

# Spannungs-/Blindleistungsoptimierung

Netzimpulstagung, Aarau, 23. März 2022

- ▶ Stefan Schori, Gruppenleiter Elektrizitätsnetze und Managing Co-Director des BFH-Zentrums Energiespeicherung

# BFH-Zentrum Energiespeicherung



- ▶ Die Berner Fachhochschule konzentriert ihre Forschung zum Thema **Stromnetze** und **elektrochemische Speichertechnologien** im Gebäude des Switzerland Innovation Park Biel/Bienne
- ▶ [bfh.ch/energy](https://bfh.ch/energy)
- ▶ [3D-Rundgang](#)

# Agenda

- 1) Warum ist Spannungsoptimierung notwendig?
- 2) Was ist Blindleistung und wer benötigt sie?
- 3) Wie kann die Blindleistung die Spannung beeinflussen?
- 4) Wie sind Wechselrichter zu dimensionieren?
- 5) Fazit zur Blindleistungsregelung

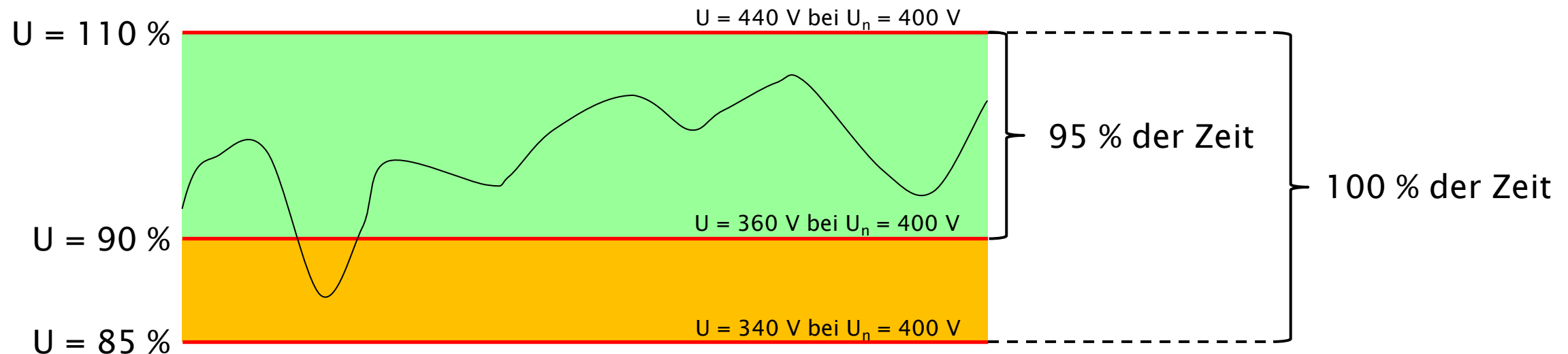
# Begriffe

- ▶  $S$  = Scheinleistung
- ▶  $P$  = Wirkleistung
- ▶  $P(U)$  = Spannungsabhängige Wirkleistungsregelung
- ▶  $Q$  = Blindleistung
- ▶  $Q(U)$  = Spannungsabhängige Blindleistungsregelung
- Verschiebungsblindleistung der Grundschiwingung (50 Hz)

# 1) Warum ist Spannungsoptimierung notwendig?

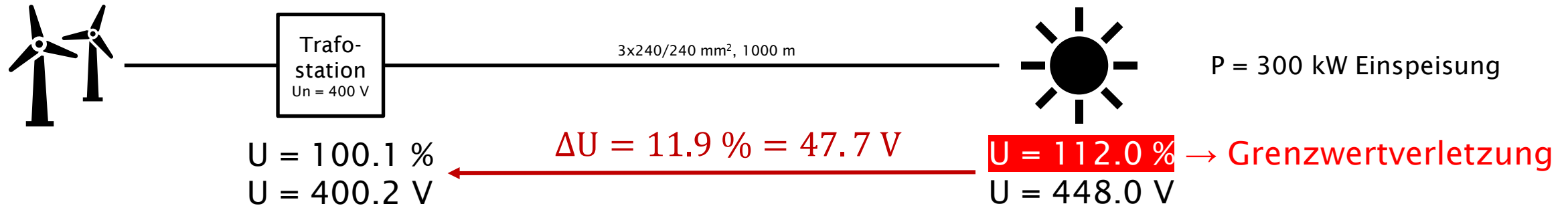
# Warum ist Spannungsoptimierung notwendig?

- ▶ Grenzwerte gemäss EN 50160
- ▶ Langsame Spannungsänderungen, 10-Min.-Mittelwerte
- ▶ Unter normalen Bedingungen:  $U_n \pm 10\%$

