



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

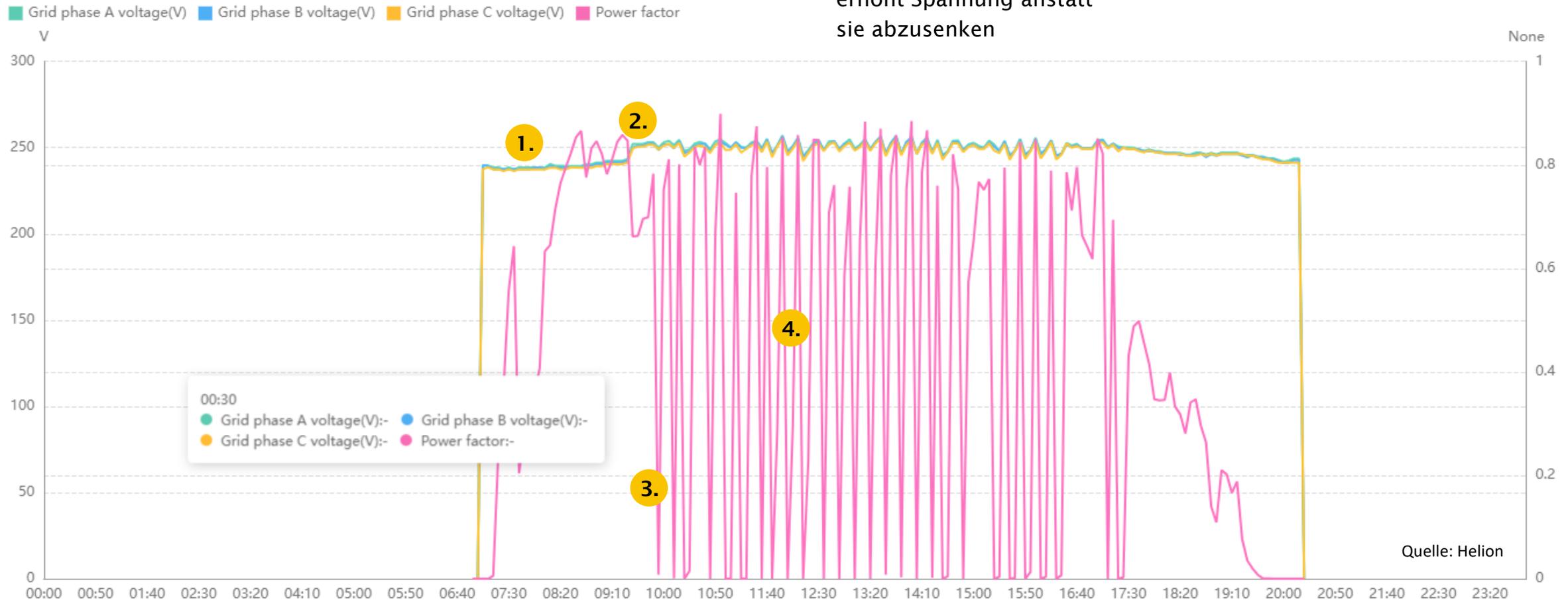
Zielnetzplanung Netzebene 7: Einfluss der dezentralen Flexibilität

Burgdorf, 4. Juni 2024

► BFH, Labor für Elektrizitätsnetze: Stefan Schori, Tenure-Track-Dozent

Was ist hier los?

1. Einspeisung erhöht Spannung
2. Falsch eingestellte Q(U)-Regelung erhöht Spannung anstatt sie abzusenkten
3. PV-Anlage schaltet aus
4. Instabiler Betrieb



► **Aber: Richtig parametrierter hat dezentrale Flexibilität ein enormes Potential**

Welche Flexibilität haben wir im Verteilnetz?

Geräte steuern
(Lastmanagement)

