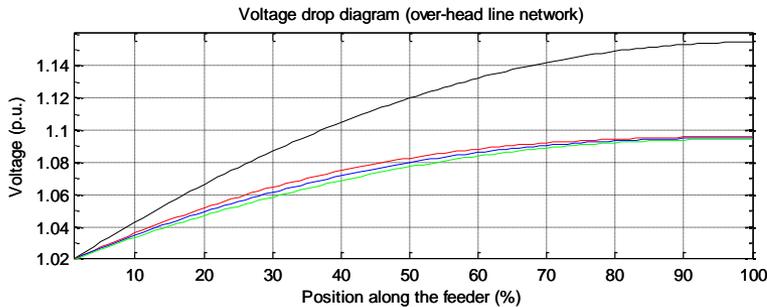
# Vergleich der Regelungsmodi (quantitativ) – parametrische Studie: $\cos\varphi(P)$ und $Q(U)$ (& $P(U)$ )

- Homogene verteilte PV Leistung entlang eines Strangs
- Parametervariation:
  - $\cos\varphi(P)$  nach VDE AR4105
  - $Q(U)$  (& $P(U)$ ): Stützpunkte zwischen 1.02 (Slack) und 1.09
  
- Annahmen:
  - Symmetrisch
  - Kabel- / Freileitungsnetz
  - Keine Lasten (= homogene Lasten)
  - PV Leistung (ohne Curtailment)  $\equiv$  7 % Spannungsanhebung
  - PV Leistung (mit Curtailment): +25 % Leistung

