

Automatisierung von Netzplanungsprozessen in der Verteilnetzebene – Q(U)- und $\cos\phi(P)$ -Blindleistungsregelung dezentraler Anlagen als spannungshaltende Netzausbaumaßnahmen

M.Sc. Hermann Kraus, B.Eng. David Gschöbmann, Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl
 Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg
 Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES)
 E-Mail: hermann.kraus@oth-regensburg.de



PROBLEMSTELLUNG

- Wandlung der Netzstruktur begründet durch die Energiewende und installierten dezentralen Erzeugungsanlagen
- Entstehung von bidirektionalen Flüssen sowie Veränderungen der Last- und Erzeugersituation in den Verteilnetzebenen
- Ermittlung der netzplanerischen Einhaltung von U- und I-Grenzen in den neuen Netztopologien und -zuständen
- Welche Netzausbaumaßnahme soll bei einer Grenzwertverletzung durchgeführt werden?

Tabelle 1: Übersicht Netzausbaumaßnahmen kategorisiert nach den Einflussgrößen

Impedanz	Wirkleistung	Blindleistung	Spannung
Stationsdichte UW / ONS	Lastmanagement / Demand-Side-Management	Q-fähige Erzeugungsanlage	Dynamische Sollwertanpassung UW-Transformator
Parallelverkabelung / Vermaschung MS / NS	Einspeisepitzenkappung	Eigene / fremde Kompensationsanlagen	Zwischentransformation MS- / NS-Strang
Trafotausch ONT	Zwischenspeicherung	Q-fähige Speicher	Regelbarer Ortsnetztransformator (RONT)

ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGSSYSTEM

- Berechnung eines Last- und Erzeugerszenarios anhand eines konkreten Netzmodells
- Automatisierter Einsatz der Netzausbaumaßnahmen bei auftretenden U- und I-Grenzwertverletzungen – Integration einer automatisierten Netzplanung!
- Rückgabe der ausgebauten Netzmodelle sowie technischer und wirtschaftlicher Kennzahlen als Entscheidungshilfe für z. B. Verteilnetzbetreiber