Speicher

Trafostufe einstellen
oder regeln

Wirkleistungsregelung

$P(U)$

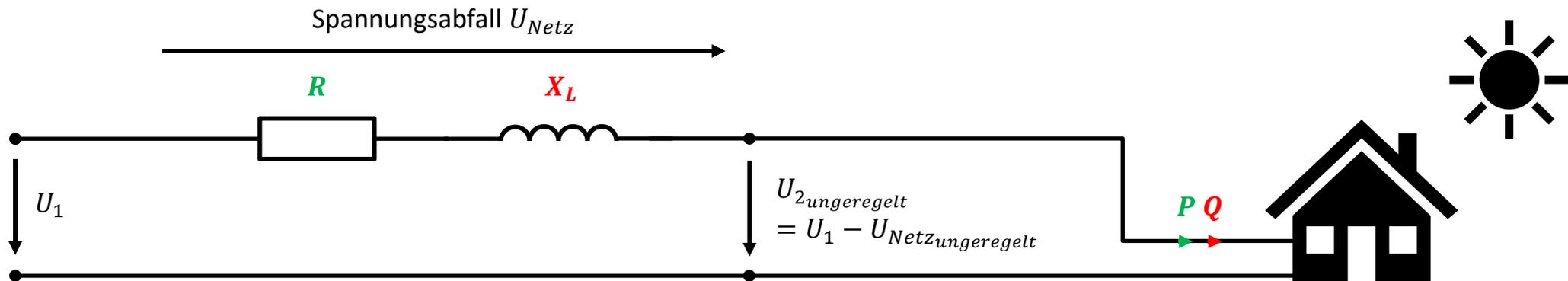
Blindleistungsregelung

$Q(U)$

und mehr ...

Wie können P und Q die Spannung beeinflussen?

Ersatzschaltbild einer Leitung

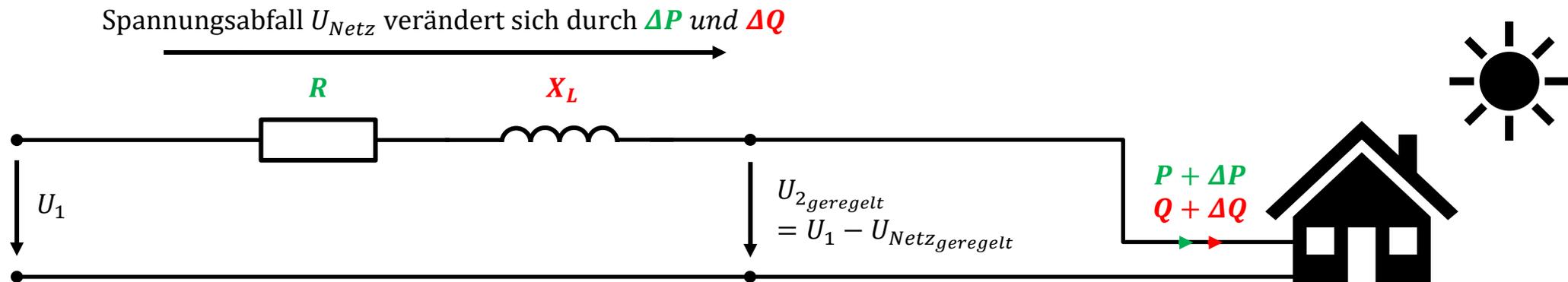


$P > 0$ W \rightarrow Verbrauch $\rightarrow U_2$ sinkt
 $P < 0$ W \rightarrow Einspeisung $\rightarrow U_2$ steigt

$Q > 0$ \rightarrow induktiv $\rightarrow U_2$ sinkt
 $Q < 0$ \rightarrow kapazitiv $\rightarrow U_2$ steigt

Wie können P und Q die Spannung beeinflussen?

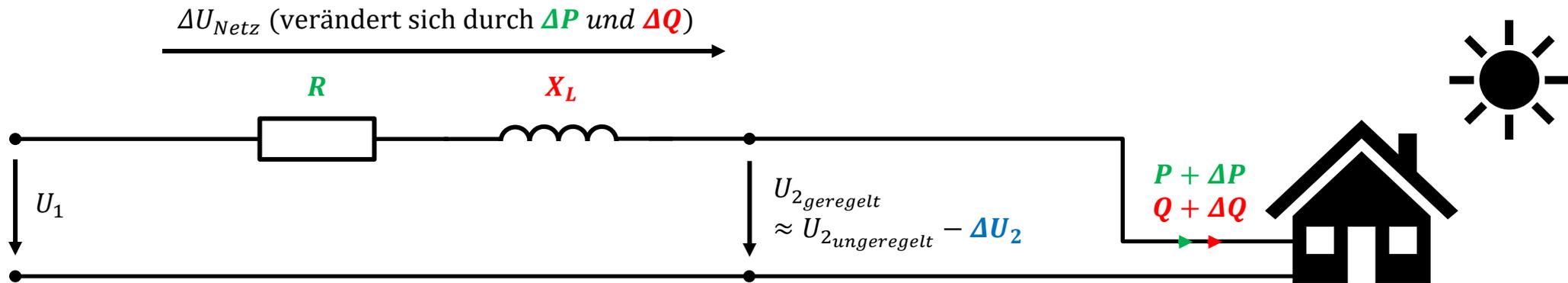
Ersatzschaltbild einer Leitung



- ▶ Wenn sich U_{Netz} ändert, so ergibt sich auch für U_2 ein anderer Wert.
- ▶ $U_{2ungeregt} - U_{2geregt} = \Delta U_2 \rightarrow$ wie gross ist die Spannungsänderung ΔU_2 ?