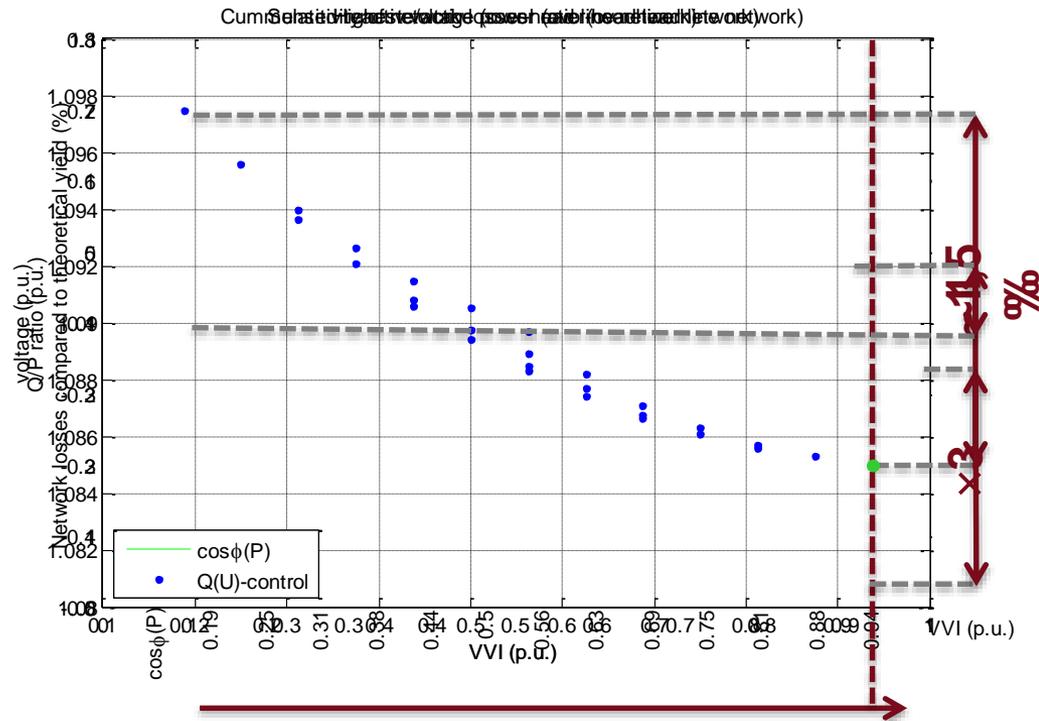


# Bewertung der Regelungsmodi

## Trade-off Wirksamkeit / Netzverluste / Curtailment



— Reference — Q(U) VVI=0.25 — Q(U) VVI=0.5 — Q(U) VVI=0.75

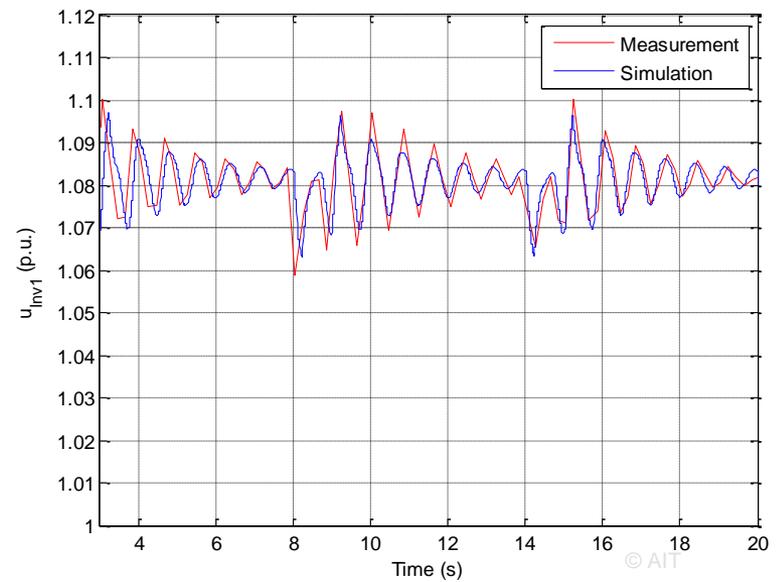
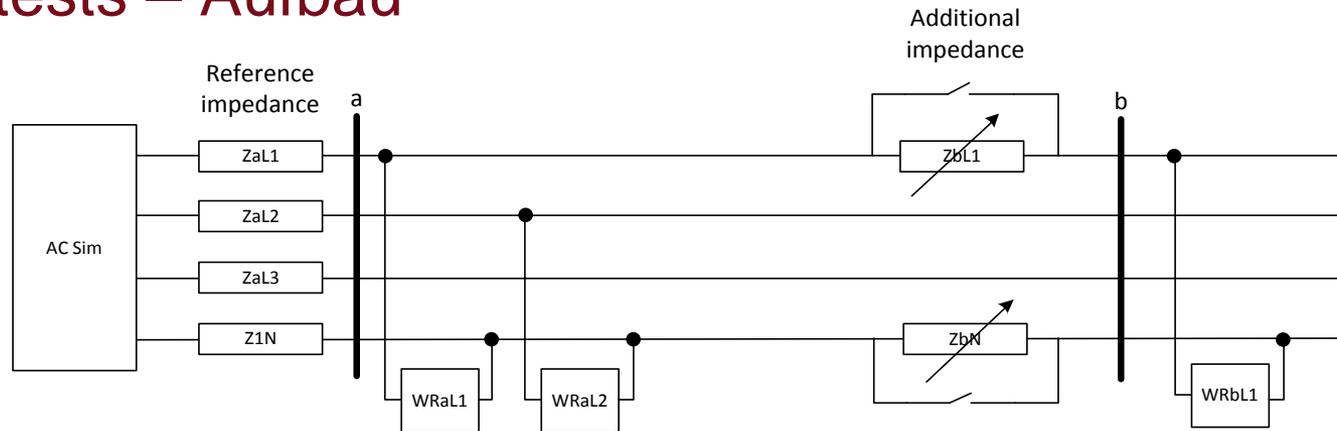


**Wirksamkeit**

## Inhalt

1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)
- 3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)**
4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)
5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz
6. Zusammenfassung

# Labortests – Aufbau



# Stabilität der Q(U)-Regelung

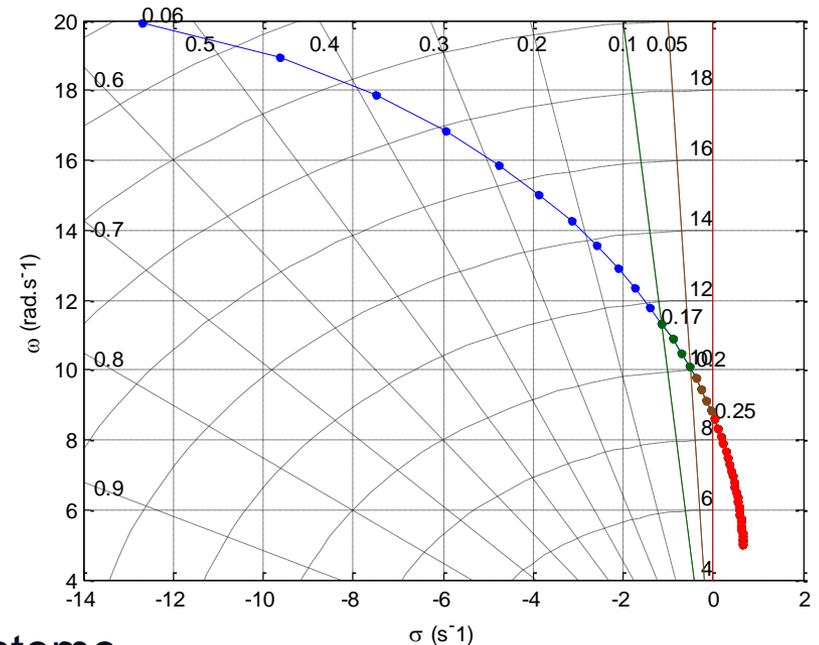
- Stabilitätskriterium:
- Worst-case Betrachtung:

