

# LEISTUNGSBASIERTE NETZZUSTANDSERMITTLUNG: EIN ALTERNATIVER ANSATZ AUS VITREOUSGRID

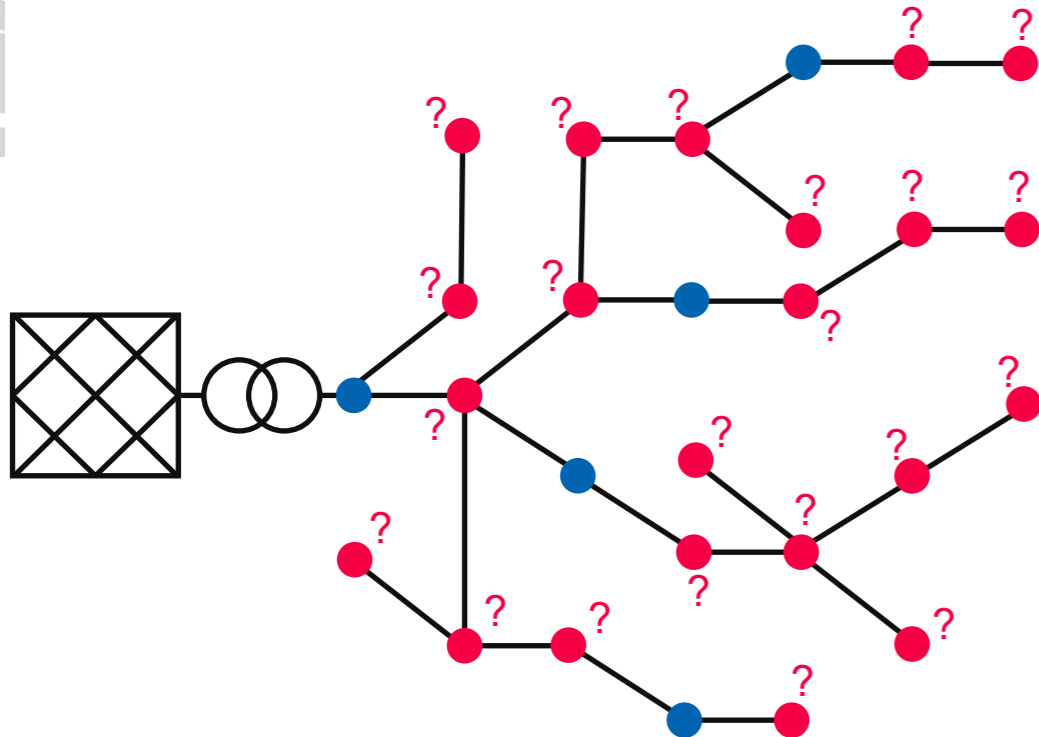
VITREOUSGRID | DI Wendelin Angermann

12.02.2026

# Motivation



# Motivation für die Zustandsermittlung



- nicht gemessene Knoten
- gemessene Knoten

**Geringe Messwertdurchdringung:**  
In Mittel- und Niederspannungsnetzen sind Messungen typischerweise nur an wenigen Knoten und Leitungen verfügbar.