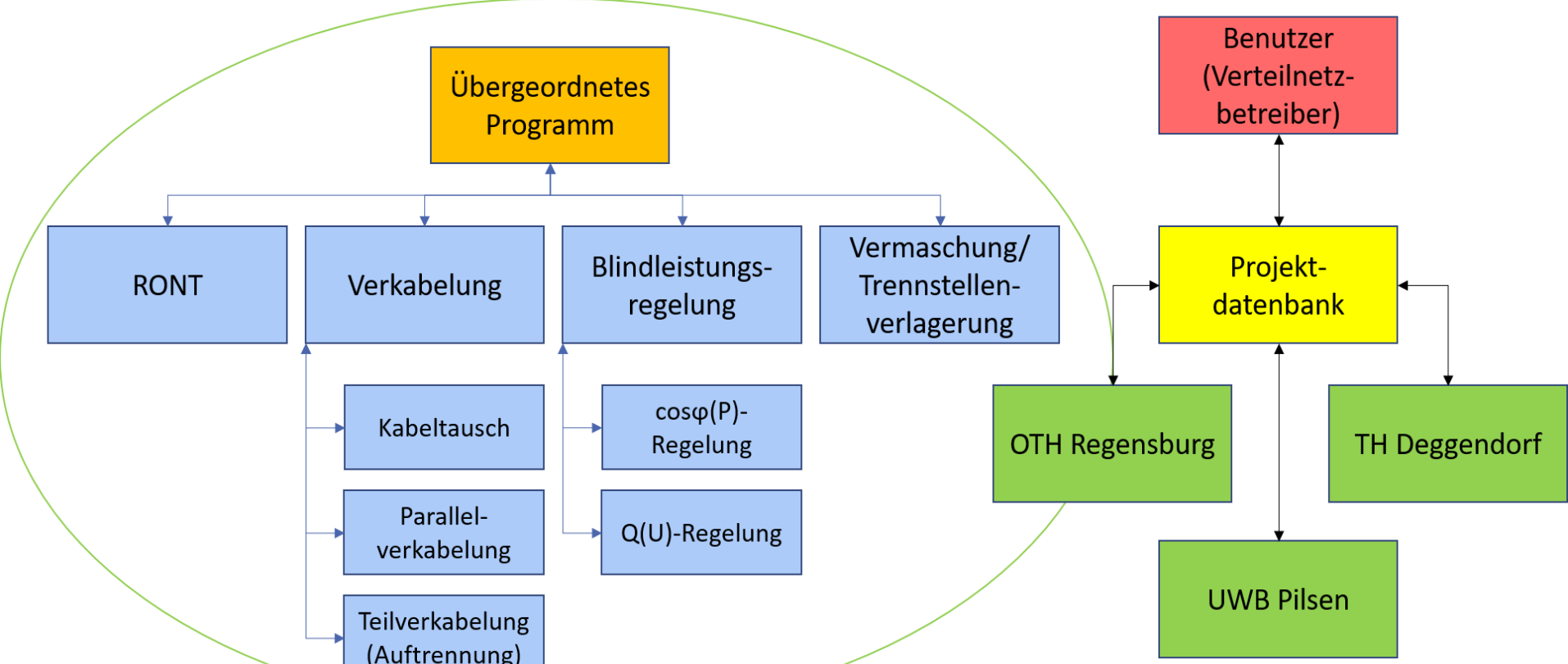
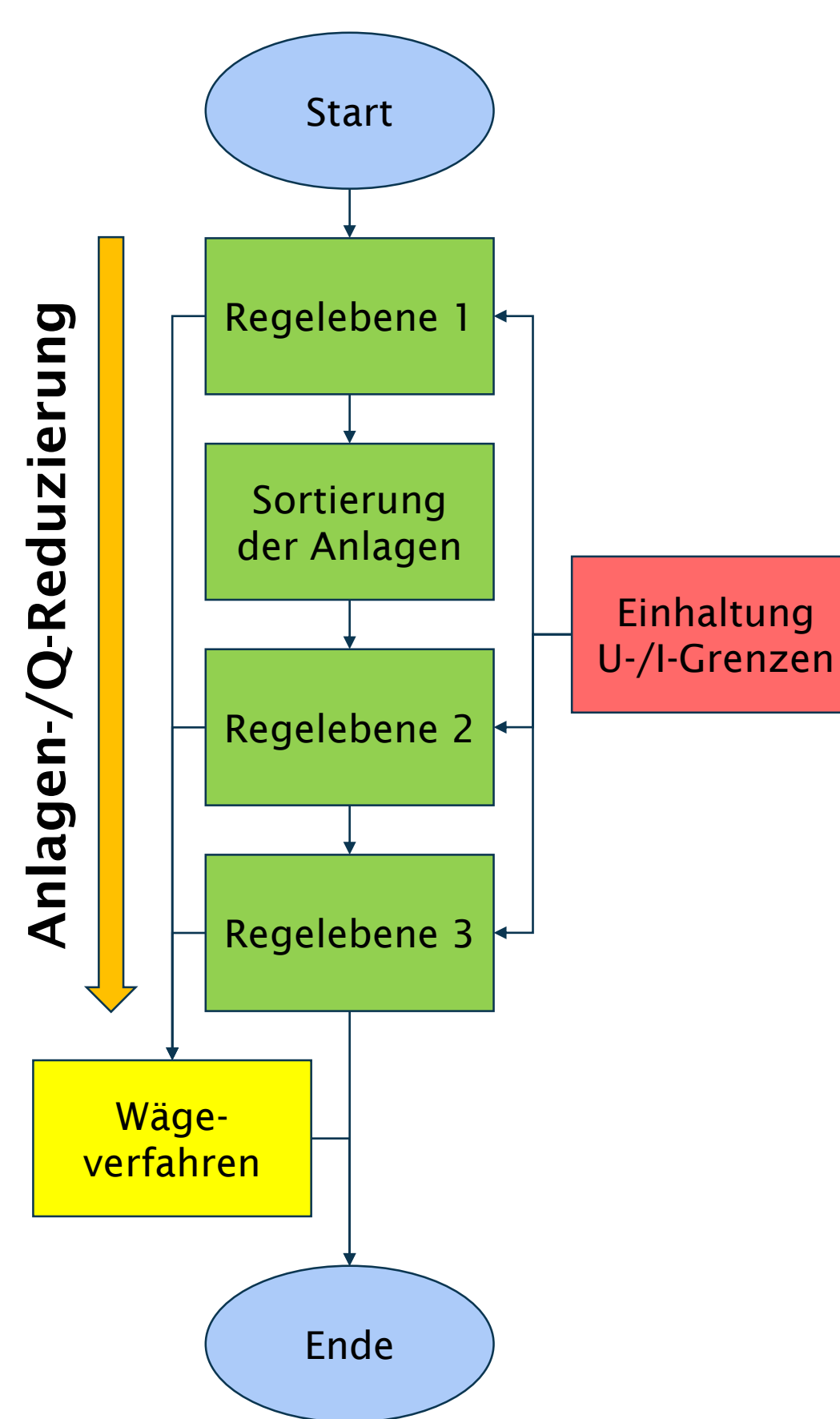


