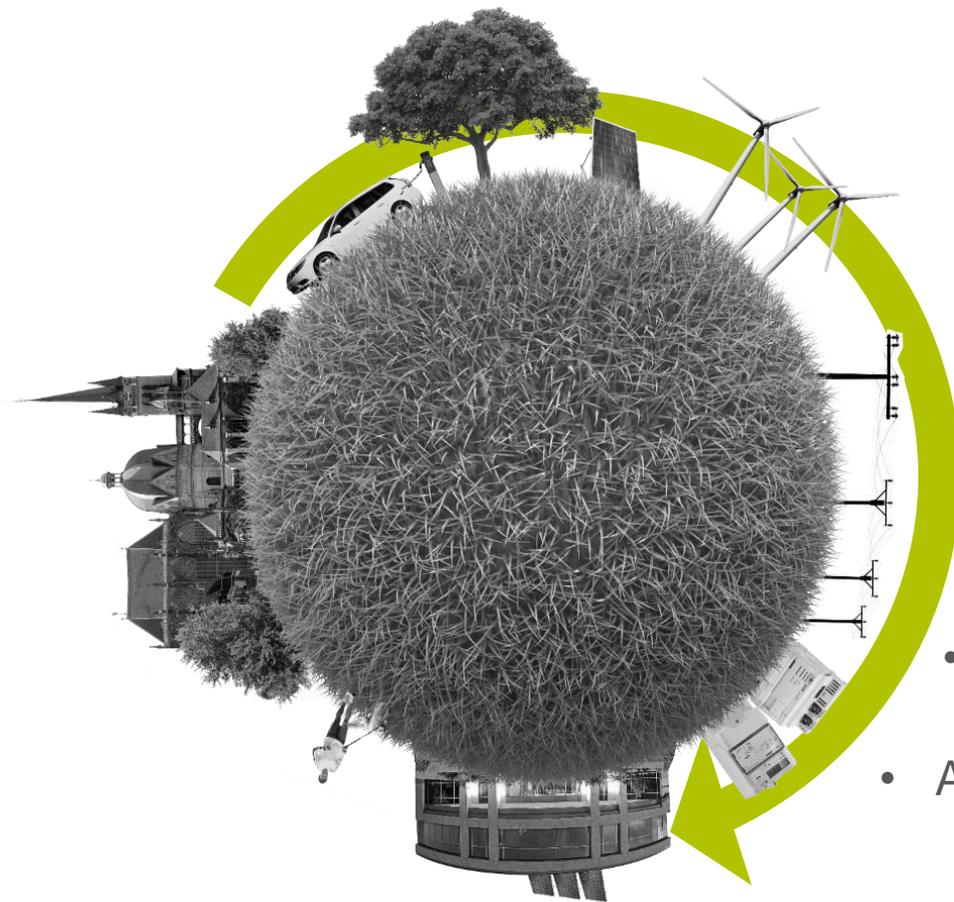


# Zustandsschätzung in der Verteilnetzebene

## Agenda



- Zustandsschätzung in der Verteilnetzebene
- Pseudo-Messwerte und Messfehler
- Positionierung von Messtechnik
- Testgebiet und Verfahrensverifizierung
- Ausblick

# Zustandsschätzung in der Verteilnetzebene

## Hintergrund und Motivation

### Entwicklungen in den deutschen Verteilnetzen

- Anstieg installierter dezentraler Erzeugungskapazität
- Neue betriebliche Freiheitsgrade
- ➔ Für Koordination neuer Freiheitsgrade Kenntnis des Netzzustandes vorteilhaft

### Warum Zustandsschätzung

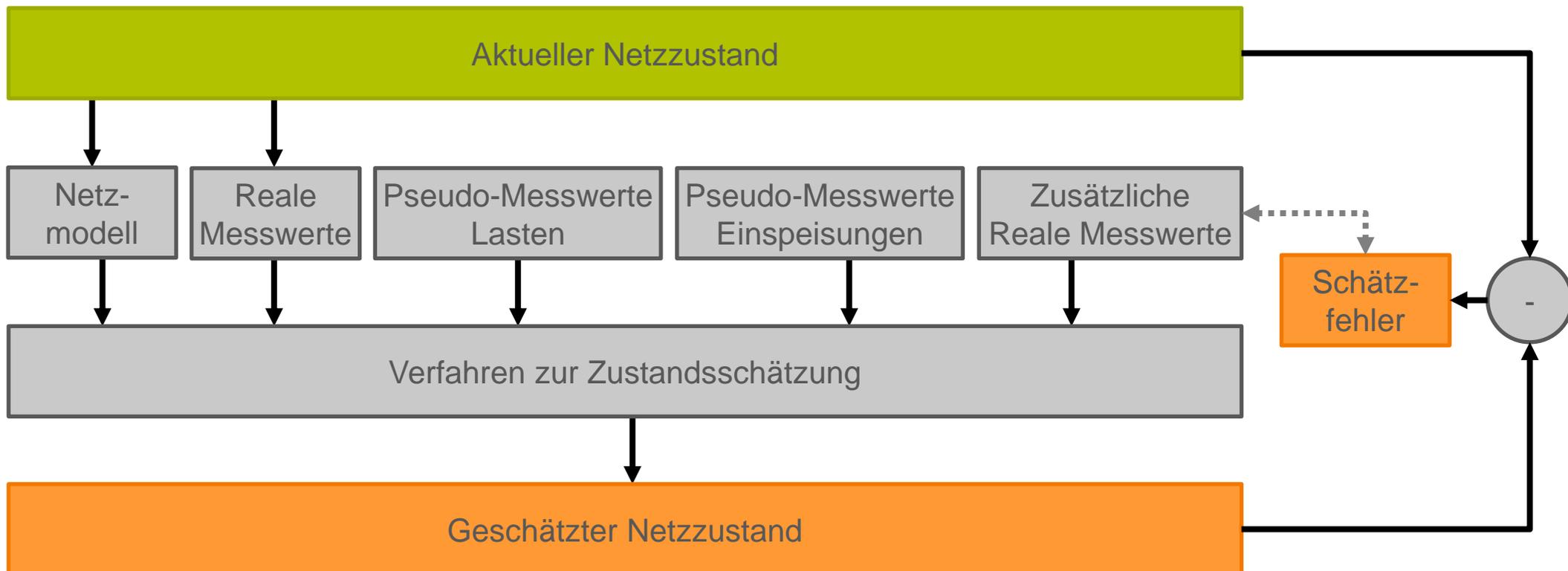
- Kenntnis des Netzzustandes (Strom/Spannung) ermöglicht:
  - koordinierten Einsatz (zukünftiger) betrieblicher Freiheitsgrade
  - höhere Ausnutzung bestehender Netze
  - reduzierte Sicherheitsmarge in der Netzplanung
- ➔ Optimierung der Netzplanung und des Netzbetriebes



# Zustandsschätzung in der Verteilnetzebene

## Überblick

- Zukünftige Steuer- und Regelkonzepte erfordern Kenntnis der bisher zumeist unbekanntenen Ströme und Spannungen im Verteilnetz



- Mitunter große Messfehler der Pseudo-Messwerte verursachen Schätzfehler
- Schätzfehler kann durch Ausbringung zusätzlicher Messtechnik reduziert werden

# Zustandsschätzung in der Verteilnetzebene

## Fragestellungen und Ziele des Projektes

### Fragestellungen

- Wie können Pseudo-Messwerte erzeugt werden und welche Messfehler resultieren?
- Welche Schätzfehler resultieren aus Messfehlern?
- Wie viel zusätzliche Messtechnik muss ausgebracht werden, um den Schätzfehler innerhalb tolerierbarer Grenzen zu halten?
- Wo sollte zusätzliche Messtechnik positioniert werden?
- Inwieweit kann Messtechnik durch bessere Pseudo-Messwerte eingespart werden?
- Wie kann eine Visualisierung im Leitsystem aussehen?