Wie können P und Q die Spannung beeinflussen?

Ersatzschaltbild einer Leitung



Näherungsformel:

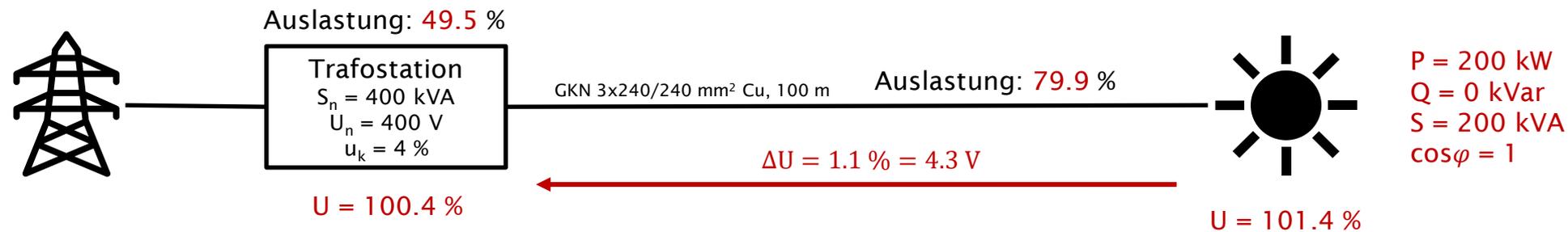
$$\Delta U_2 \text{ in } \% \approx \frac{\Delta P \text{ in MW} \cdot R \text{ in } \Omega + \Delta Q \text{ in Mvar} \cdot X_L \text{ in } \Omega}{(U_n \text{ in kV})^2} \cdot 100 \%$$

$\Delta P > 0$ MW (weniger Einspeisung) $\rightarrow \Delta U$ positiv $\rightarrow U_2$ sinkt
 $\Delta P < 0$ MW (mehr Einspeisung) $\rightarrow \Delta U$ negativ $\rightarrow U_2$ steigt

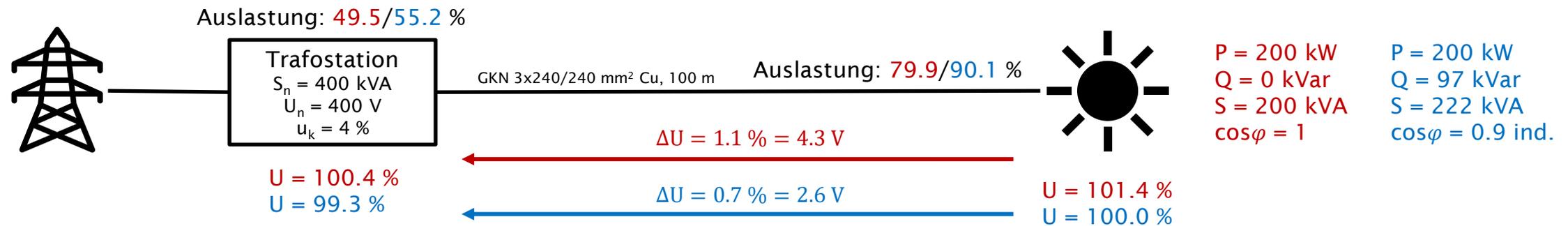
$\Delta Q > 0$ Mvar (induktiver) $\rightarrow \Delta U$ positiv $\rightarrow U_2$ sinkt
 $\Delta Q < 0$ Mvar (kapazitiver) $\rightarrow \Delta U$ negativ $\rightarrow U_2$ steigt

- ▶ Achtung: AC-Ströme und -Spannungen sind in der Realität komplexe Werte (Betrag und Winkel)
 → bei dem Beispiel handelt es sich um eine Vereinfachung zur groben Abschätzung

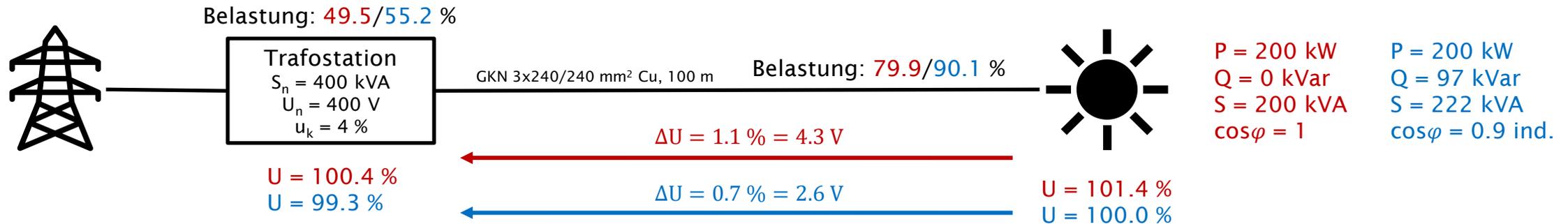
Welchen Einfluss hat Blindleistung auf die Spannung?