Abbildung 1: Programmarchitektur des Entscheidungsunterstützungssystems mit Ausschnitt des Netzplanungstools der OTH Regensburg

AUTOMATISIERTER EINSATZ DER BLINDBLEISTUNGSREGELUNG

- Start der Blindleistungsregelung nach Detektion eines Spannungsbandproblems
- Aktivierung der Regelebene 1: „Regelung aller Anlagen“
 → Regelung aller Anlagen zur Überprüfung, ob Spannungsbandverletzung mit Q-Regelung gelöst werden kann
- Sortierung der Anlagen nach Einsatzeffektivität (z.B. dU/dQ -Sensitivität)
- Reduzierung der Anlagen bzw. Q-Einspeisung bei Einhaltung der U-/I-Grenzen
- Aktivierung der Regelebene 2: „Regelung betroffener Anlagen“
 → Regelung von Anlagen, die vom Spannungsband direkt betroffen sind (Spannungsbandverletzung am Knoten)
- Aktivierung der Regelebene 3: „Minimal benötigte Anlagenzahl“
 → Bestimmung der Anlagen für minimal notwendige Blindleistungseinspeisung
- Einsatz des Wägewerfahrens, falls minimale Lösung zwischen Ebenen (Spannungsproblem, weil Q nicht mehr ausreicht)
- Wägewerfahren entspricht iterativer Ab- und Zuschaltung von Anlagen bis Lösungsfindung
- $\cos\phi(P)$: Anwendung einer Q-Abschätzung in Regelebene 3
- Q(U): Anwendung des Wägewerfahrens in Regelebene 3



P- UND U-ABHÄNGIGE BEGRENZUNG DES BLINDBLEISTUNGSVERMÖGENS

- Einbindung von vordefinierten Regelkennlinien für die $\cos\phi(P)$ - und Q(U)-geregelten dezentralen Anlagen
- Zusätzliche Berücksichtigung von P- und U-abhängigen Begrenzungen des Blindleistungsvermögens der Anlagen (technische Grenzen)
- Abbildung 5: Begrenzung der Q-Einspeisung durch die aktuelle P-Einspeisung mit einem P-Q-Leistungsdiagramm ($Q = \pm 0,484$ p.u. bei $P = 1,0$ p.u.)
- Abbildung 6: Begrenzung des $\cos\phi$ im übererregten Bereich bei Überspannung (1,05-1,1 p.u.) sowie im untererregten Bereich bei Unterspannung (0,9-0,95 p.u.)