### Ziele

- Analyse von Pseudo-Messwerten und Messfehlern
- Integration der Zustandsschätzung für Mittelspannungsnetze in Leitsystem
- Entwicklung eines Verfahrens zur optimierten Positionierung von Messtechnik
- Verifizierung der Verfahren in einem realen Netz

PSI 

 **STAWAG**

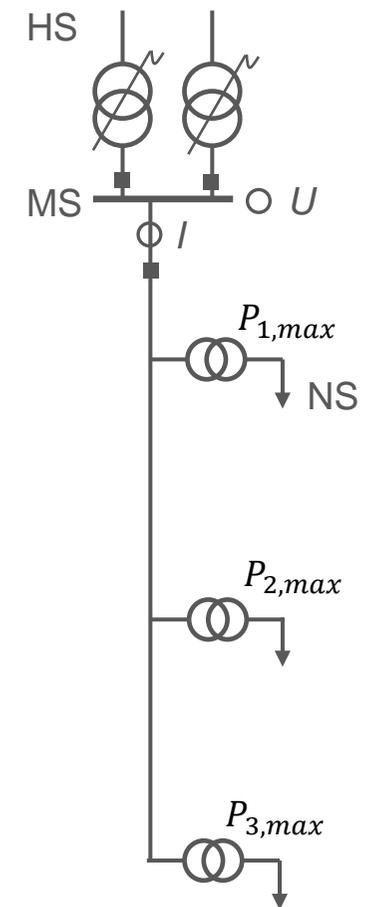
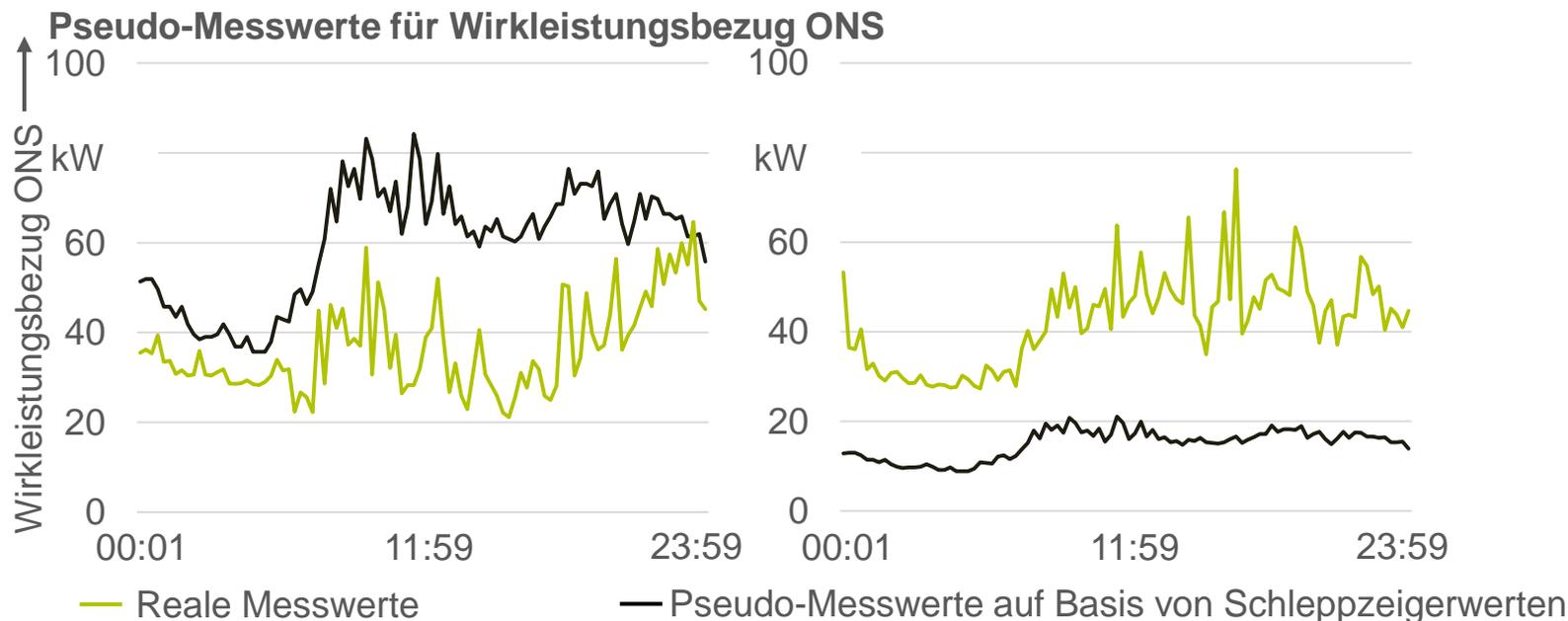
**IAEW** Institut für  
Elektrische  
Anlagen und  
Energiewirtschaft

**RWTHAACHEN**  
UNIVERSITY

# Pseudo-Messwerte und Messfehler

## Pseudo-Messwerte I/III

- Verwendung vorhandener Messtechnik im HS/MS Umspannwerk sowie Nutzung von Schleppzeigerwerten
- Skalierung der gemessenen Abgangsleistung mit jeweiliger Jahrhöchstlast der Ortsnetzstation  $P_{i,Pseudo} = \frac{P_{Abgang} \cdot P_{i,max}}{\sum P_{max}}$
- Mitunter deutliche Abweichungen, insbesondere an Stationen mit Erzeugungsanlagen im unterlagerten NS-Netz