$$\frac{T}{\tau} \leq \frac{1}{a_{\zeta} \cdot \frac{\Delta U_{PV}}{\Delta U_{droop}} \cdot \frac{\tan \varphi}{R/X} + b_{\zeta}}$$

Parameter	Parameter range
$\Delta U_{PV}$ (%)	6
$\Delta U_{droop}$ (%)	1
R/X (-)	1
$\cos \varphi$ (-)	0.90

## → Fazit

- Verzögerung darf nicht zu groß sein (1/6 von der gewünschten Antwortzeit)
- Keine Herausforderung für integrierte Systeme
- Soll betrachtet werden bei Systemen mit Kommunikation (z.B. MS-Anlagen)



## Inhalt

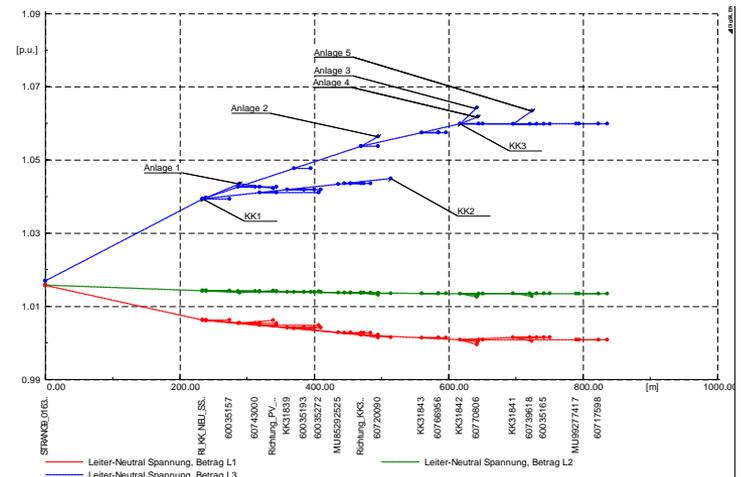
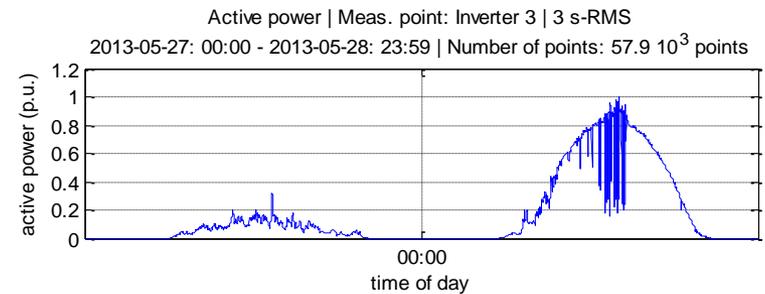
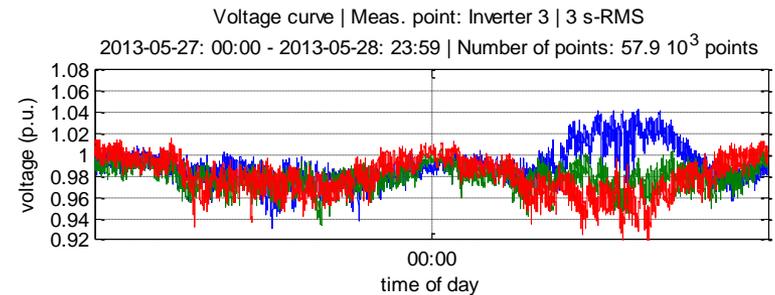
1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)
3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)
- 4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)**
5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz
6. Zusammenfassung