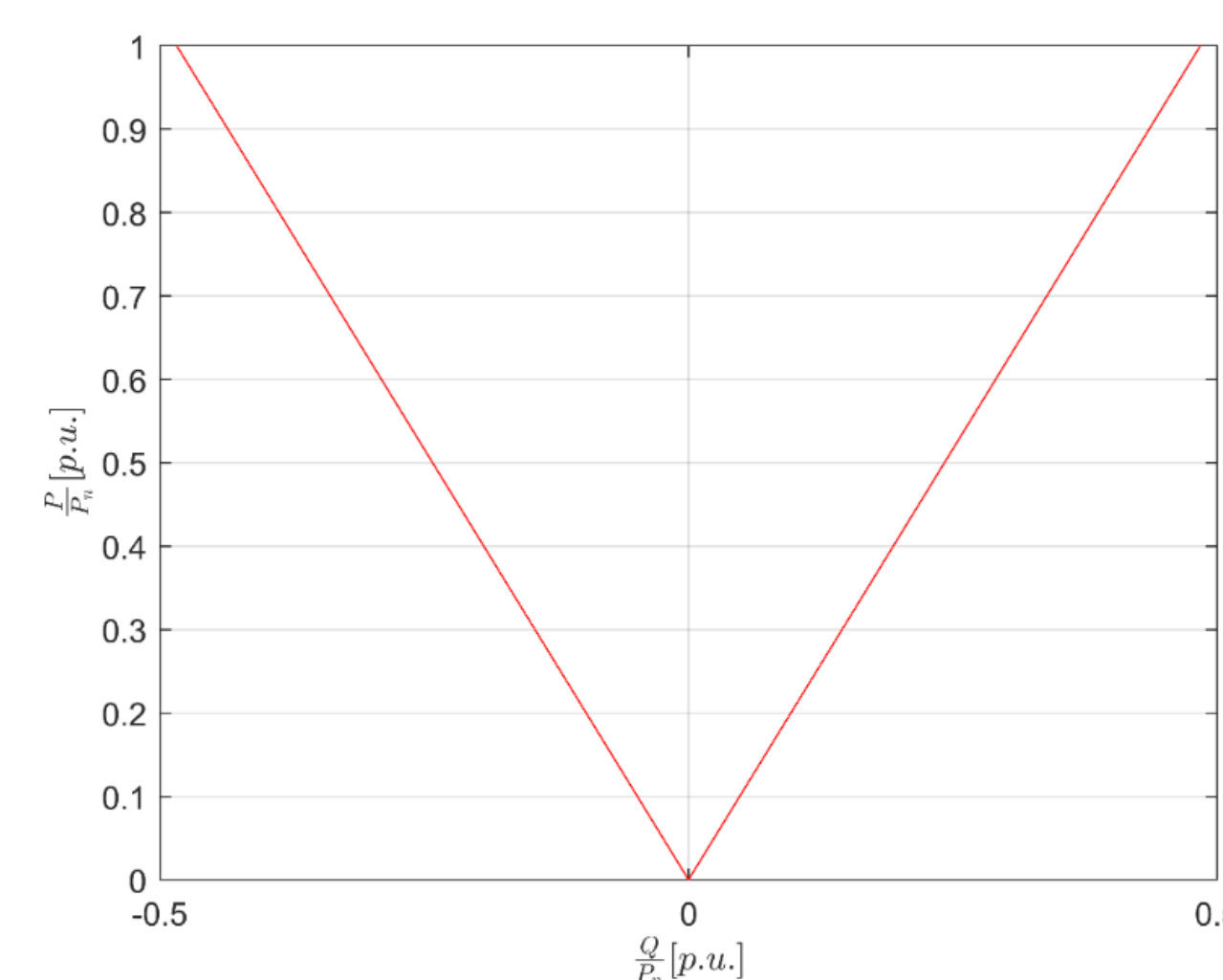


Abbildung 5: Wirkleistungsabhängige Begrenzung der Blindleistung (Normierung auf Nennwirkleistung P_n)