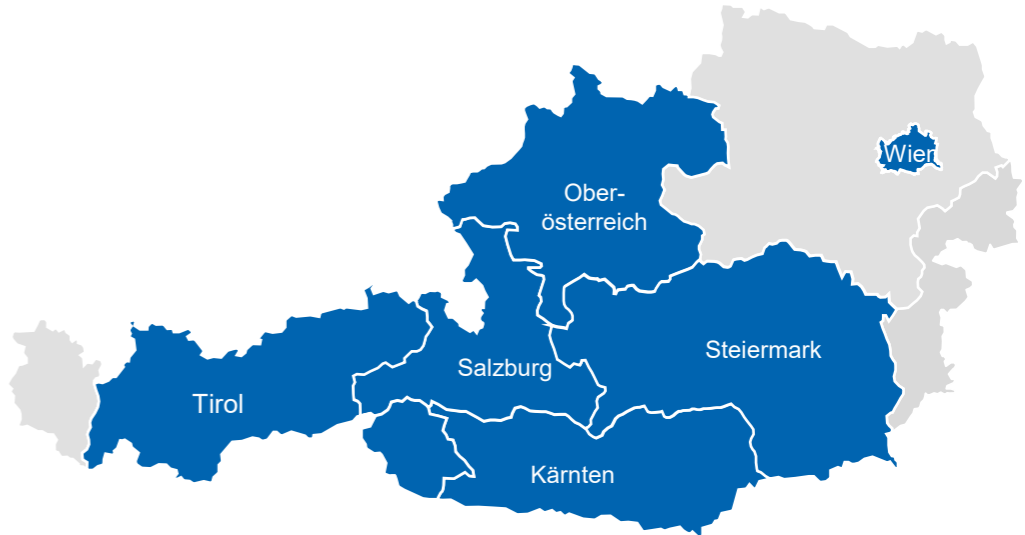
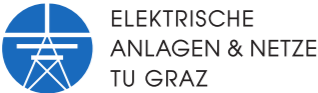
**Unbekannter Betriebszustand:**  
An nicht gemessenen Knoten lassen sich Betriebszustände nicht direkt bestimmen.

**Rolle der Zustandsermittlung:**  
Der vollständige Netzzustand kann aus verfügbaren Messwerten und dem Netzmodell erschlossen werden.

# Projektvorstellung



# Forschungsprojekt VITREOUSGRID – Projektteam



Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2023 durchgeführt



# Forschungsprojekt VITREOUSGRID – Projektziele



## Methodische Weiterentwicklung

Entwicklung neuer praxisnaher Ansätze für die Zustandsermittlung



## Messstrategie

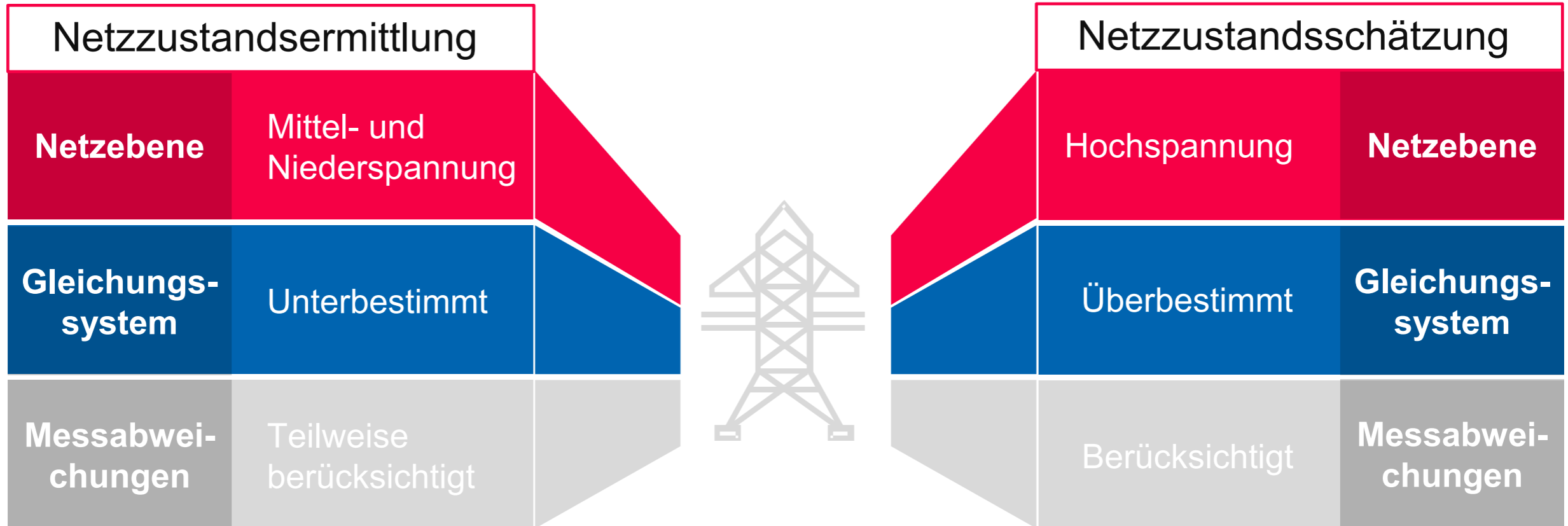
Ermittlung notwendiger Messwertdurchdringung und Messstellenpositionierung