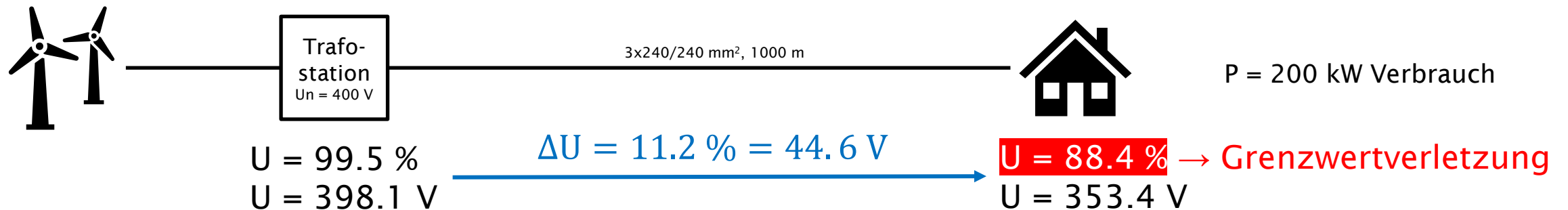


# Warum ist Spannungsoptimierung notwendig?

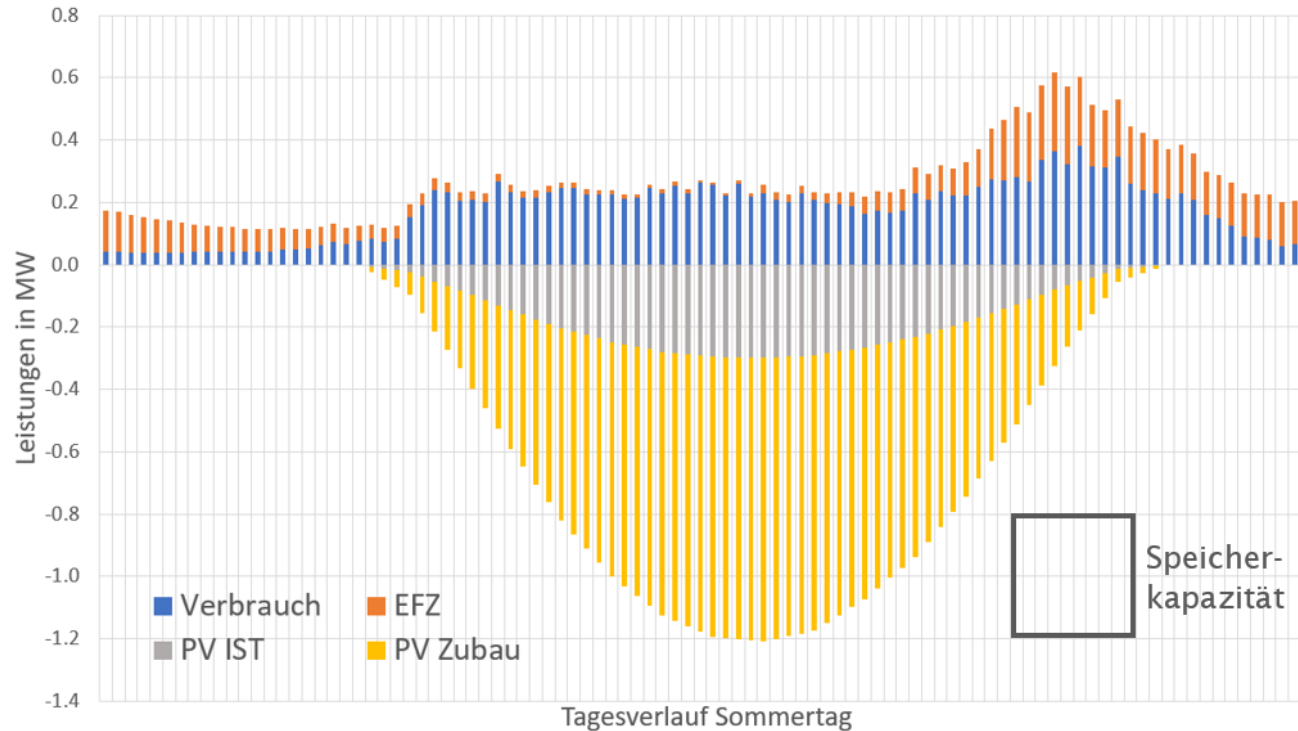
## ► Spannungsanhebung durch Einspeisung:



## ► Spannungsabsenkung durch Verbrauch:



# Warum ist Spannungsoptimierung notwendig?



- ▶ PV-Zubau kann die Spannungen sehr stark erhöhen
- ▶ Spannungsabsenkungen durch Elektromobilität und Wärmepumpen
- ▶ Q(U)-Regelung und P(U)-Regelung als mögliche Massnahmen



## 2) Was ist Blindleistung und wer benötigt sie?

# Was ist Blindleistung?

## Wirkleistung

- ▶ Nutzbar
- ▶ Kann z. B. in mechanische, thermische oder chemische Energie umgewandelt werden

## Blindleistung

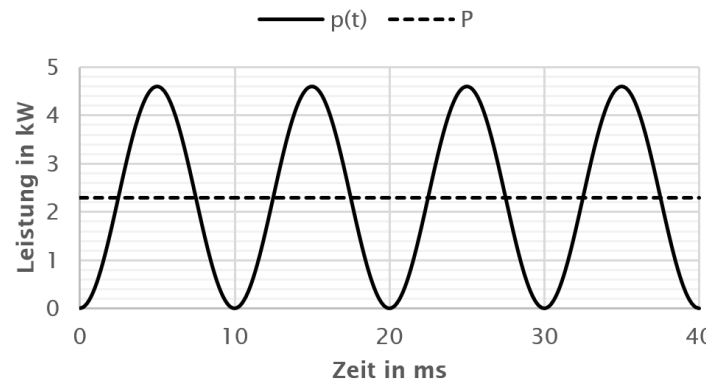
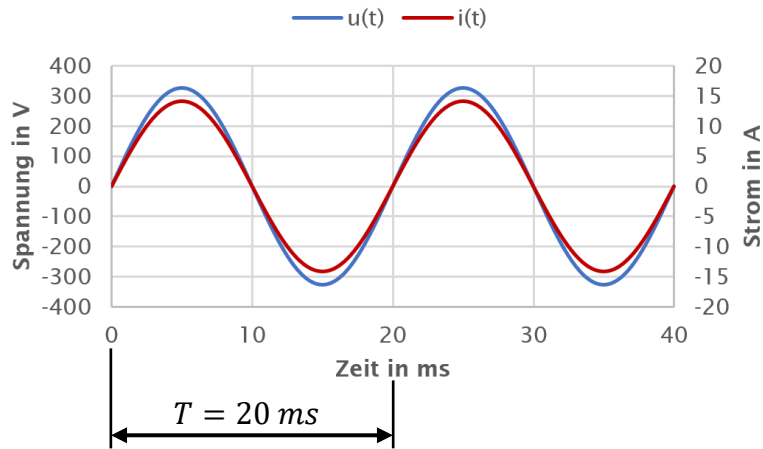
- ▶ Nicht nutzbar
- ▶ Pendelt im Netz hin und her
- ▶ Ist aber notwendig zur Funktion von:
  - ▶ Induktivitäten,
  - ▶ Kapazitäten und
  - ▶ daher des Stromnetzes