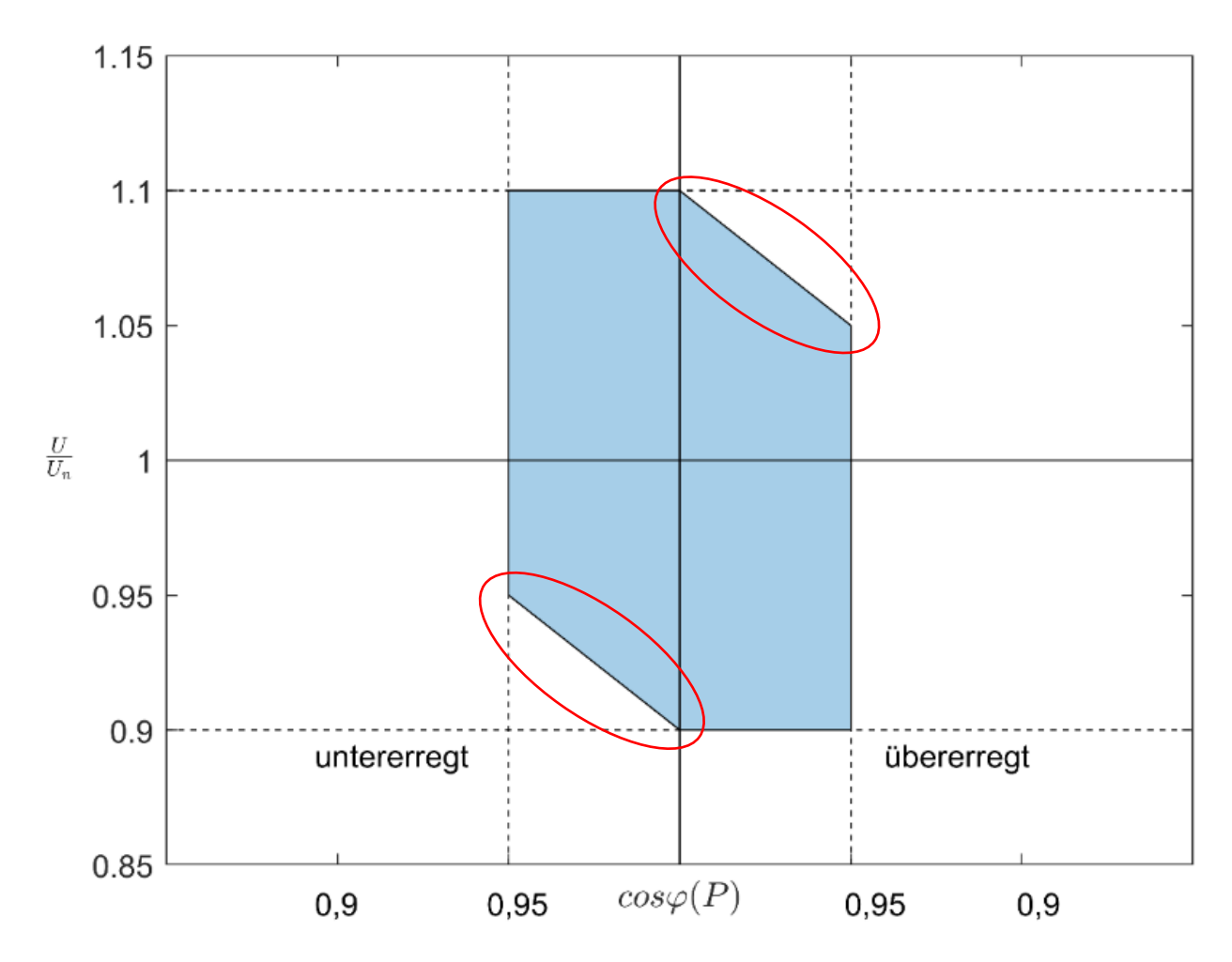


Abbildung 6: Spannungsabhängige Begrenzung des $\cos\phi$ für Anlagen $\leq 4,6$ kVA [1]

Q-ABSCHÄTZUNG IM $\cos\phi(P)$ -ALGORITHMUS

- Abschätzung der minimal notwendigen Blindleistung zur Lösung des Spannungsbandproblems
- Effektivere Berechnung des minimalen Anlageneinsatzes bzw. der minimalen Blindleistungseinspeisung
- Herleitung der Gleichung (1) basierend auf der Nachbildung des Längsspannungsfalls entlang einer Leitung:

$$\Delta U \approx R_L \frac{\Delta P}{U_n} + X_L \frac{\Delta Q}{U_n} \quad (1)$$