## Verfahrensevaluierung

Vergleich und Bewertung bestehender Verfahren

# Begriffliche und methodische Grundlagen

# Zustandsermittlung und Zustandsschätzung im Vergleich



# Modellbasierte vs. datengetriebene Verfahren

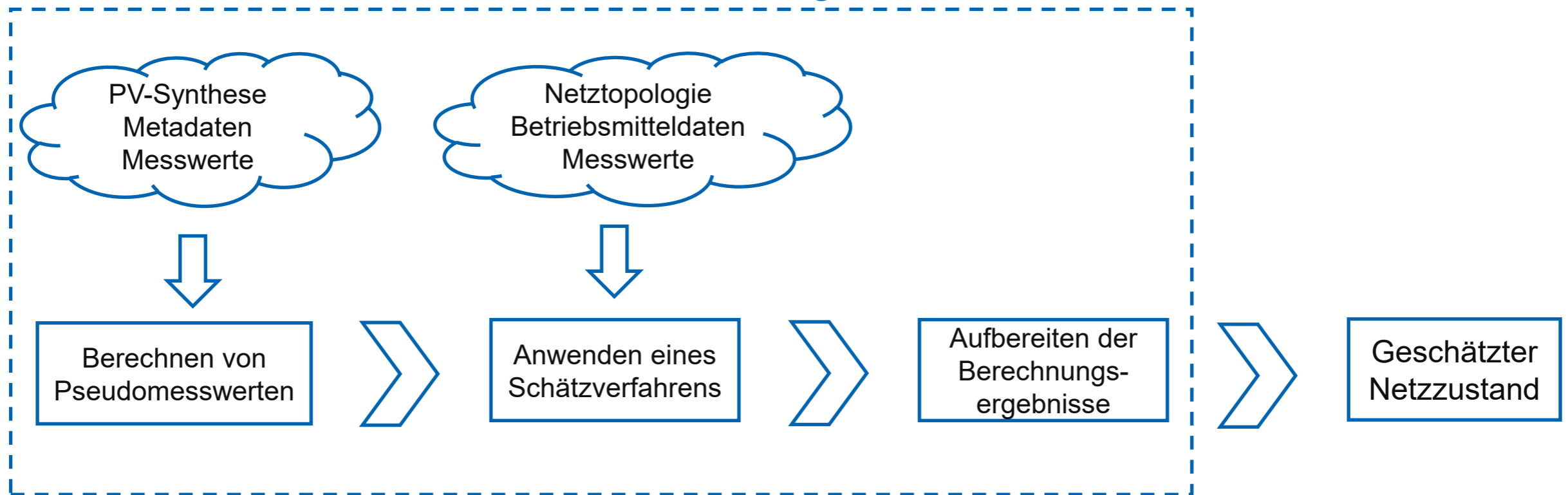
Modellbasierte Verfahren	
<b>Hauptmerkmale:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mathematisches Netzmodell</li> <li>• Nutzung von Mess- und Pseudomesswerten</li> </ul>	
Übertragbar auf unterschiedliche Netzstrukturen	Teilweise vereinfachende Modellannahmen
Physikalisch konsistenter Netzzustand	Mögliche Konvergenzprobleme

Datengetriebene Verfahren	
<b>Hauptmerkmale:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistik- und ML-basierte Ansätze</li> <li>• Nutzung heterogener Eingangsdaten</li> </ul>	
Schnelle Berechnung im Betrieb	Hoher Bedarf an repräsentativen Trainingsdaten
Keine Konvergenzprobleme	Keine garantierte physikalische Konsistenz