## Wirk- und Blindleistung

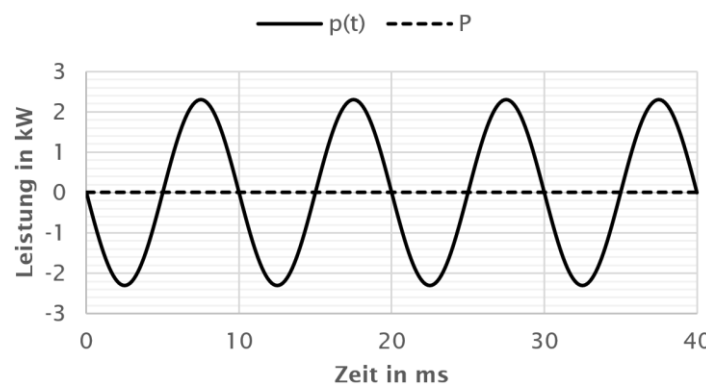
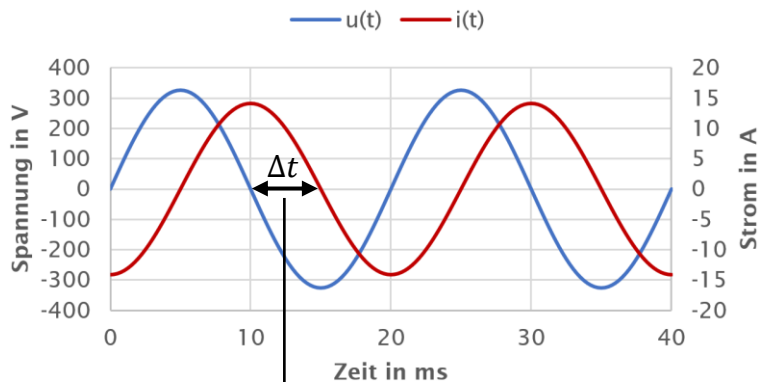
- ▶ Im Normalfall benötigen Geräte im wesentlichen Wirkleistung und tauschen etwas Blindleistung aus

# Was ist Blindleistung?

- ▶ Wir betrachten nur die Verschiebungsblindleistung der Grundschwingung (50 Hz)



- ▶ Spannung und Strom in Phase
- ▶ Rein ohmscher Verbrauch
- ▶  $p(t)$  immer positiv
- ▶ Nur Wirkleistung



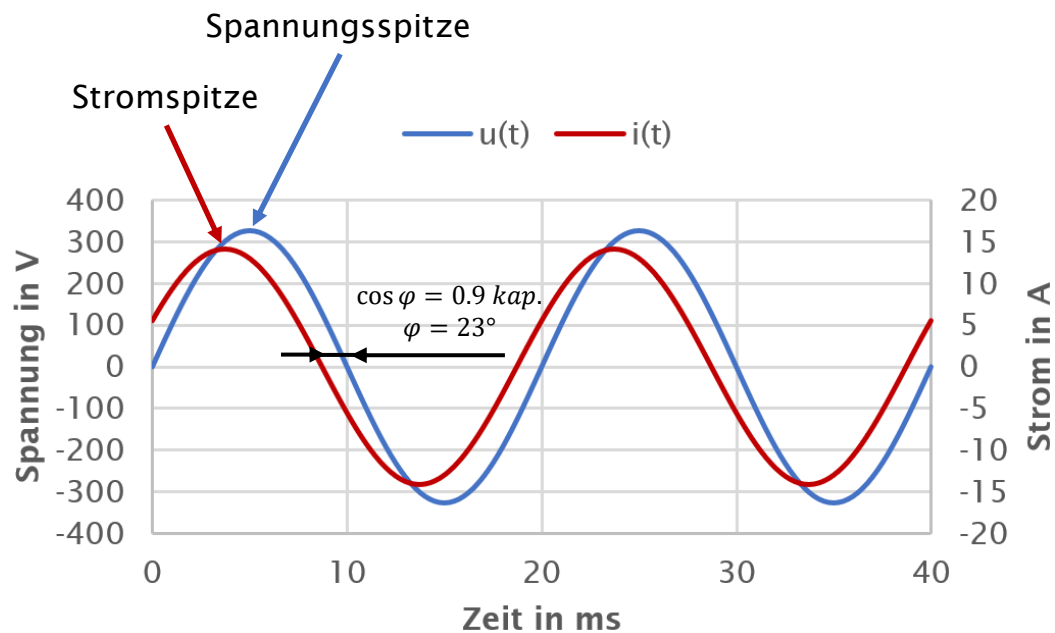
- ▶ Phasenverschiebung =  $-90^\circ$
- ▶ Rein induktiv (Strom nacheilend)
- ▶  $p(t)$  positiv und negativ
- ▶  $P = 0 \text{ W}$
- ▶ Nur Blindleistung

$$\text{Phasenverschiebung } \varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ = \frac{-5 \text{ ms}}{20 \text{ ms}} \cdot 360^\circ = -90^\circ$$