Welchen Einfluss hat Blindleistung auf die Spannung?



Auswirkungen der Blindleistung



Spannungsabsenkung:

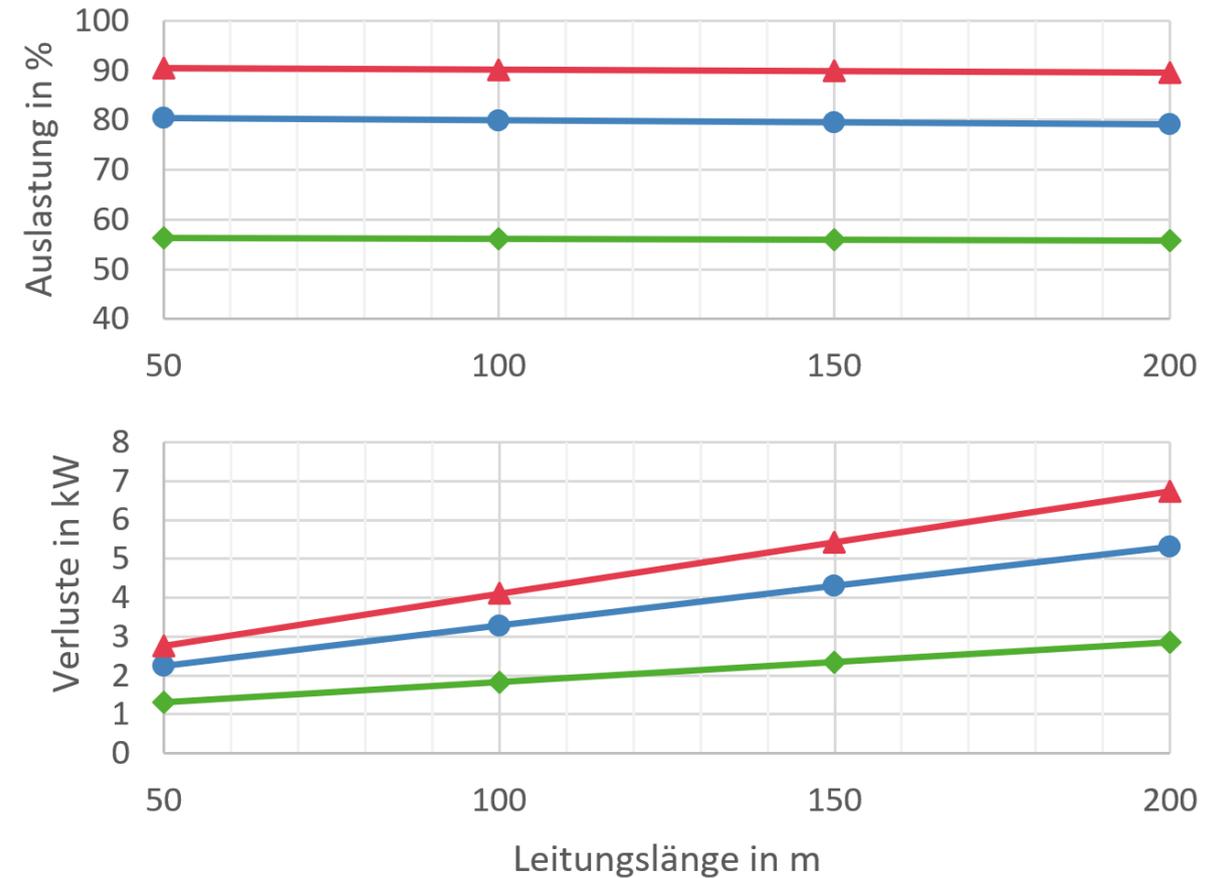
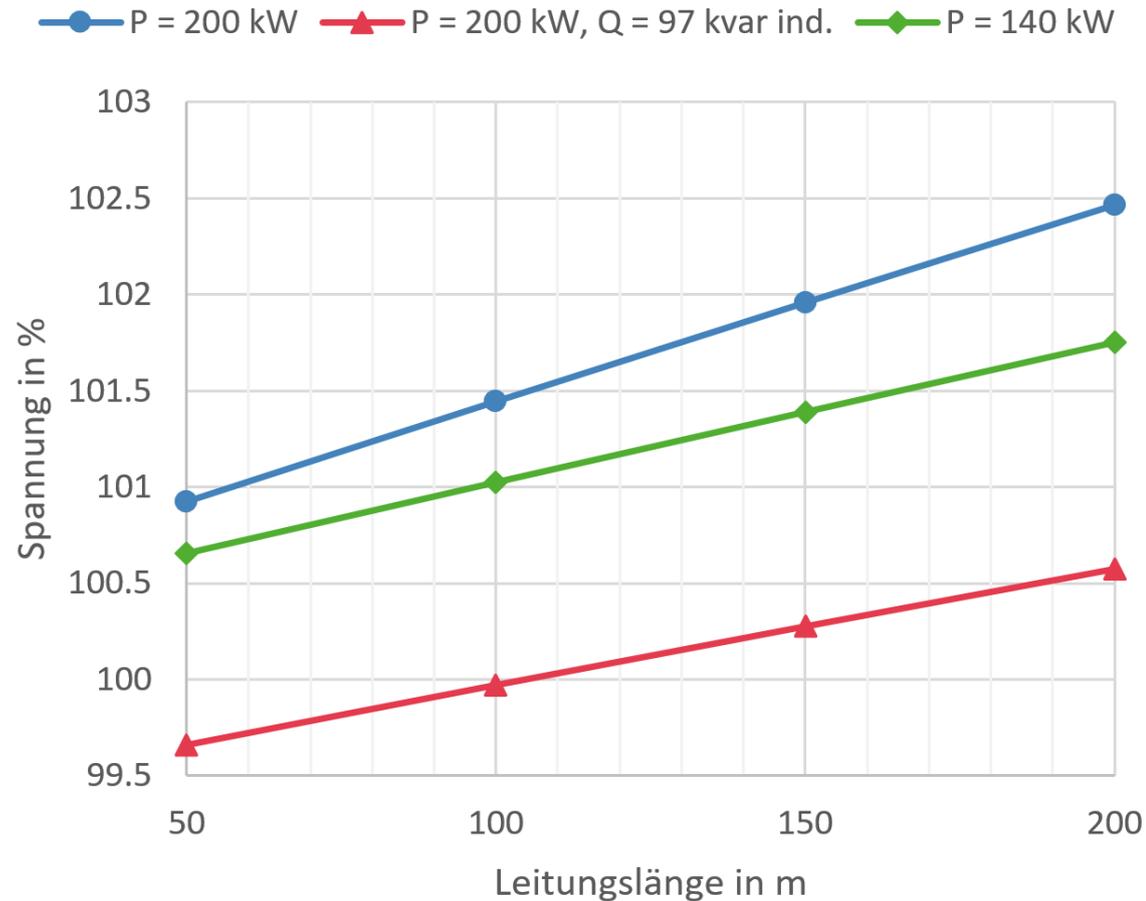
- ▶ am Anschlusspunkt
- ▶ und am Transformator