# Eigenschaften modellbasierter Verfahren

# Aufbau eines modellbasierten Verfahrens zur Netzzustandsermittlung

## Netzzustandsermittlung



# Eigenschaften linearer und nichtlinearer Verfahren

## Linearer Ansatz

**Numerisch robust**

Keine Konvergenzprobleme

**Modellapproximation**

Nichtlinearitäten nur näherungsweise erfasst

**Direkte Lösung**

Lösung ohne Iteration

**Implementation von  $|U|$  und  $|I|$**

Spannungs- und Strombeträge nur eingeschränkt integrierbar

## Nichtlinearer Ansatz

**Hohe Modelltreue**

Vollständige Abbildung der Lastflussgleichungen

**Iterative Lösung**

Erhöhter Rechenaufwand

**Flexible Messwertintegration**

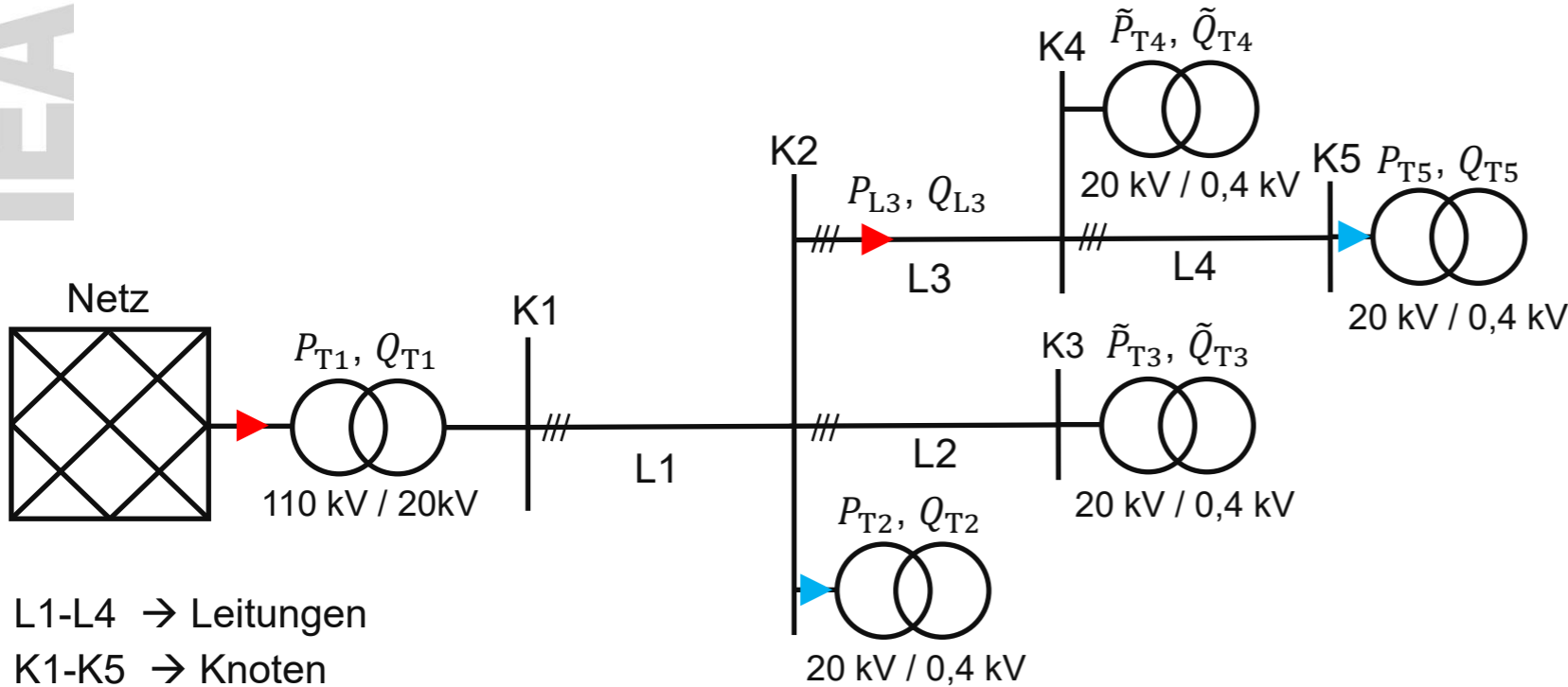
Unterschiedliche Messgrößen direkt integrierbar

**Konvergenzrisiken**

Abhängigkeit von Startwerten.