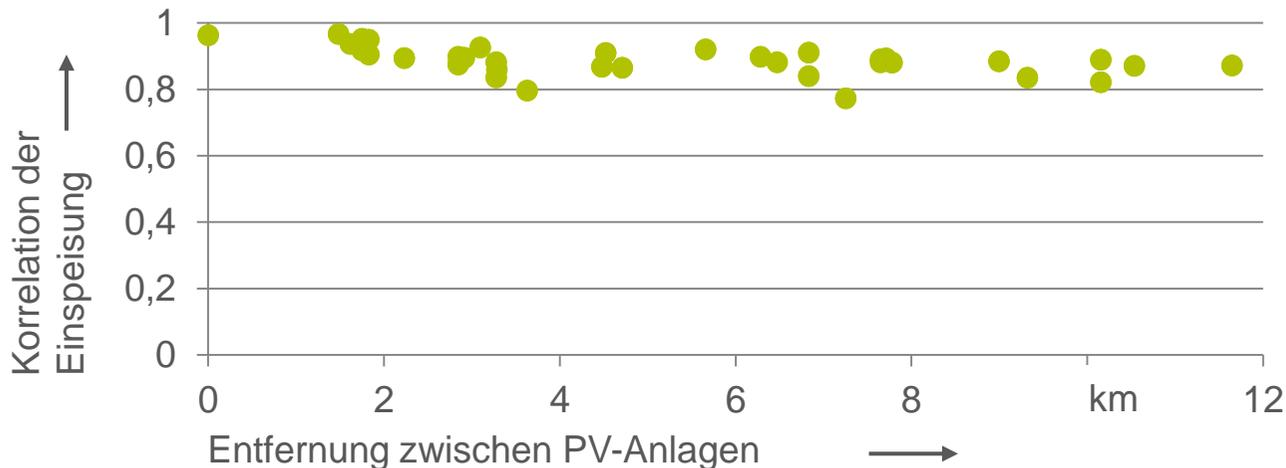


- Leistungsschalter
- Messtechnik
- ↓ Last

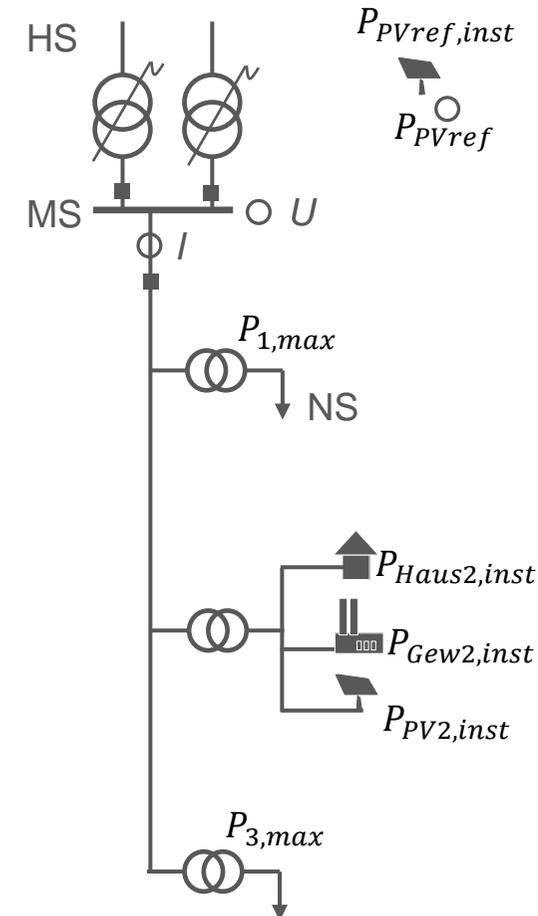
# Pseudo-Messwerte und Messfehler

## Pseudo-Messwerte II/III

- Bessere Pseudo-Messwerte durch zusätzliche Informationen aus unterlagerten NS-Netzen
- Analyse der installierten Leistungen bzw. Energiemengen je ONS für
  - Haushaltskunden
  - Gewerbekunden
  - Einspeisungen



- Generierung individueller verbesserter Pseudo-Messwerte unter Verwendung von Referenzmessungen an Erzeugungsanlagen und (individueller) Lastprofile

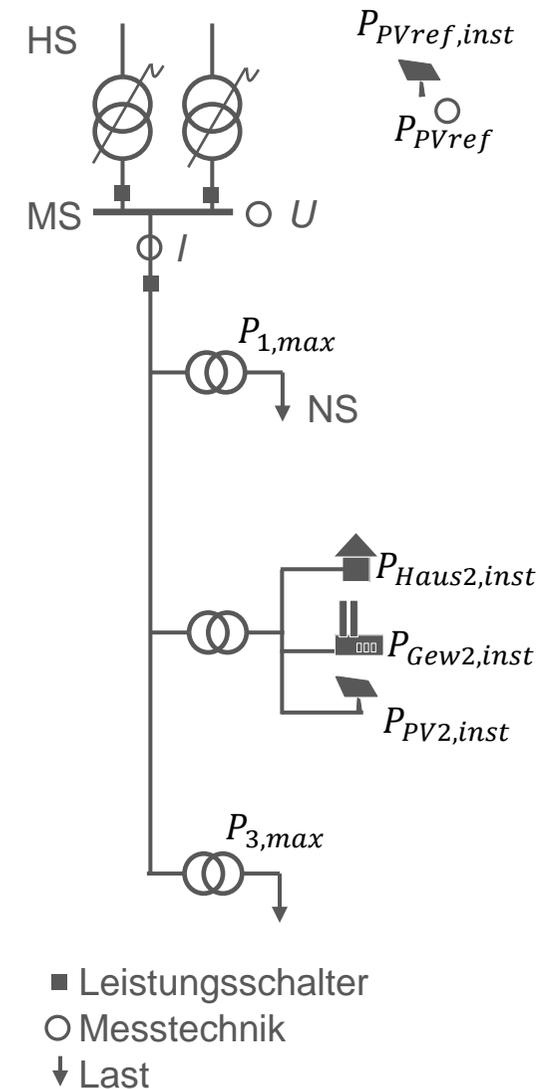
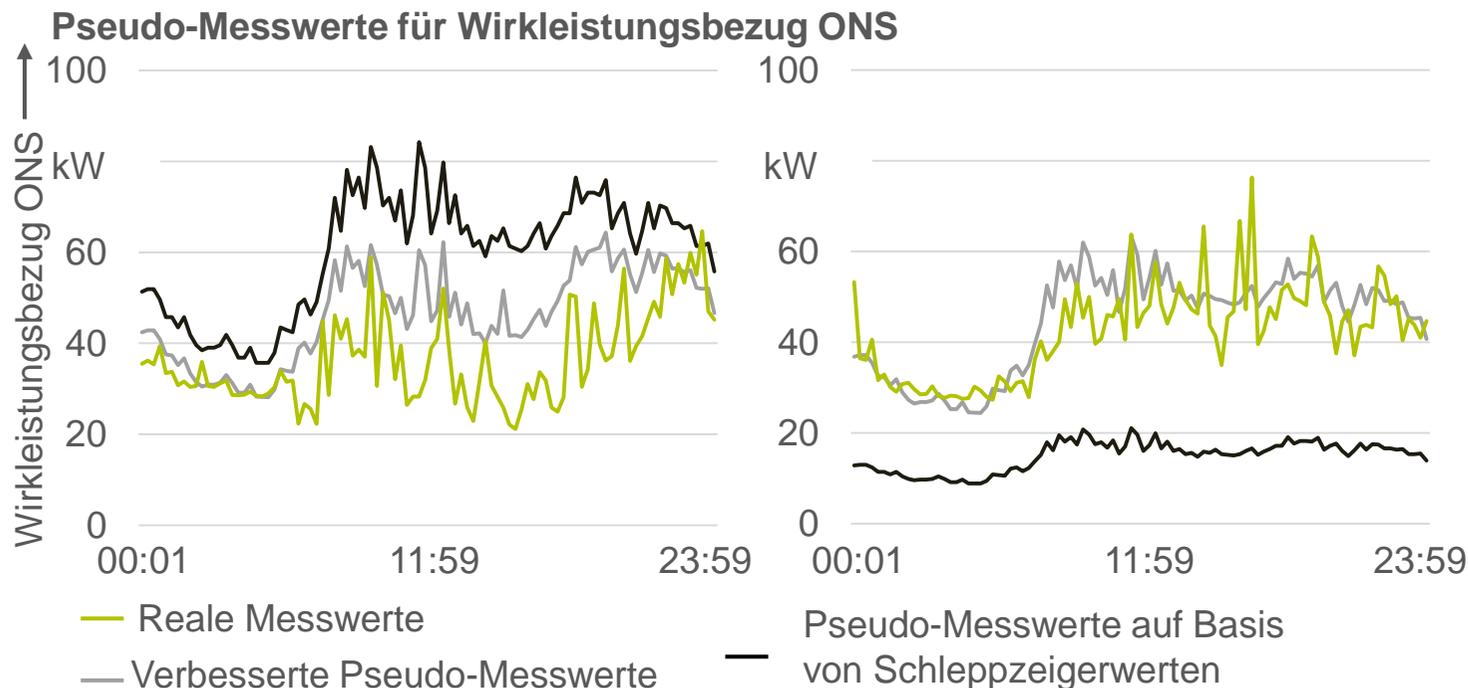