Weitere Aspekte:

- ▶ Die Auslastung der Leitungen und Transformatoren nimmt zu
- ▶ Die Netzverluste steigen an
- ▶ Die zusätzliche Blindleistung muss vom vorgelagerten Netz zur Verfügung gestellt werden

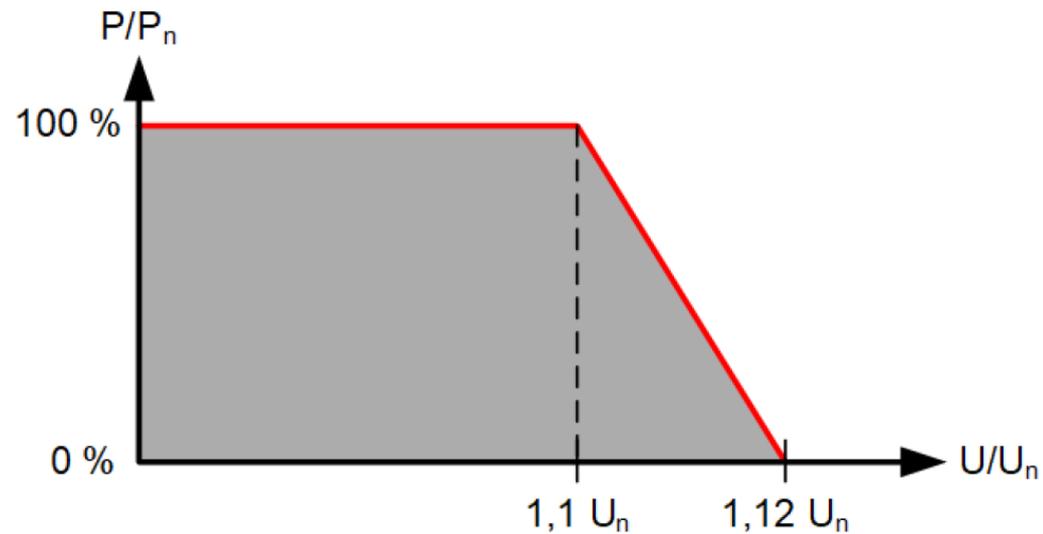
P und Q: Änderung von Spannung, Auslastung und Verlusten