# Leistungsbasierter Ansatz zur Zustandsermittlung

# Leistungsbilanzen aus Messungen in einem radialen Netz



L1-L4 → Leitungen

K1-K5 → Knoten

▶ Knotenleistungsmessungen

▶ Zweigleistungsmessungen

~ → Pseudomesswerte

## Gesamte Leistungsbilanz

$$P_{T1} = \sum_{i \in \{2,5\}} P_{Ti} + \sum_{k \in \{3,4\}} \tilde{P}_{Tk} + P_V$$

$$Q_{T1} = \sum_{i \in \{2,5\}} Q_{Ti} + \sum_{k \in \{3,4\}} \tilde{Q}_{Tk} + Q_V$$

$P_V, Q_V$  ... Verlustleistung des Netzes

## Leitung 3 Leistungsbilanz

$$P_{L3} = \tilde{P}_{T4} + P_{T5} + P_{VL3} + P_{VL4}$$

$$Q_{L3} = \tilde{Q}_{T4} + Q_{T5} + Q_{VL3} + Q_{VL4}$$

$P_{VL3}, Q_{VL3}$  ... Verlustleistung Leitung 3

$P_{VL4}, Q_{VL4}$  ... Verlustleistung Leitung 4

# Allgemeine Formulierung der Leistungsbilanzen

nichtlinear

## Gesamte Leistungsbilanz Slack (sl)

$$P_{sl} = \sum_{i \in \mathcal{N}_{\neg s}} P_i + P_V$$

$$Q_{sl} = \sum_{i \in \mathcal{N}_{\neg s}} Q_i + Q_V$$

Slack:  $s \in \{1\}$

$$\mathcal{N}_{\neg s} = \{1, \dots, N\} \setminus \{s\}$$

linear

## Zweikleistungsbilanz

$$P_{\text{Leitung}} = \sum_{u \in \mathcal{U}} P_u + P_{V,u}$$

$$Q_{\text{Leitung}} = \sum_{u \in \mathcal{U}} Q_u + Q_{V,u}$$

$$\mathcal{U} = \left\{ u \mid \begin{array}{l} u \text{ ist der Leitung} \\ \text{topologisch unterlagert} \end{array} \right\}$$

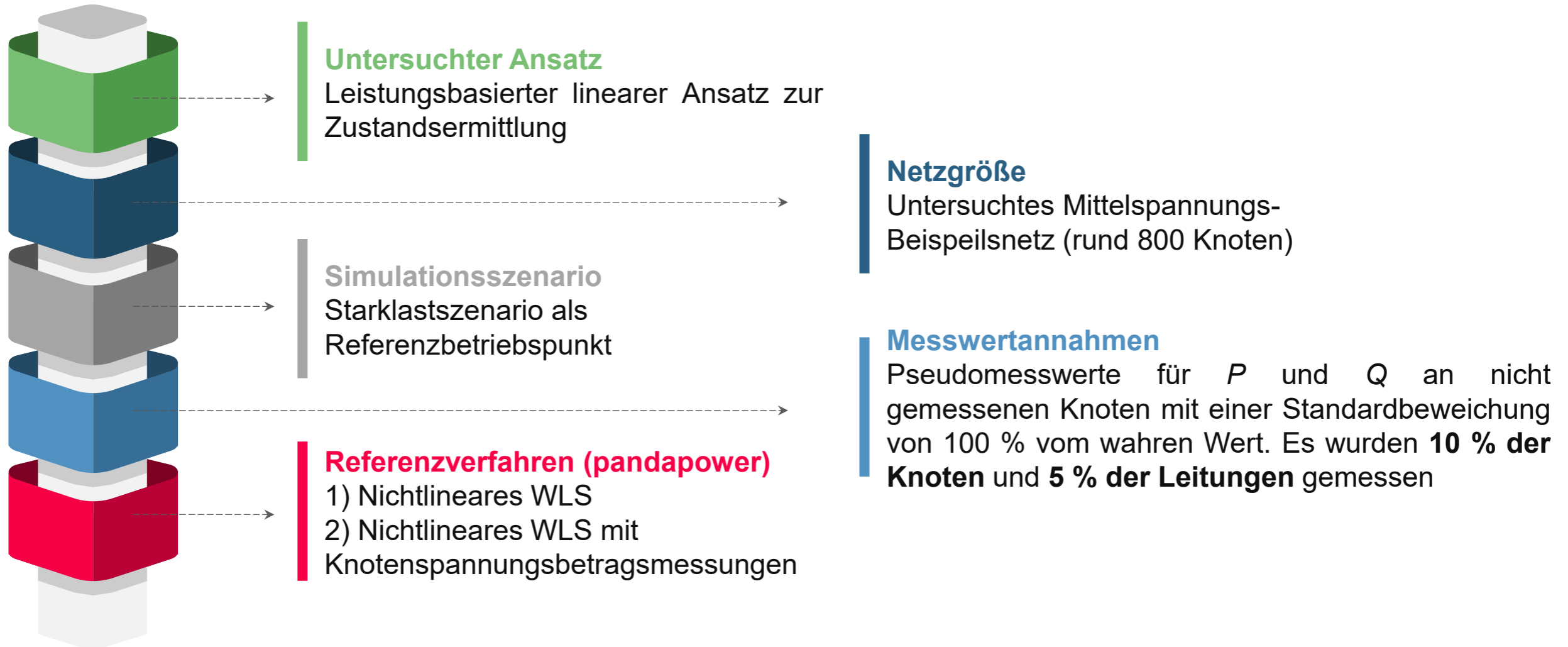
# Algorithmischer Ablauf des leistungs-basierten Ansatzes