- Annahmen bei der Anwendung der Blindleistungsregelung in einem Netzzustand:
 - Leitungswiderstände R_L, X_L konstant
 - Keine Wirkleistungsänderung der Lasten und EZA $\Rightarrow \Delta P = 0$
 - Nennspannung U_n konstant
- Vereinfachung der Gleichung (1) mit den Annahmen zu Gleichung (2):

$$\Delta U \sim \Delta Q \quad (2)$$

- Annähernd direkte Proportionalität zwischen Spannungsänderung ΔU und Blindleistungsänderung ΔQ
- Ermittlung der Blindleistungsabschätzung mit Proportionalität aus Gleichung (2):
 - Bildung von Referenzwerten (U_1, Q_1) in der Regelebene „Regelung betroffener Anlagen“
 - Berechnung des Blindleistungswerts Q_2 mittels dem Spannungssollwert U_2
 - Ermittlung der abzuregelnden Blindleistungsdifferenz $\Delta Q_{Abregelung} = Q_2 - Q_1$

EVALUIERUNG ANHAND EINES NETZBEISPIELS

- Beispielnetzmodell in Abbildung 3:
 - Rot: Netzknotenpunkte mit unzulässigen Spannungen
 - Blau: Regelung aller Anlagen
 - Grün: Regelung betroffener Anlagen
 - Orange: Minimal benötigte Anlagenzahl (Blindleistungseinspeisung)
- Ablauf der Programmrechen Schritte mit Blick auf U und Anlagenanzahl:
 - Abbildung 4a: $\cos\phi(P)$ -Algorithmus
 - Abbildung 4b: Q(U)-Algorithmus