# Was ist Blindleistung?

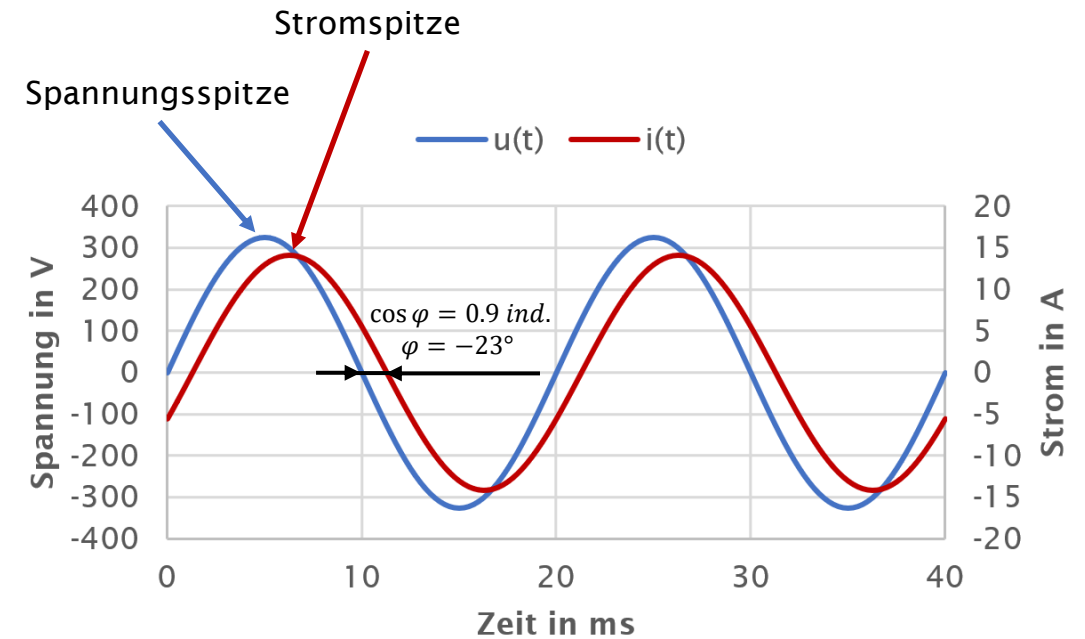
## Kapazitive Blindleistung

- ▶ Der Strom eilt der Spannung voraus



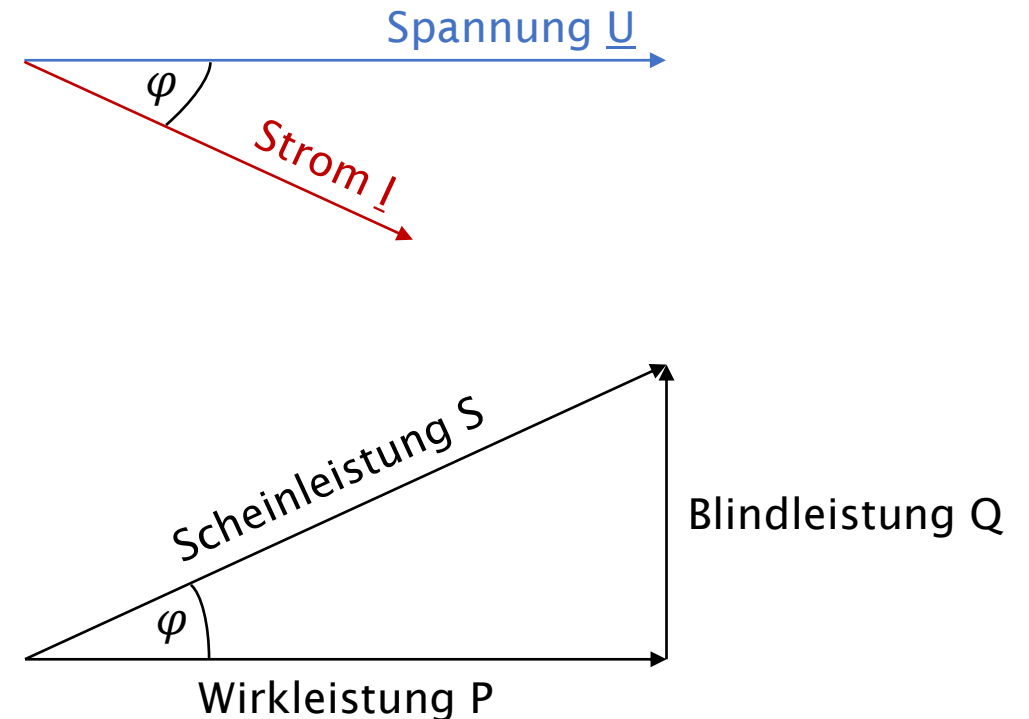
## Induktive Blindleistung

- ▶ Der Strom eilt der Spannung nach



# Was ist Blindleistung?

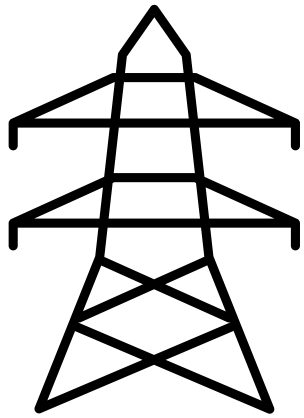
- ▶ Hier: Verschiebungsblindleistung der Grundschwingung (50 Hz)
- ▶ Annahme: Konstante Spannung und Strom
- ▶ Der Phasenverschiebungswinkel zeigt an, wie stark der Strom der Spannung vorseilt (kap.) oder nacheilt (ind.)
- ▶  $\varphi$  = Phasenverschiebungswinkel
- ▶  $\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^*$
- ▶  $S = U_{eff} \cdot I_{eff} = \sqrt{P^2 + Q^2}$
- ▶  $P = \sqrt{S^2 - Q^2} = S \cdot \cos \varphi$
- ▶  $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = S \cdot \sin \varphi$