Initialisierung: Keine Verluste  $\rightarrow Q_{V,u} = Q_V = 0 \text{ Mvar} \quad P_{V,u} = P_V = 0 \text{ MW}$

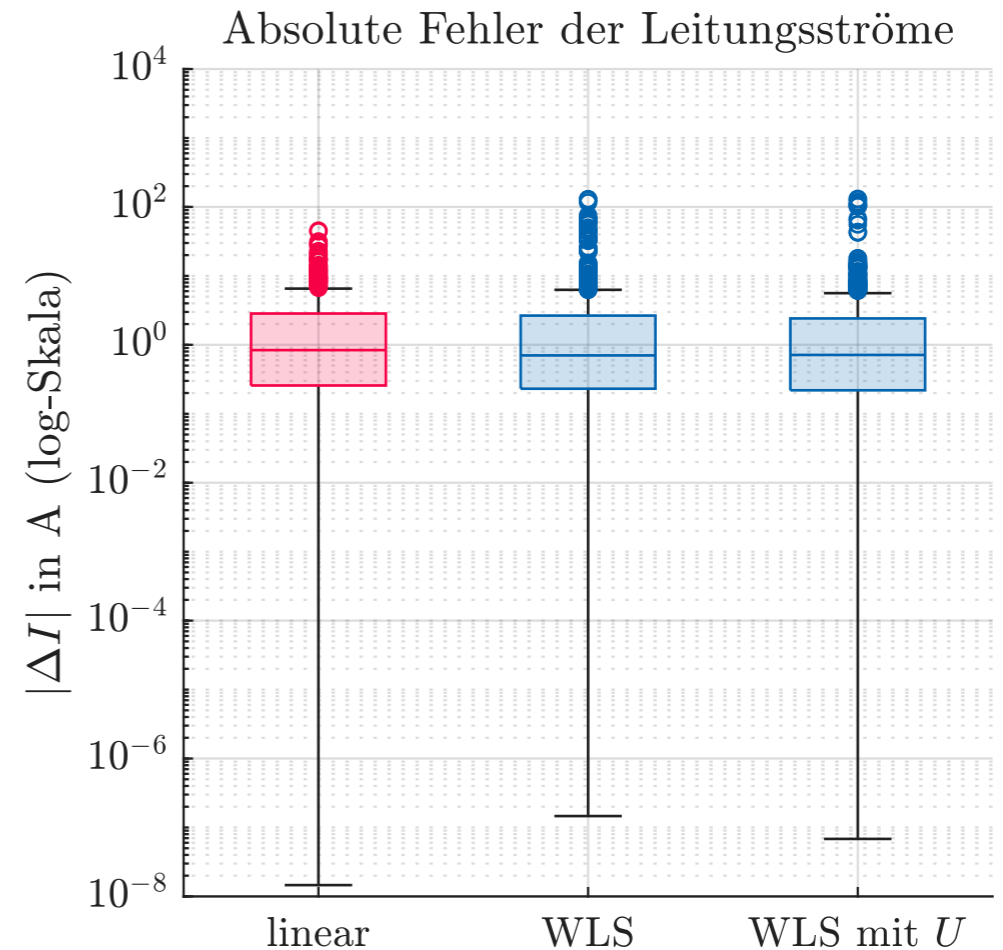
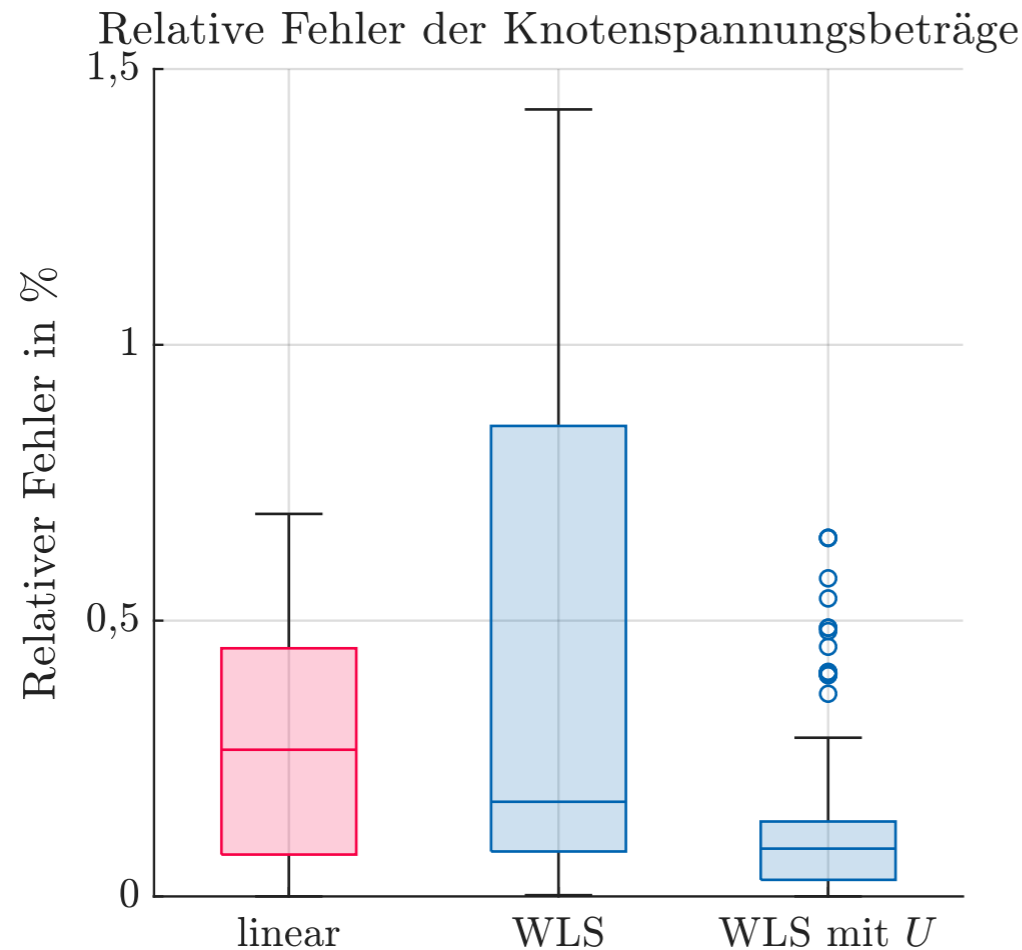