© mediagram

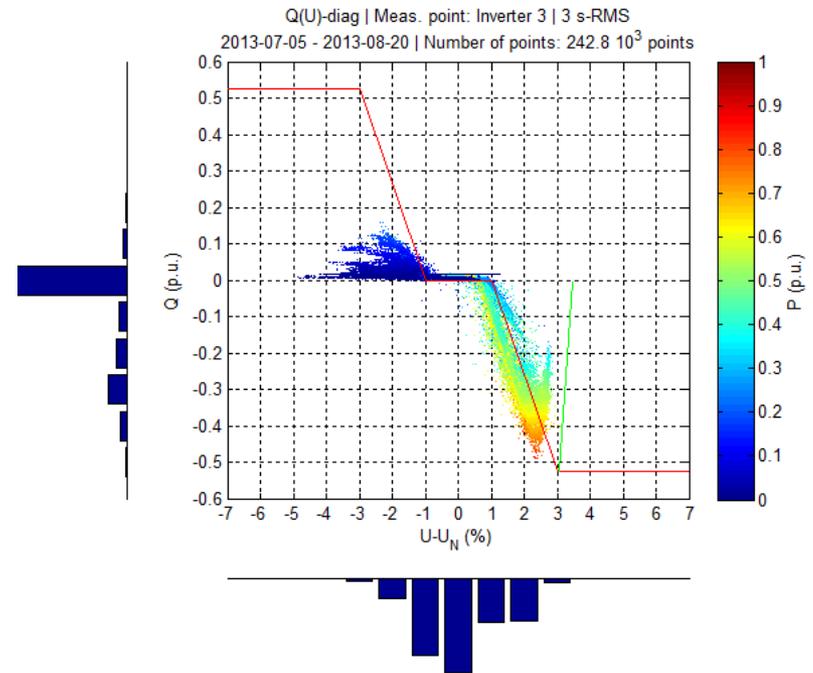
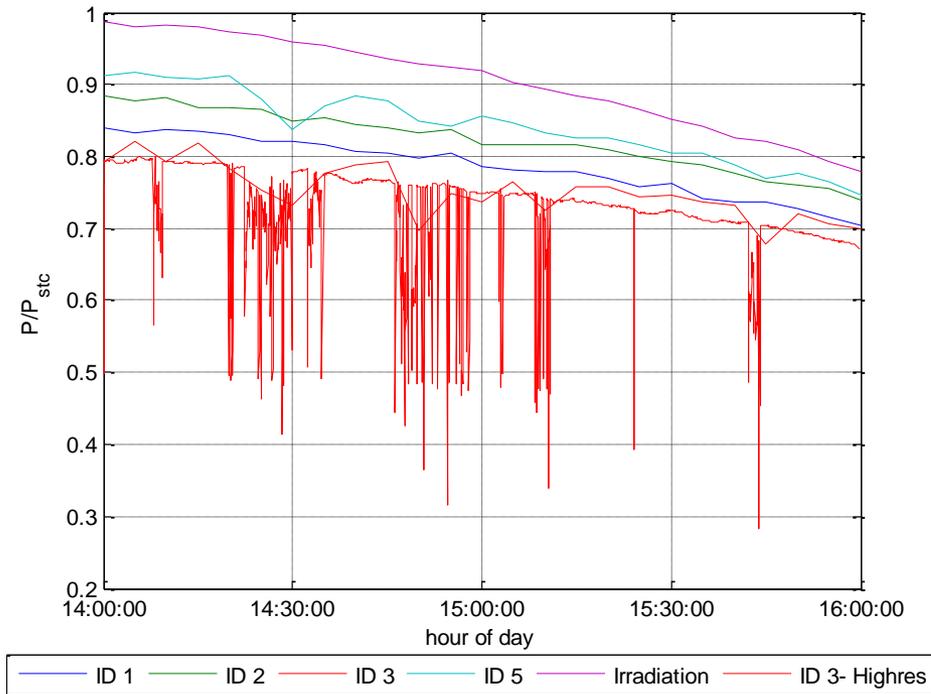
# Feldtests (Krenglbach - Strang 9)

- 5 Anlagen, davon 4 regelbar
- 15 kWp @ L1
- Spannungsanhebung: 4,9 %
- Kompensation der Anhebung: 1,5 %
- PQ-Messung & Wechselrichter-Monitoring
- Herausforderung: lange Beobachtungszeit benötigt