Spannung am Anschlusspunkt, Leitungsauslastung und Netzverluste

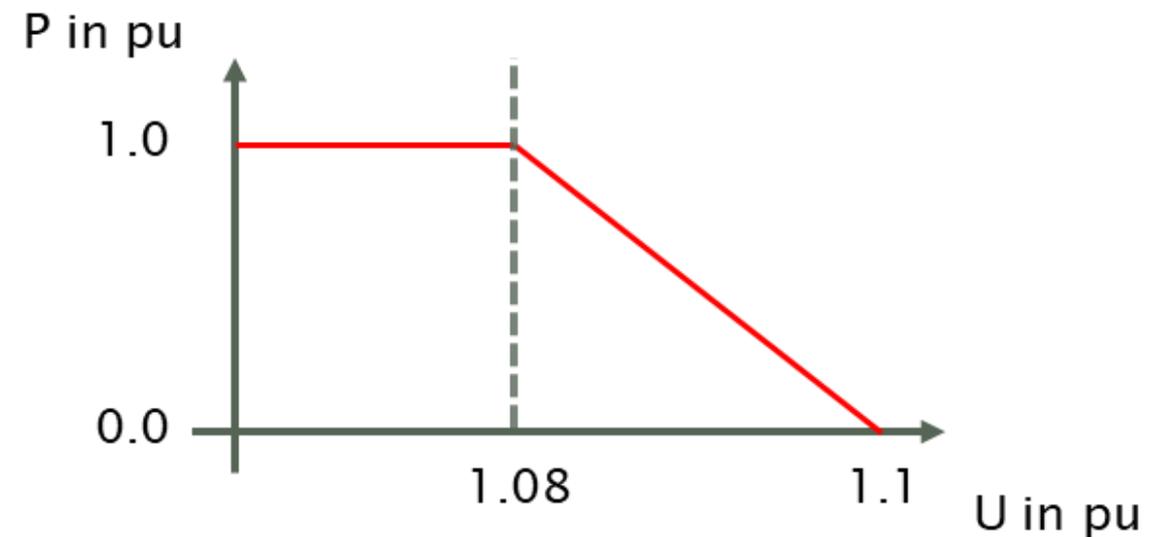


Regelkennlinien für die P(U)-Regelung

Regelung VSE NA/EEA-NE7 – CH 2020



Von einem VNB verlangte Regelung

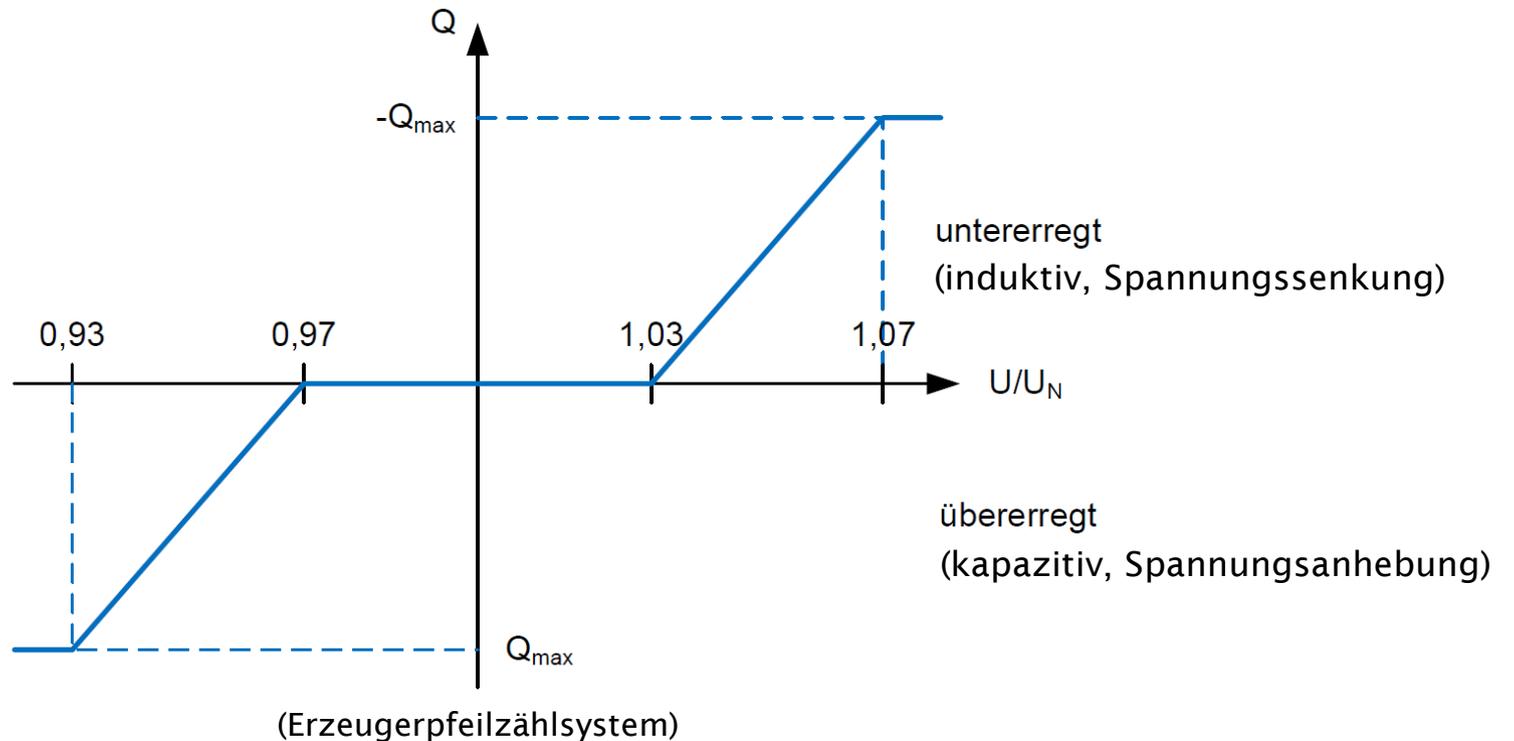


- ▶ Die Kurve kann bzw. sollte sogar je nach Anschlusspunkt variieren