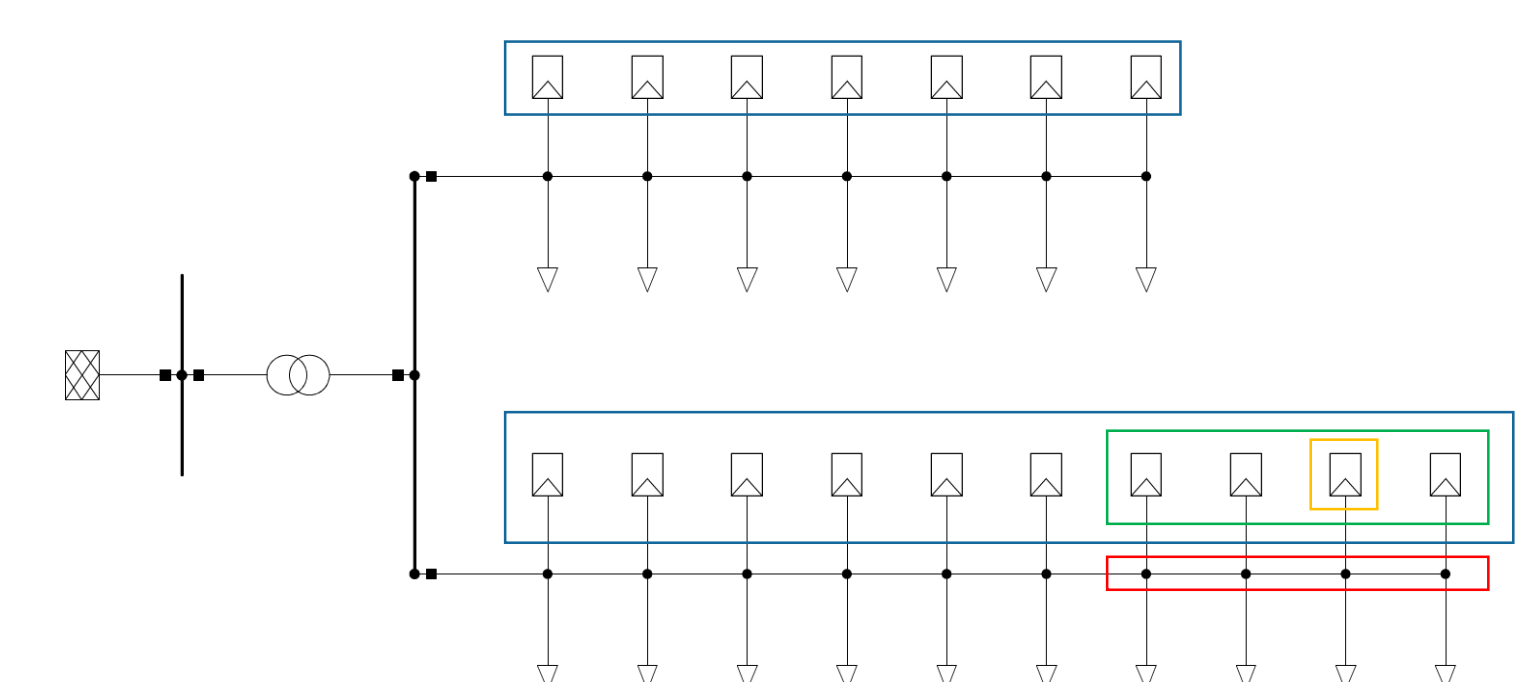


Abbildung 3: Beispielnetz mit farblicher Kennzeichnung der Regeleinsatzoptimierung

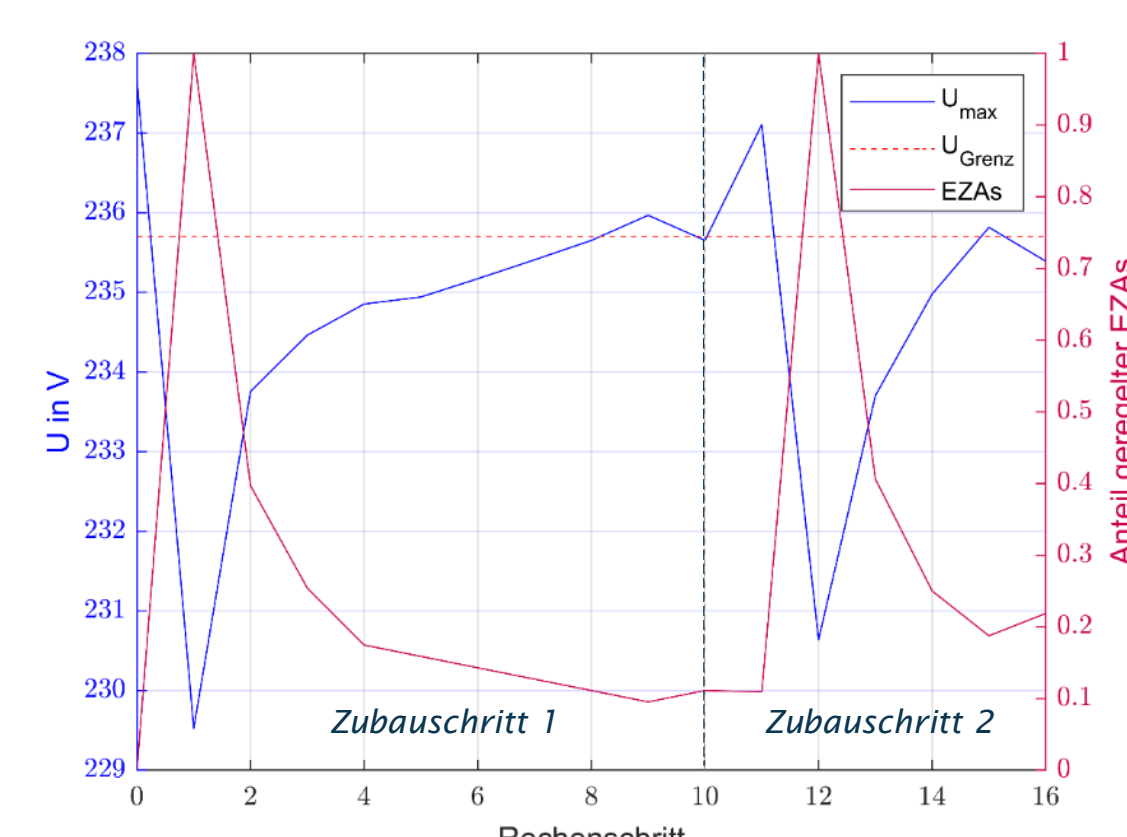


Abbildung 4a: Ergebnisverlauf des automatisierten $\cos\phi(P)$ -Regeleinsatzes über zwei Zubauschritte