# Funktionelle Validierung der Spannungsregelung – Q&P(U)

2013-08-16 14:00-16:00



## Inhalt

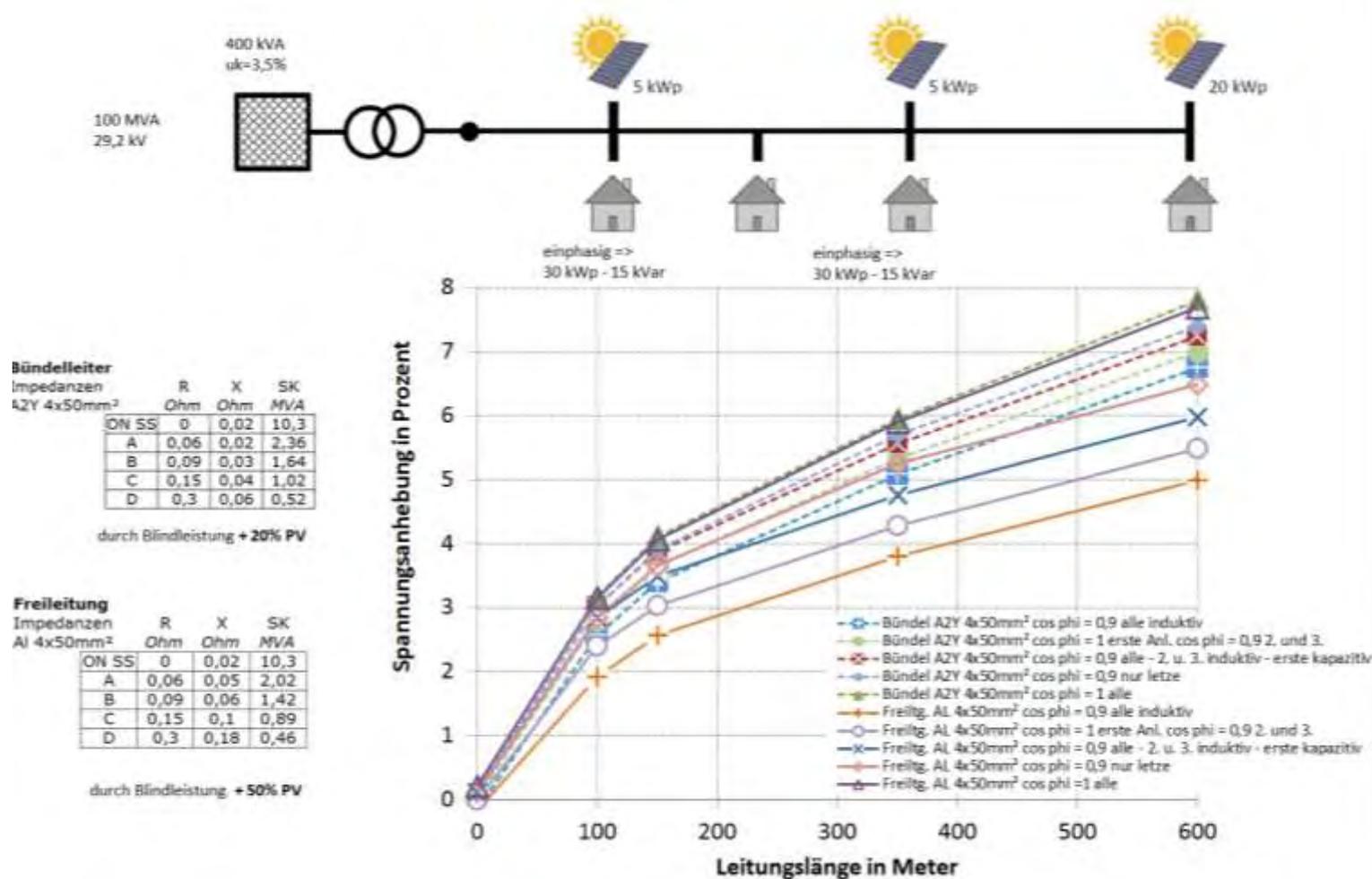
1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)
3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)
4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)
- 5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz**
6. Zusammenfassung