# Wer benötigt Blindleistung?

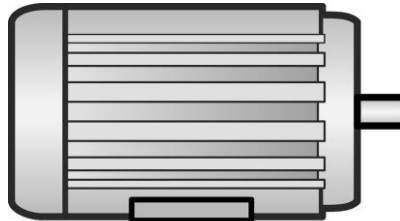
## Das Stromnetz

- ▶ Leitungen, Trafos



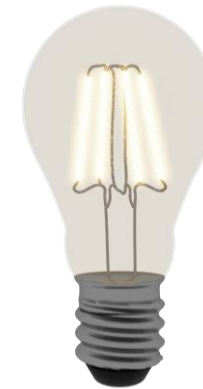
## Induktive Geräte

- ▶ Motoren etc.



## Kapazitive Geräte

- ▶ LED, Ladegeräte etc.

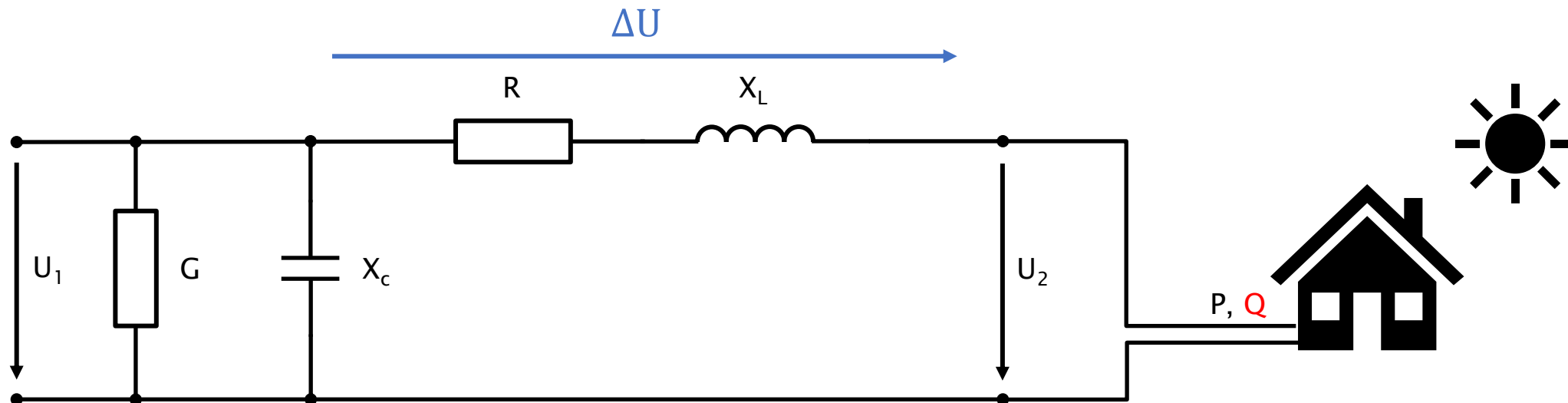


- ▶ Die benötigte Blindleistung wird meist durch Synchronmaschinen bereitgestellt:
  - ▶ Übererregt: kapazitives Verhalten, um die Spannung zu heben
  - ▶ Untererregt: induktives Verhalten, um die Spannung zu senken

### 3) Wie kann die Blindleistung die Spannung beeinflussen?

# Wie kann die Blindleistung die Spannung beeinflussen?

## ► Ersatzschaltbild einer Leitung



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

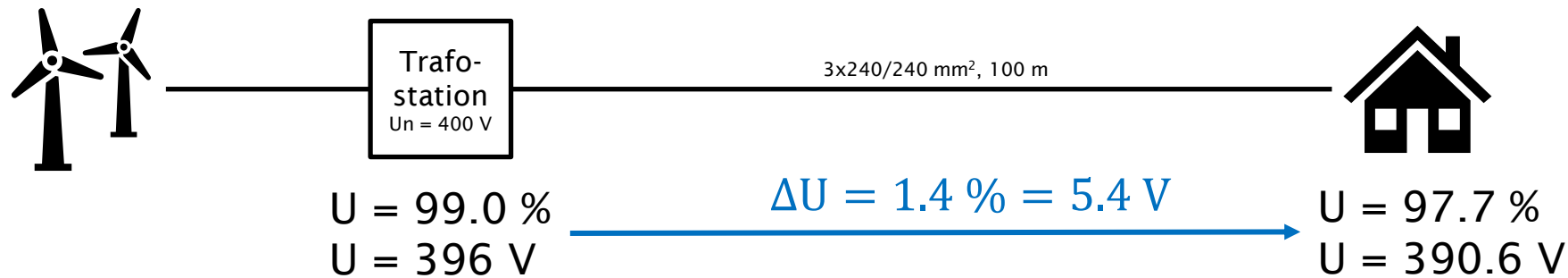
Die **Blindleistung Q** bewirkt über der **Leitungsinduktivität  $X_L$**  eine **Spannungsänderung**:

- Wenn  $Q < 0$  (induktiv), sinkt die Spannung
- Wenn  $Q > 0$  (kapazitiv), steigt die Spannung



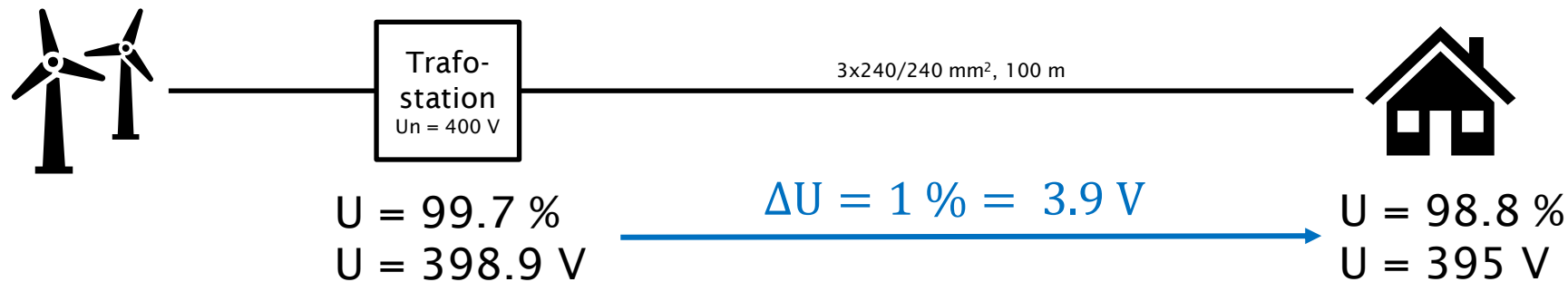
# Wie kann die Blindleistung die Spannung beeinflussen?

## ► Ohmsch/induktiver Verbrauch:



$P = 200\text{ kW}$  Verbrauch  
 $Q = 85\text{ kVar ind.}$   
 $S = 217\text{ kVA}$   
 $\cos\Phi = 0.92\text{ ind.}$

## ► Kapazität kompensiert Induktivität → nur ohmscher Verbrauch:

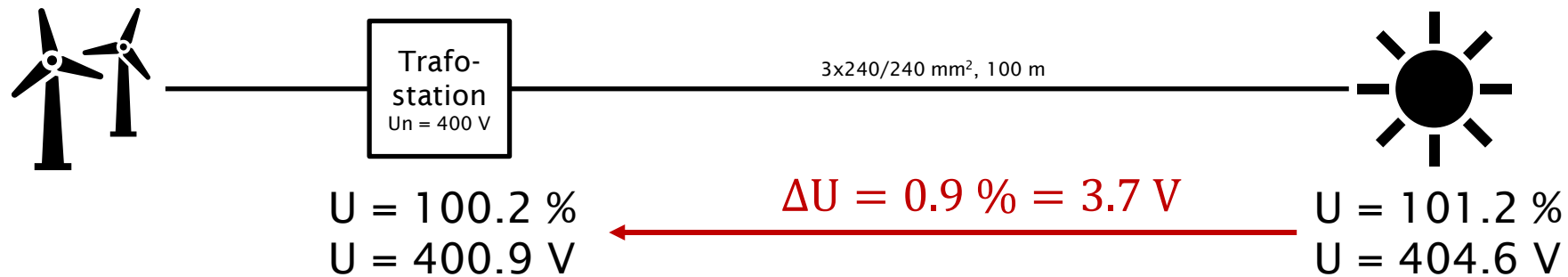


$P = 200\text{ kW}$  Verbrauch  
 $Q = 85\text{ kVar ind.} + 85\text{ kVar kap.}$   
 $Q = 0\text{ kVar}$   
 $S = 200\text{ kVA}$   
 $\cos\Phi = 1$

→ Kapazitive Blindleistung erhöht die Spannung

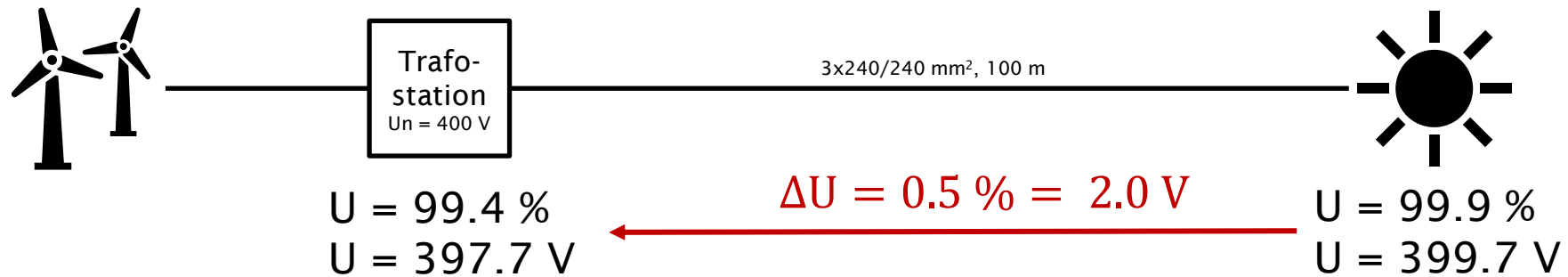
# Wie kann die Blindleistung die Spannung beeinflussen?