- ▶ Z. B. tiefere Grenzen bei Anlagen nahe beim Trafo, wenn sie andere Netzknoten beeinflussen

Standardkurve für die Q(U)-Regelung

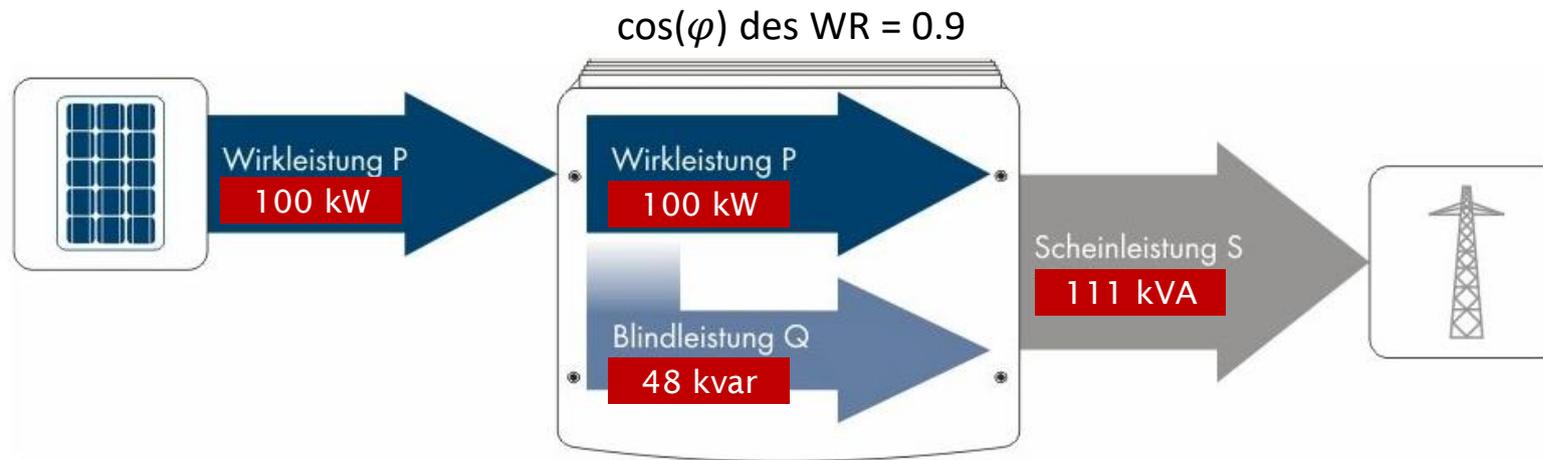
Standard-Kurve gemäss NA/EEA-NE7 – CH 2020 (VSE)

- ▶ Q_{\max} bei $\cos(\varphi) = 0.9$
- ▶ $\cos(\varphi)$ des WR: 0.9-1
- ▶ Q induktiv (untererregt) und kapazitiv (übererregt)



Wie sind Wechselrichter zu dimensionieren?