# Praktischer Einsatz des Q-Bezugs von DEA zur Spannungshaltung

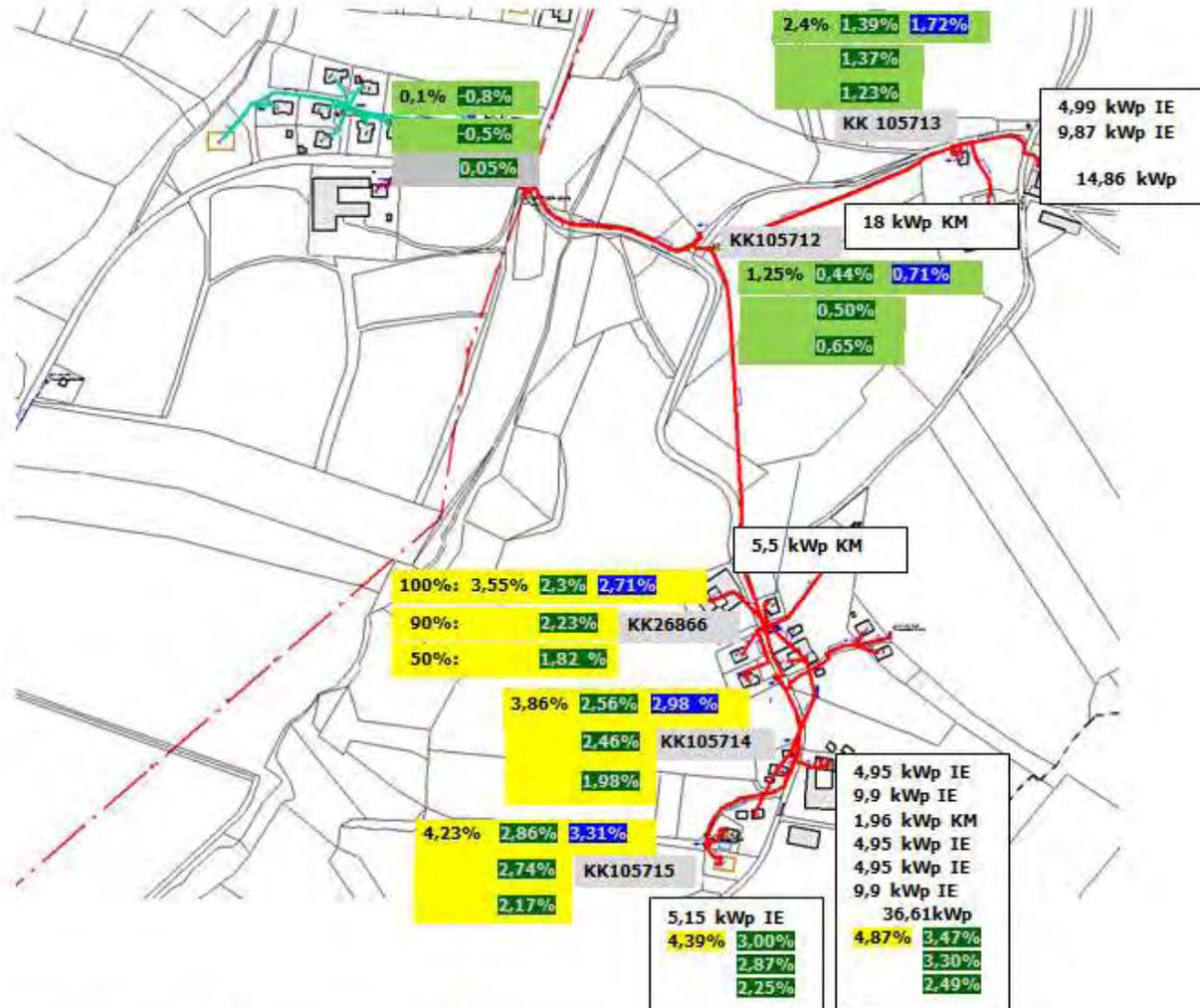
- Ausmaß der Wirkung unter Berücksichtigung von Ersatz alter Betriebsmittel durch neue
- Deckung des resultierenden Blindleistungsbedarfs
- Auswirkungen auf Lastfluss, Spannungsniveaus/Stufenreserve (insbesondere 110-kV-Netz)
- Langfristige Festlegung einheitlicher Einstellung
- Sicherstellung der Einstellungen (auch bei WR-Tausch, Firmwareupdate...)
- Integration in Planungstools
- Nutzen versus Aufwand