## ► Einspeisung durch PV-Anlage:



$P = 200 \text{ kW}$  Einspeisung  
 $Q = 0 \text{ kVar}$   
 $S = 200 \text{ kVA}$   
 $\cos\Phi = 1$

## ► Mit Einstellung von induktiver Blindleistung im Wechselrichter:

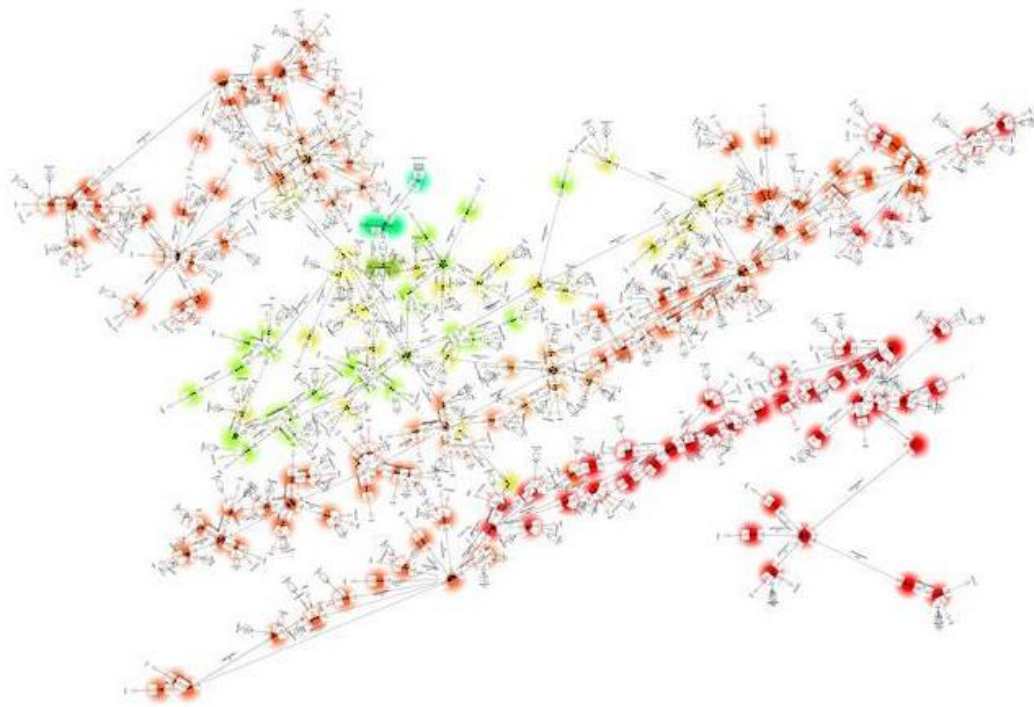


$P = 200 \text{ kW}$   
 $Q = 97 \text{ kVar ind.}$   
 $S = 222 \text{ kVA}$   
 $\cos\Phi = 0.9 \text{ ind.}$

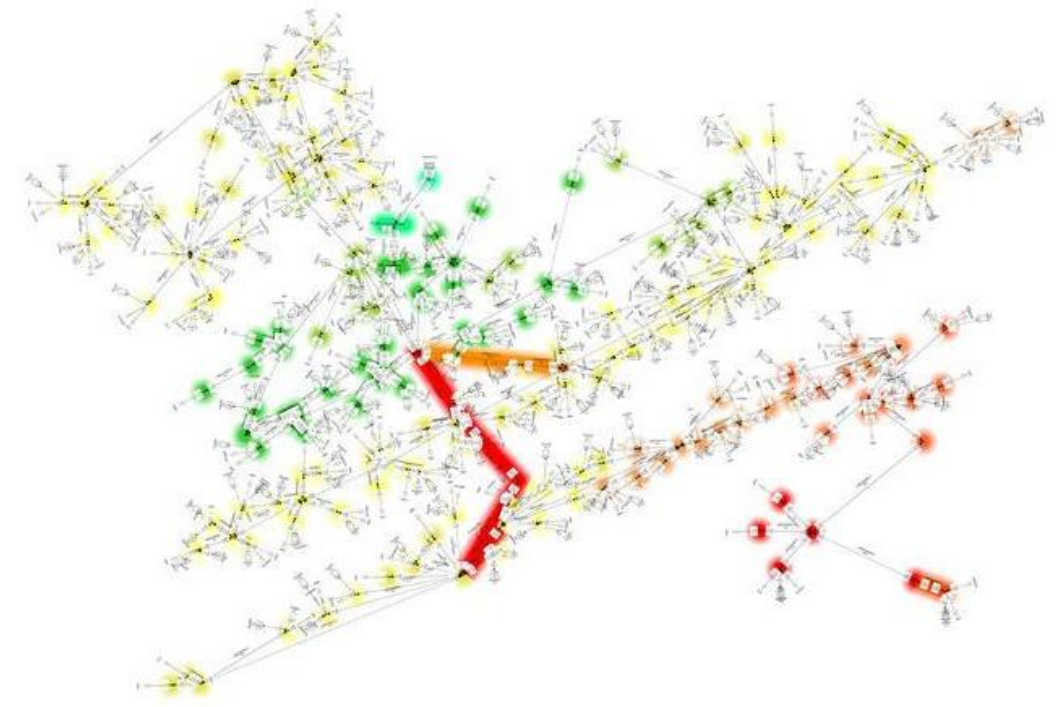
→ Induktive Blindleistung senkt die Spannung