- Leistungsschalter
- Messtechnik
- ↓ Last

# Pseudo-Messwerte und Messfehler

## Pseudo-Messwerte III/III

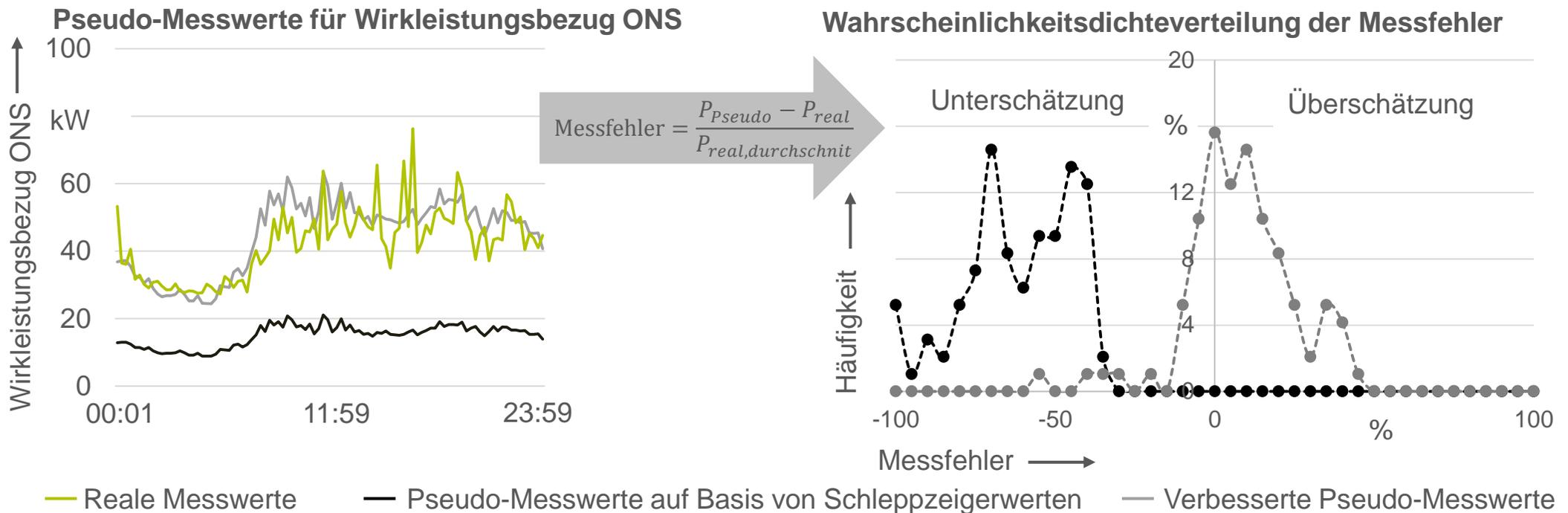
- Deutliche Verbesserung der Pseudo-Messwerte durch Berücksichtigung von Analyseergebnissen unterlagerter NS-Netze
- Verbesserung insbesondere bei Netzen mit hohem Anteil dezentraler Erzeugung oder Gewerbelasten
- Reduktion der Messfehler der Pseudo-Messwerte



# Pseudo-Messwerte und Messfehler

## Messfehler

- Vergleich der Qualität verschiedener Methoden zur Bildung von Pseudo-Messwerten auf Basis des Messfehlers

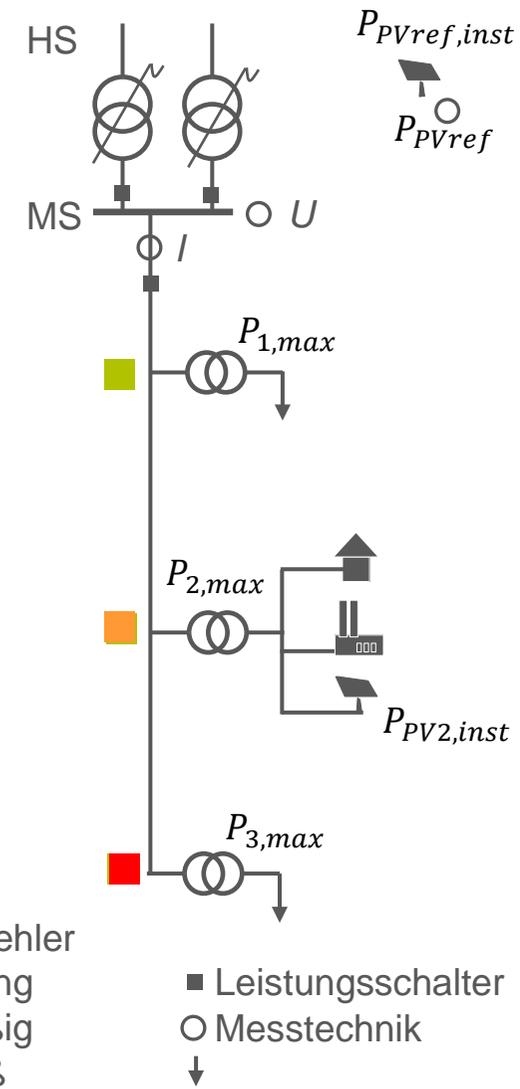


- Messfehler wesentliche Ursache für Abweichungen zwischen realem und geschätztem Netzzustand (Schätzfehler)
- Reduktion der Schätzfehler durch Ausbringung zusätzlicher Messtechnik mit geringen Messfehlern