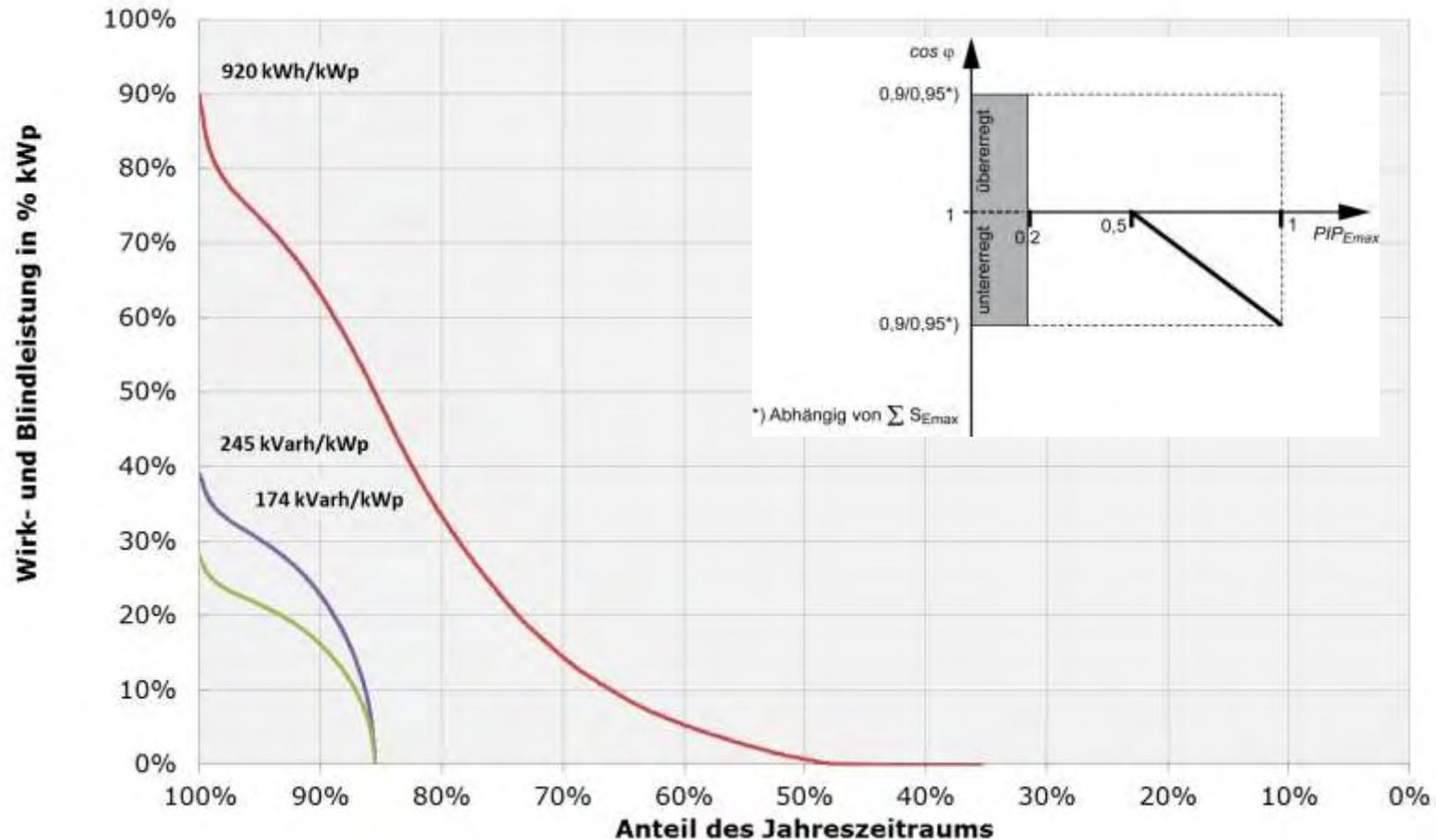
# Wirkung der Blindleistung für ein Strangmodell an verschiedenen Leitungstypen