# Q(U)-Regelung im simulierten, vorstädtischen Netz

- ▶ 88 % weniger Überspannungen, jedoch Erhöhung der Auslastung um bis zu 20 %



Sommerszenario 2035, ohne Q(U)-Regelung



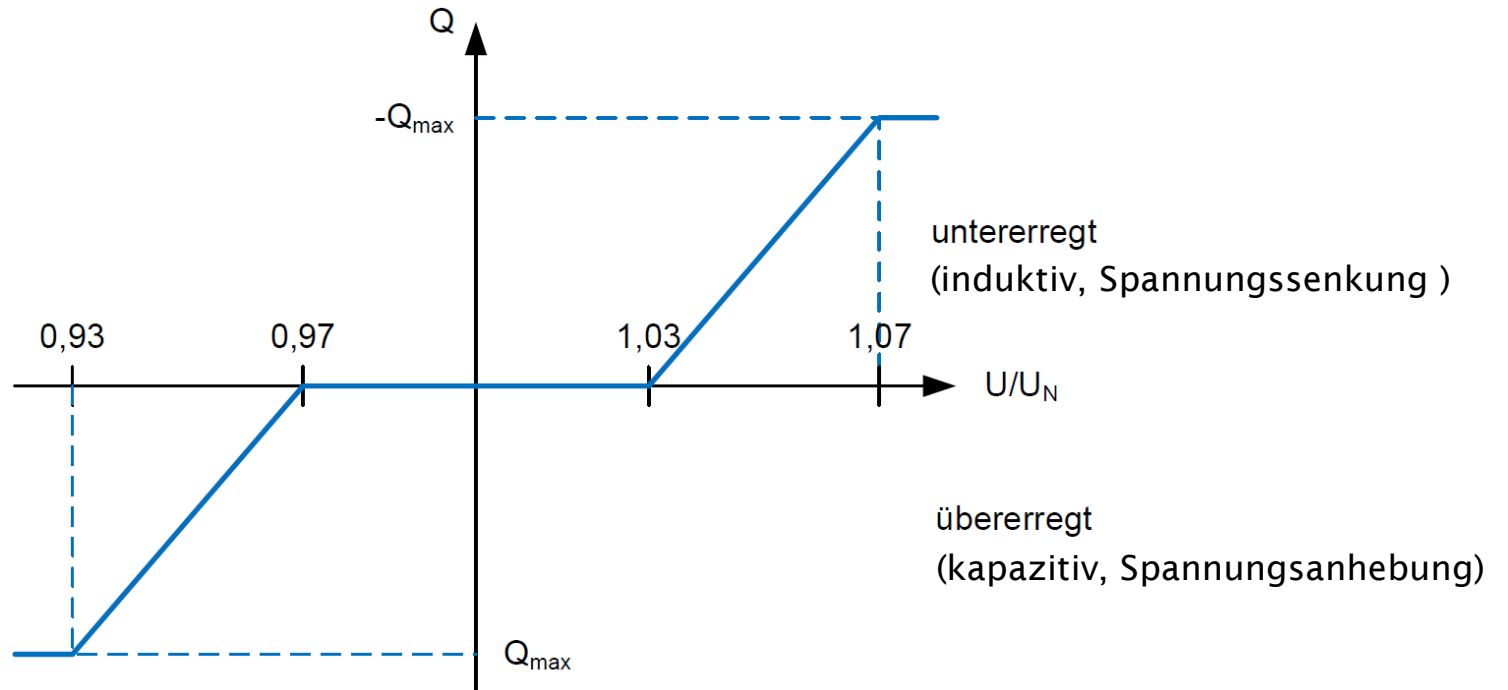
Sommerszenario 2035, mit Q(U)-Regelung

## 4) Wie sind Wechselrichter zu dimensionieren?

# Wie sind Wechselrichter zu dimensionieren?

- ▶ Standard-Kurve gemäss AR-N 4105:2018 (VDE) und 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 %

## 5) Fazit zur Blindleistungsregelung

# Fazit zur Blindleistungsregelung

- ▶ Enormes Potential zur Spannungshaltung
- ▶ Keine Produktionsverluste
  
- ▶ Einfach und günstig zu haben
- ▶ Nur ca. +10 % WR-Leistung für  $\cos\Phi = 0.9$
  
- ▶ Blindleistung muss bereitgestellt werden (z. B. am Transformator)
- ▶ Tarif Swissgrid (2022): 1.64 Rp/kvarh
- ▶ Blindleistung verursacht zusätzliche Netzverluste
  
- ▶ Die Planung des Blindleistungseinsatzes ist anspruchsvoll
- ▶ Bei der Optimierung der Spannungshaltung in ihrem Netz helfen wir gerne





Wir freuen uns auf gemeinsame  
Analysen!

[bfh.ch/energy](https://bfh.ch/energy)

3D-Labor-Rundgang

**BFH-Zentrum Energiespeicherung**  
Labor für Elektrizitätsnetze  
Aarbergstrasse 46  
CH-2503 Biel

Stefan Schori  
Michael Höckel  
Ron Buntschu

[sos1@bfh.ch](mailto:sos1@bfh.ch)  
[hkm1@bfh.ch](mailto:hkm1@bfh.ch)  
[bcr1@bfh.ch](mailto:bcr1@bfh.ch)