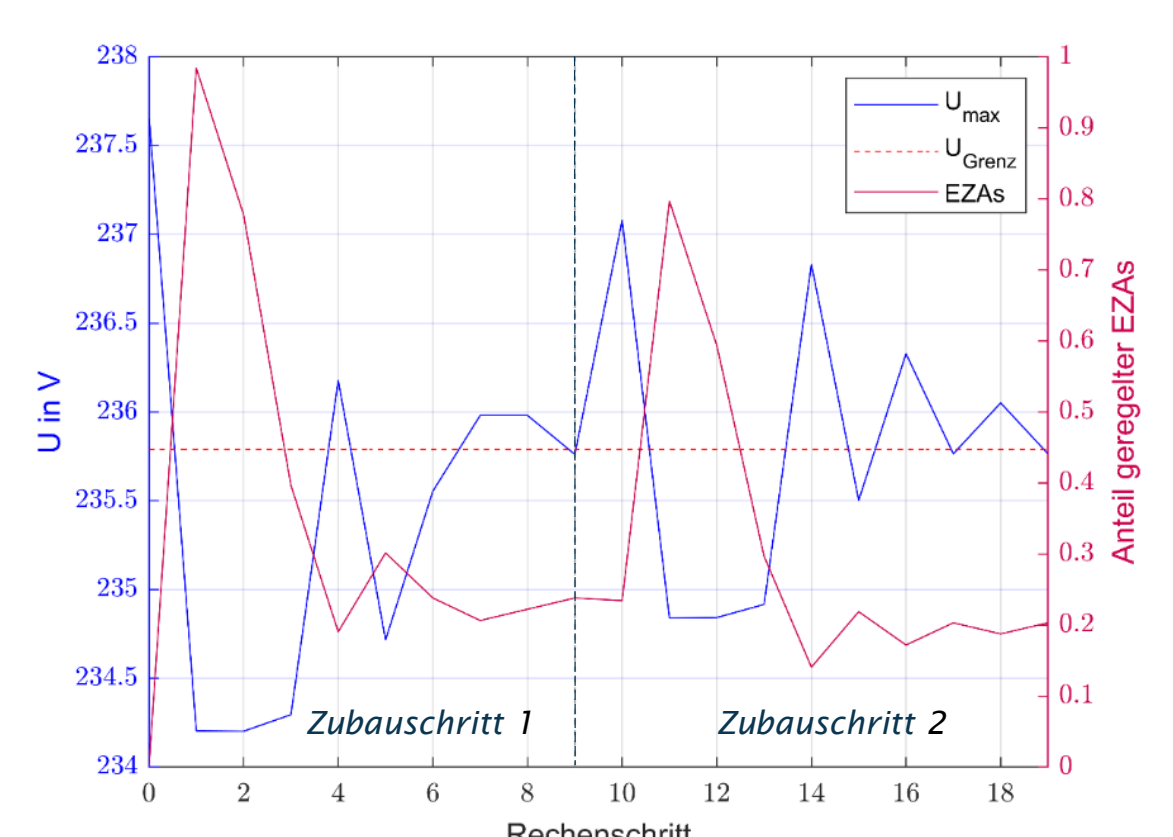


Abbildung 4b: Ergebnisverlauf des automatisierten Q(U)-Regeleinsatzes über zwei Zubauschritte

ZUSAMMENFASSUNG

- Automatisierung der Netzplanungsprozesse als hilfreiches Werkzeug für die zukünftige Netzplanung
- Blindleistungsregelung mit Lösungssuche nach minimalem Blindleistungs- und Anlageneinsatz
- Berücksichtigung von Regelkennlinien sowie technischen Grenzen bei der Regelung der dezentralen Anlagen
- Blindleistungsabschätzung zur effizienteren Lösungsfindung des minimalen Q-Regeleinsatzes

QUELLEN

- VDE-AR-N 4105:2018-11, Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz - Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz.
- G. Kerber, Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsverteilstellen für die Einspeisung aus Photovoltaikkleinanlagen, Technische Universität München, 2011.