- ▶ Ca. 10 % grössere Dimensionierung für die Q(U)-Regelung bei $\cos(\varphi) = 0.9-1$



$\cos(\varphi)$	Wirkleistung in kW	Blindleistung in kvar	Scheinleistung in kVA	Grössere Dimensionierung
1	100	0	100	0 %
0.9	100	48	111	+11 %
0.8	100	75	125	+25 %
0.7	100	102	143	+43 %

Welche Flexibilität haben wir im Verteilnetz?

Geräte steuern
(Lastmanagement)

Speicher

Trafostufe einstellen
oder regeln

Wirkleistungsregelung

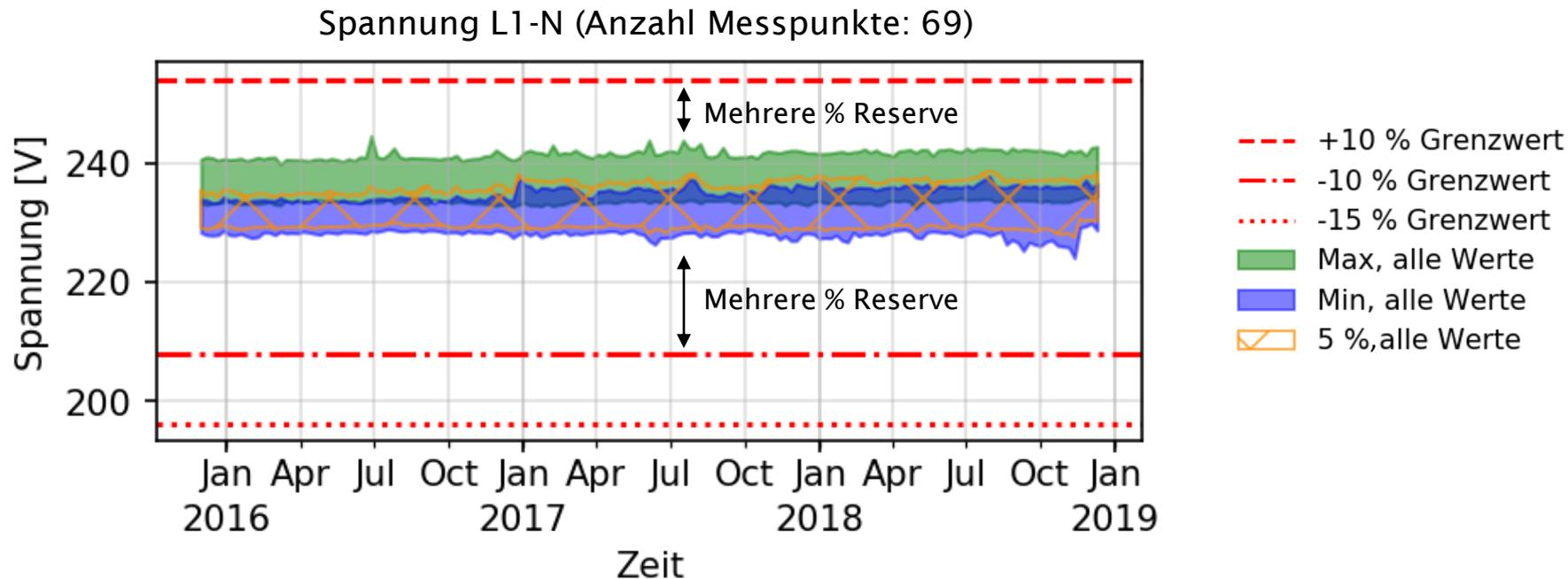
$P(U)$

Blindleistungsregelung

$Q(U)$

Nutzung von Reserven

Nutzung von Reserven



- ▶ Wie kann ich nutzbare Reserven bestimmen? → Überwachung/Monitoring
- ▶ Warum ist es sinnvoll, die Reserven zu kennen und zu nutzen?

Massnahme «Überwachung» als Alternative zur Netzverstärkung:

- Schafft Transparenz
- Frühzeitige Erkennung von Trends & Engpässen
- Sichere Nutzung von Reserven, auch mittels Flexibilität
- Verschiebung oder Vermeidung von Netzinvestitionen

Nutzung von Flexibilität für ein effizientes Stromnetz



[Schlussbericht des Projekts QuVert](#)



[Fachartikel
«Qualitätsreserven besser ausschöpfen»](#)

Berner Fachhochschule
[Labor für Elektrizitätsnetze \(3D-Tour\)](#)
Aarbergstrasse 46
CH-2503 Biel
bfh.ch/energy

Stefan Schori
Ron Buntschu
Michael Höckel

sos1@bfh.ch
bcr1@bfh.ch
hkm1@bfh.ch