**Abbruch: Verlustleistungsgradient**

# Setup zur Bewertung der Zustandsermittlung



# Schätzgenauigkeit der Knotenspannungsbeträge und Leitungstrombeträge



# Erste Erkenntnisse und Ausblick



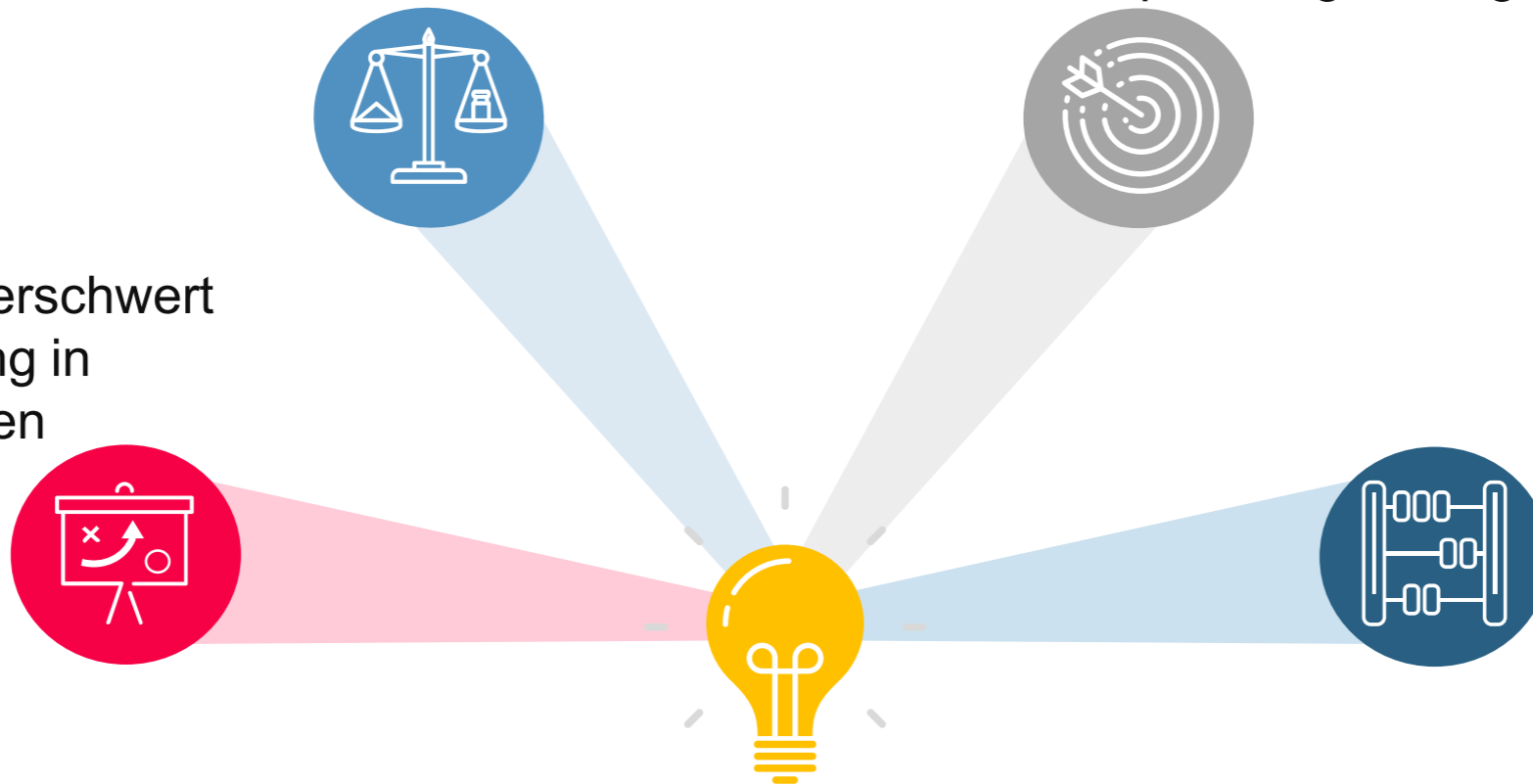
# Erste Erkenntnisse und Ausblick

Leistungsbasiertes Schätzverfahren für radiale Verteilernetze

Vergleichbare Genauigkeit zu etablierten WLS-Verfahren;  
Erweiterung um Spannungsbetragsmessungen in Arbeit

Geringe Messdichte erschwert die Zustandsermittlung in Mittelspannungsnetzen

Numerisch robustes Verfahren ohne schätzbedingte Konvergenzprobleme



# LEISTUNGSBASIERTE NETZZUSTANDSERMITTLUNG: EIN ALTERNATIVER ANSATZ AUS VITREOUSGRID

VITREOUSGRID | DI Wendelin Angermann

12.02.2026