# Positionierung von Messtechnik

## Überblick

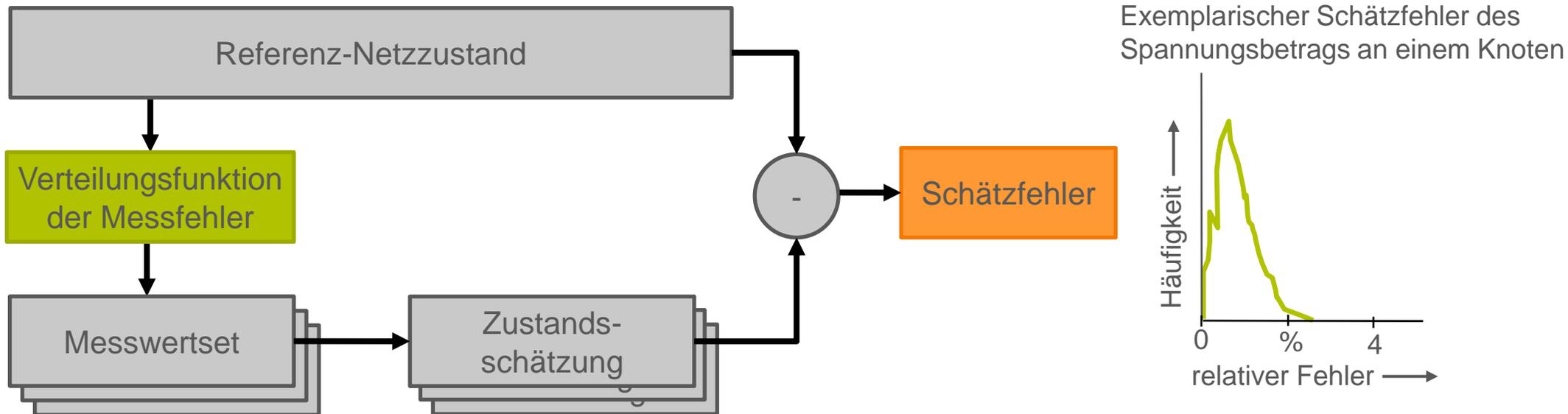
- Sinnvolle Nutzung der Zustandsschätzung im Rahmen der Netzbetriebsführung erfordert geringe Schätzfehler
  - Sehr geringer tolerierbarer Schätzfehler für Spannungsbeträge (<1%)
  - Höhere tolerierbare Schätzfehler für Zweigströme (<10%)
- Reduktion der Schätzfehler durch bessere Pseudo-Messwerte oder zusätzliche Messtechnik
- Verfahren zur kostenminimalen Positionierung von Messtechnik zur Einhaltung vorgegebener Schätzfehler
- Verfahren zur Berechnung der Schätzfehler erforderlich
- Verifikation der entwickelten Verfahren integraler Bestandteil des Projektes
- Vollständige messtechnische Erfassung eines Netzgebietes erforderlich
- Überprüfung der berechneten optimalen Positionen zusätzlicher Messtechnik durch Zu- und Abschalten von Messwerten



# Positionierung von Messtechnik

## Berechnung des Schätzfehlers und optimierte Positionierung

- Definition einer realitätsnahen Last-/Einspeisesituation (Referenz-Netzzustand)
- Modellierung der Messfehler von realen und Pseudo-Messwerten mittels Verteilungsfunktionen

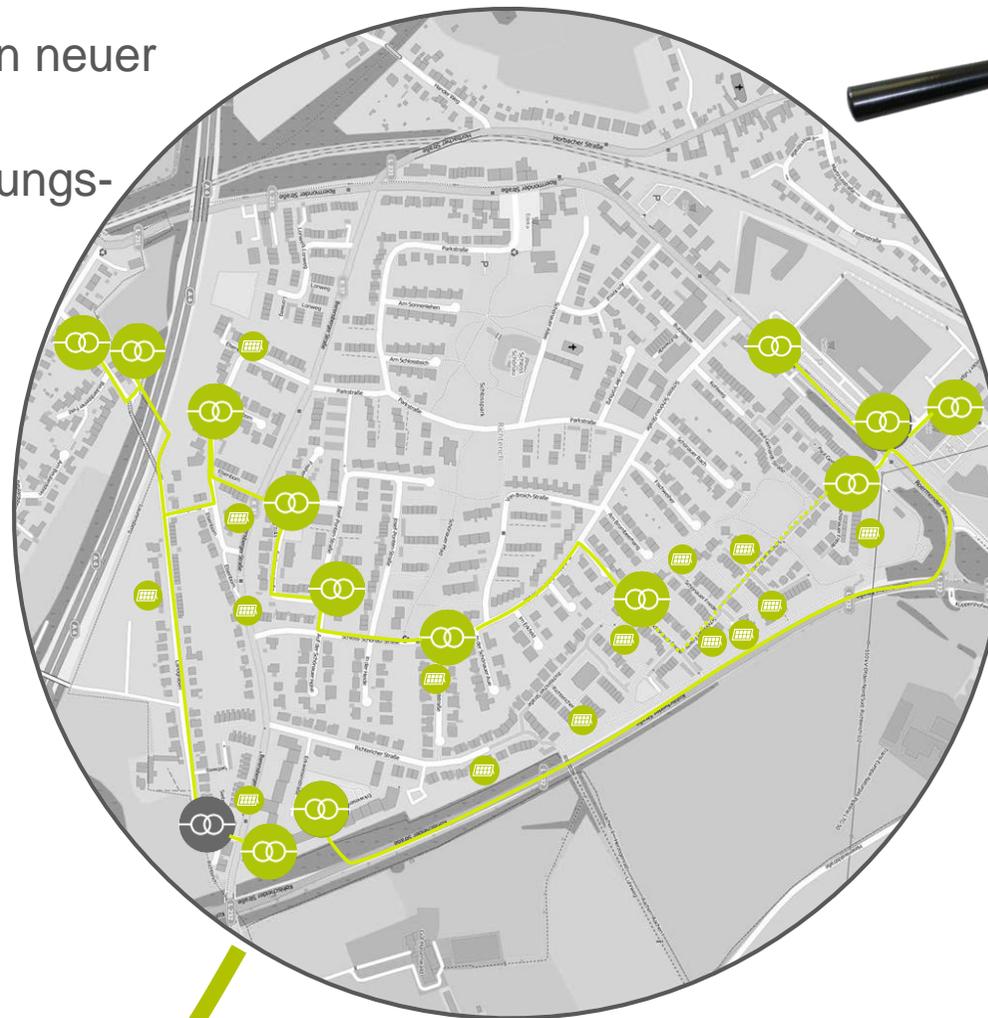


- Monte-Carlo-Simulation bedingt durch stochastisch geprägte Messfehler erforderlich
- Optimierte Positionierung zusätzlicher Messtechnik durch Genetischen Algorithmus und iterativer Berechnung der Schätzfehler

# Testgebiet und Verfahrensverifizierung

## Überblick Testgebiet

- Messtechnik zur Verifikation neuer Verfahren notwendig
- Auswahl eines Mittelspannungsabganges in Aachen-Richterich als Testgebiet
- Ausbringung von Messtechnik (Spannung, Wirk- und Blindleistung) in Ortsnetzstationen
- Kommunikationstechnische Anbindung der Messtechnik an Leitwarte