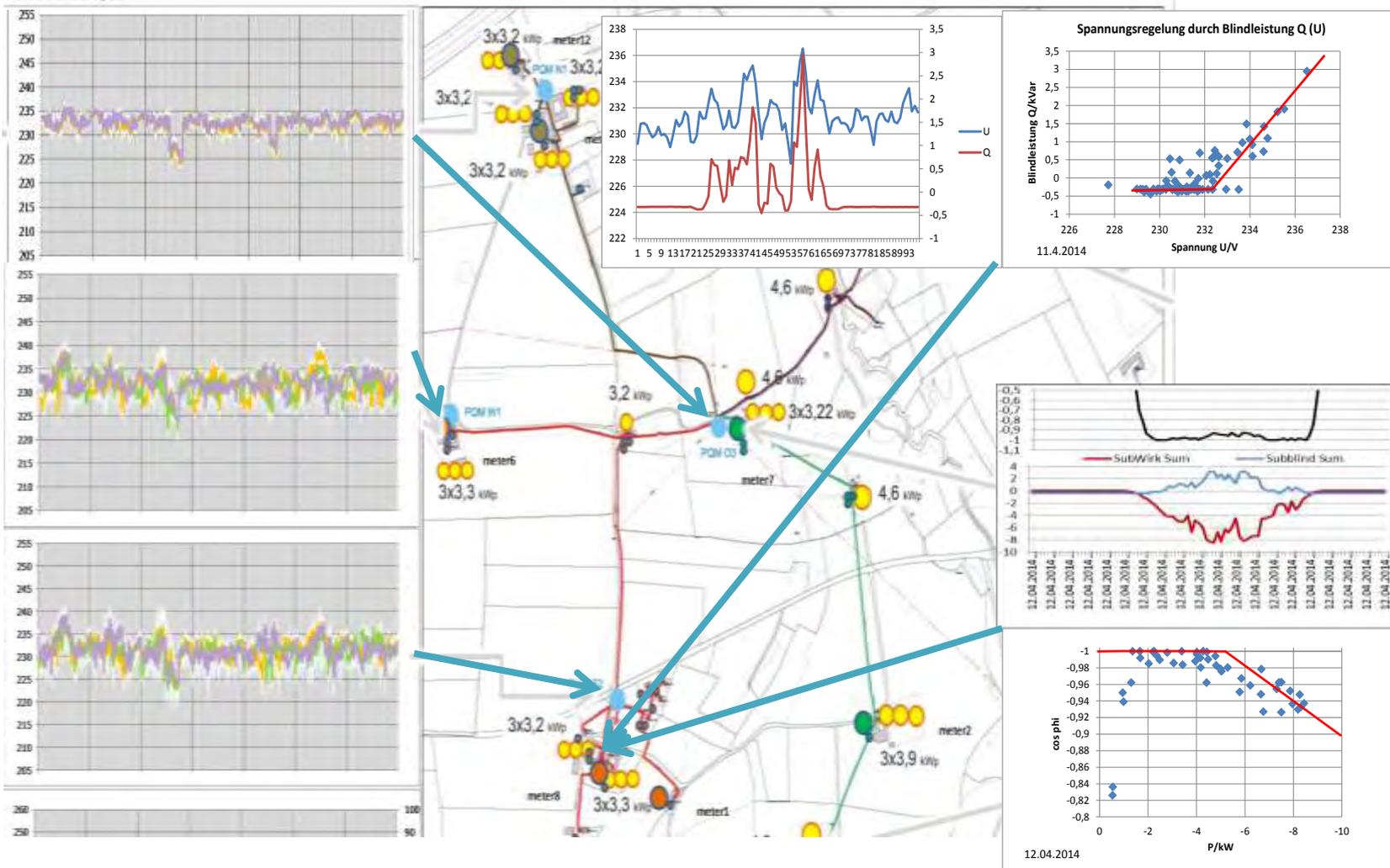
# Wirkung der Blindleistung an den Knoten eines Beispielnetzes



**Dauerlinie Blindleistungsbezug einer DEA bei  $\cos(\varphi(P))$  0,9 & 0,95**



# Q(U) & Cos phi(P) im Feldtest Eberstallzell



## Inhalt

1. Projektansatz und Möglichkeiten für einen Beitrag der PV zur Spannungshaltung
2. Wirksamkeit der Q-basierte Spannungsregelung (Sim)
3. Stabilität der Q(U)-Regelung (Labor)
4. Demonstration der Q&P(U) (Feld)
5. Praktischer Einsatz im Verteilernetz
6. Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Die Spannungsanhebung kann teilweise kompensiert werden (Wirksamkeit höher bei Freileitungen. Jedoch bis ca. 20 % in Kabelnetzen)
- Verschiedene Optionen (Q(U) cosphi(P) möglich. Bewertung / Vergleich notwendig
- Langfristig Einheitliche Einstellungen und deren Sicherstellung
- Q(U)-Regelung ist stabil. Stabilitätskriterium leicht einzuhalten bei integrierten Systemen
- Durch Feldtests konnte die Funktionsweise und die Wirksamkeit der Regelung(en) validiert werden.

## Vielen Dank für Ihr Interesse!

Benoît Bletterie  
Senior Engineer  
Energy Department  
AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Graz, 23.05.2014

Andreas Abart  
Power Quality Manager  
Network Assets  
Netz Oberösterreich GmbH  
Graz, 23.05.2014