-  Ortsnetzstation ohne Messwerte
-  Ortsnetzstation mit Messwerten (U,P,Q)
-  PV-Anlage
-  MS-Leitung

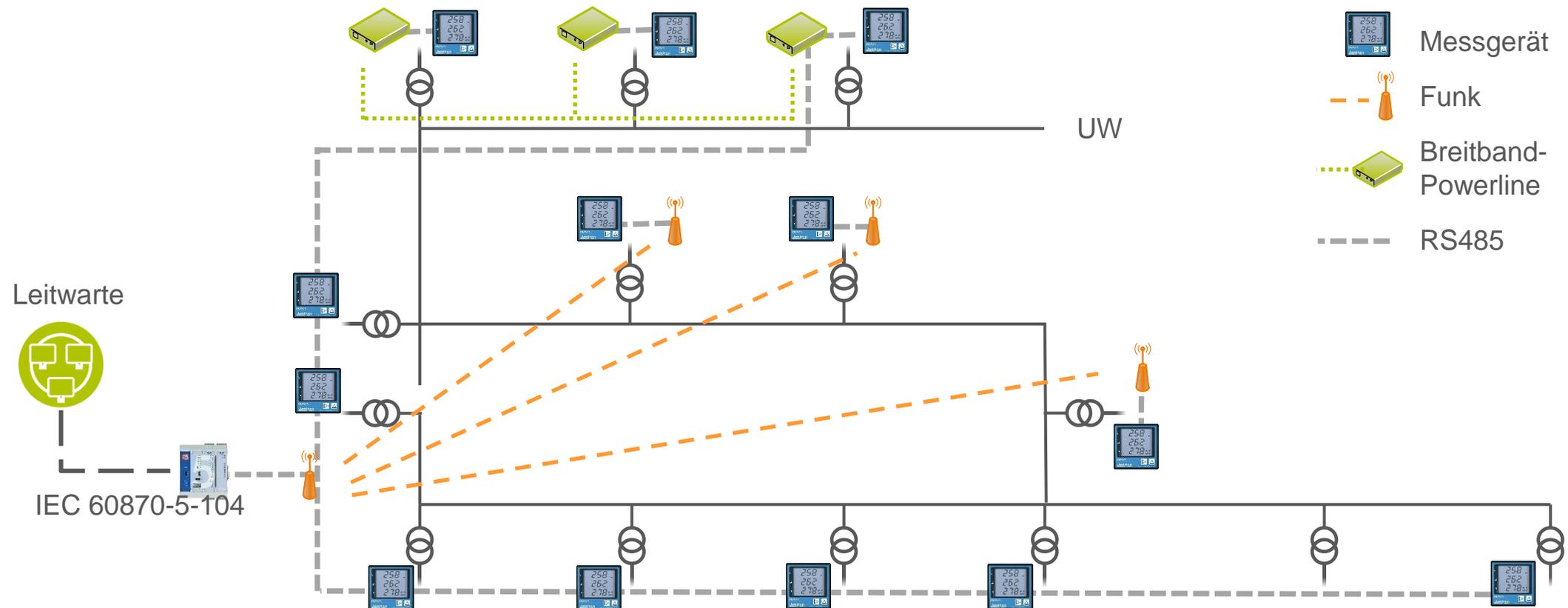


IEC 60870-5-104

# Testgebiet und Verfahrensverifizierung

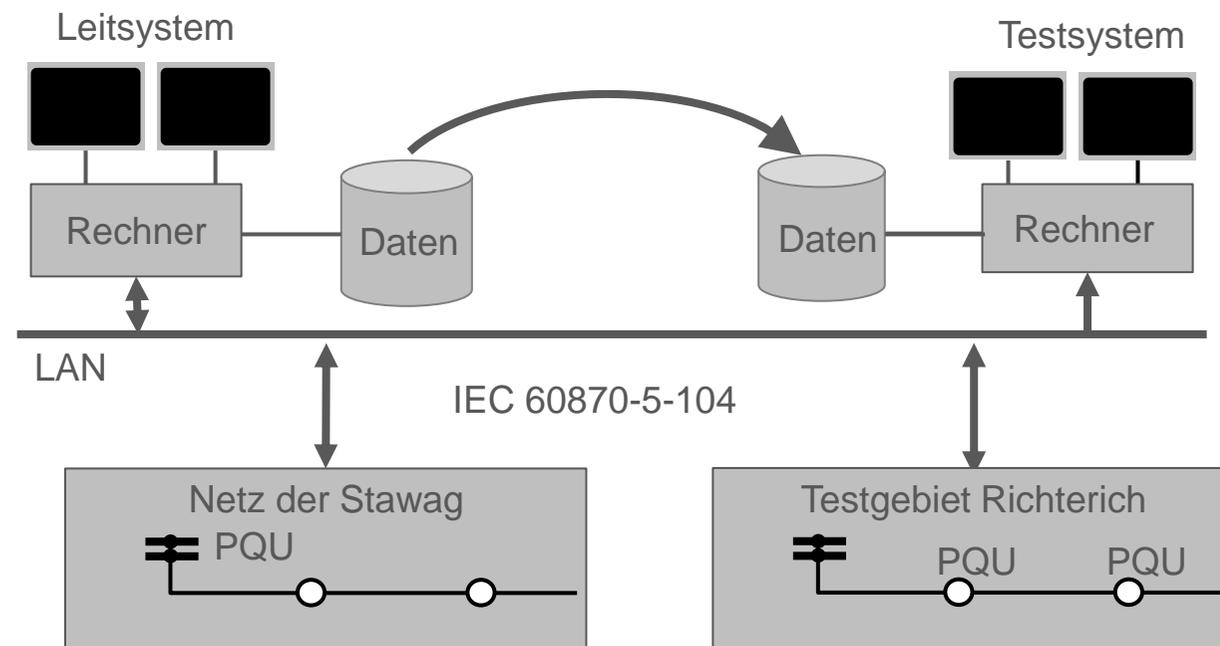
## Messtechnik

- Niederspannungsseitige Erfassung von Spannung, Wirk- und Blindleistung an 13 Ortsnetzstationen im Testgebiet
- Erprobung verschiedener kommunikationstechnischer Anbindungen
  - Drahtgebunden
  - Funk
  - Breitband Powerline



# Testgebiet und Verfahrensverifizierung Testsystem

- Aufbau eines entkoppelten Leitsystembereichs (Testsystem) durch PSI
- Übernahme der Datenbank
- Testsystem im Mithörbetrieb (keine Beeinflussung des Netzbetriebes)
- Verifizierung der entwickelten Verfahren
- Überprüfung der optimalen Positionierung von Messtechnik durch Ausblenden von Messwerten
- Integration verschiedener Ansätze zur Generierung von Pseudo-Messwerten im Testsystem

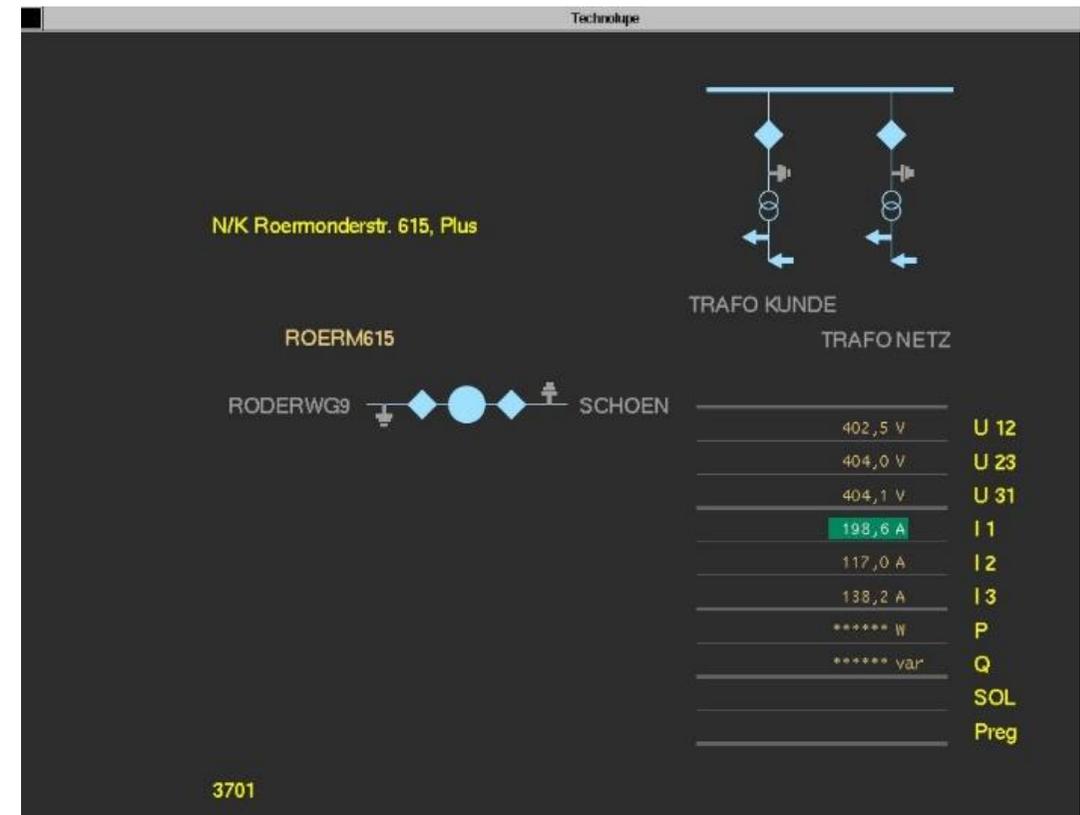


# Testgebiet und Verfahrensverifizierung

## Testsystem

- Aufbau eines entkoppelten Leitsystembereichs (Testsystem) durch PSI
- Übernahme der Datenbank
- Testsystem im Mithörbetrieb (keine Beeinflussung des Netzbetriebes)
- Verifizierung der entwickelten Verfahren
- Überprüfung der optimalen Positionierung von Messtechnik durch Ausblenden von Messwerten
- Integration verschiedener Ansätze zur Generierung von Pseudo-Messwerten im Testsystem
- Anpassung der Visualisierung

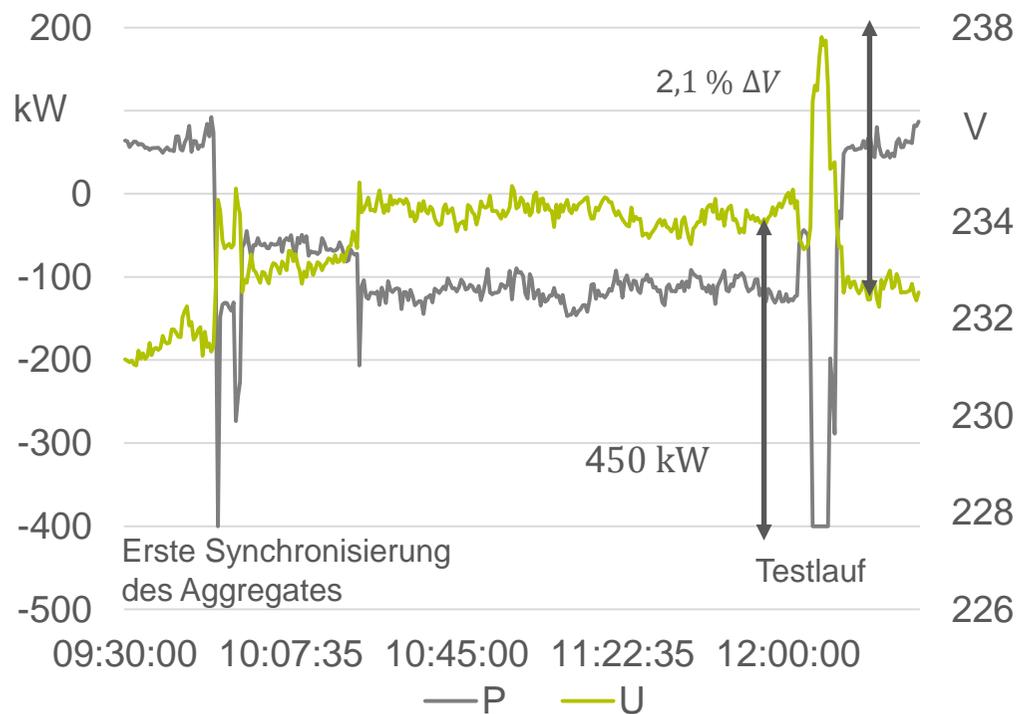
### Technolupenansicht mit Messtechnik



# Testgebiet und Verfahrensverifizierung

## Ergebnisse I/III

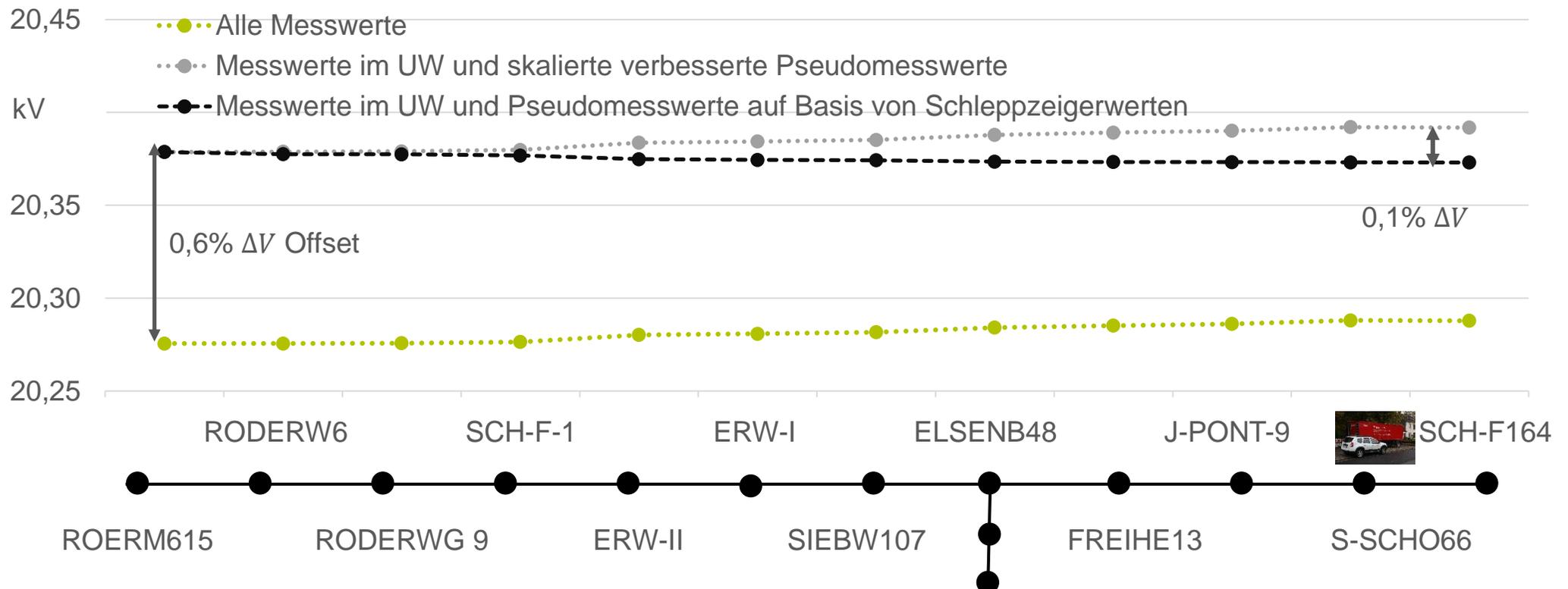
- Erste Ergebnisse zeigen nur sehr geringe Schätzfehler in der Testregion bedingt durch starres 20-kV-Netz mit geringen Leitungslängen und geringer installierter Erzeugungsleistung dezentraler Anlagen (180 kW im Testgebiet)
- Testlauf mit Netzersatzaggregat zur Simulation erhöhter dezentraler Einspeisung am Ende des Mittelspannungsabganges



# Testgebiet und Verfahrensverifizierung

## Ergebnisse II/III

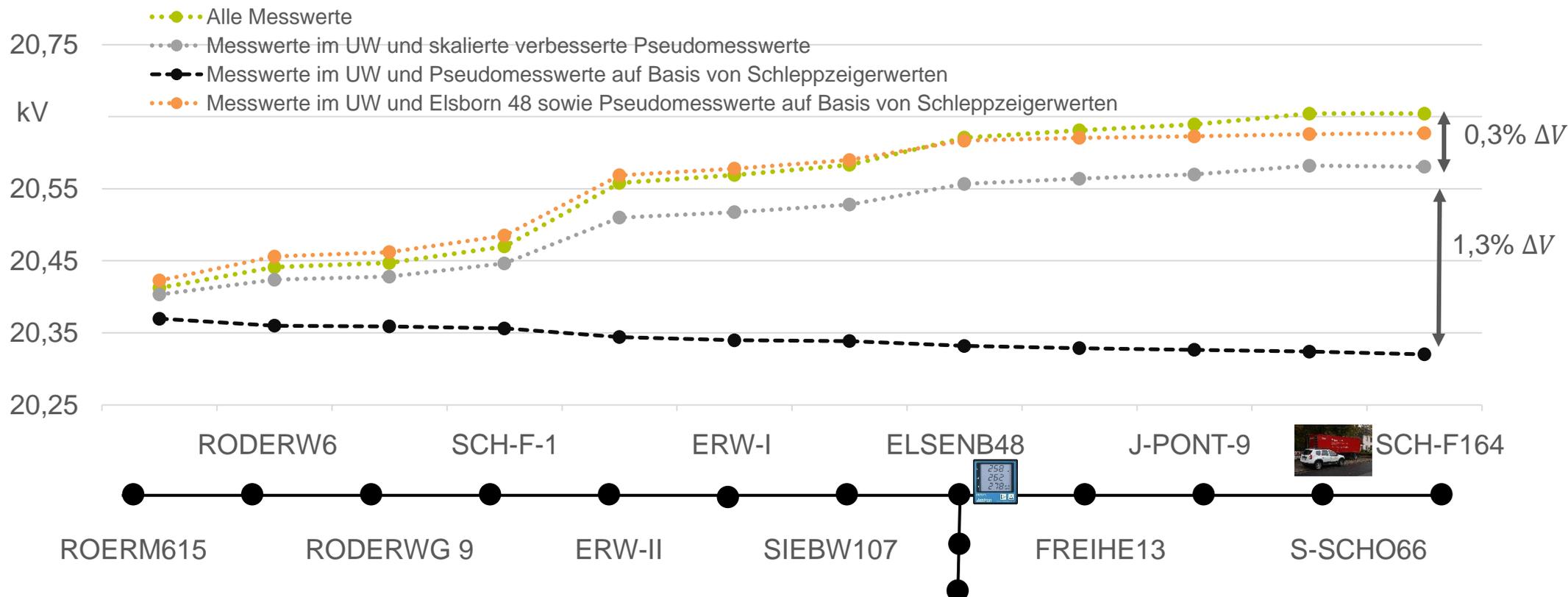
- Auch zusätzliche Einspeisung hat nur geringen Einfluss auf Spannung im MS-Netz
- Offset zwischen Schätzungen mit Pseudo-Messwerten und realen Messwerten durch kapazitiven Spannungsabgriff im UW
- Verbesserte Pseudo-Messwerte ermöglichen etwas bessere Schätzung (Erkennung Spannungshub) jedoch insgesamt generell sehr geringe Schätzfehler im Testgebiet



# Testgebiet und Verfahrensverifizierung

## Ergebnisse III/III

- Simulative Berechnung mit um Faktor 10 erhöhten Impedanzen (längere Leitungen)
- Verbesserte Pseudo-Messwerte führen zu deutlich geringeren Schätzfehler als Pseudo-Messwerte auf Basis von Schleppzeigerwerten (0,3%  $\Delta V$  vs. 1,6%  $\Delta V$ )
- Mit einer gut platzierten zusätzlichen Messung lässt sich der Schätzfehler ebenso reduzieren



# Zustandsschätzung in der Verteilnetzebene

## Zusammenfassung

- Entwicklung und Verifizierung von Algorithmen zur Zustandsschätzung und optimierten Positionierung von Messtechnik in Mittelspannungsnetzen erfolgreich abgeschlossen
- Installation eines Test-Leitsystems und vollständige messtechnische Erfassung eines Testgebietes zur Verifizierung der Verfahren durchgeführt
- Die Ergebnisse zeigen, dass
  - aktuell in MS-Netzen mit geringen Leitungslängen und geringen installierten Erzeugungsleistungen bereits einfache Pseudo-Messwerte ohne zusätzliche Messtechnik die Einhaltung geringer Schätzfehler ermöglichen
  - in Netzen mit einem höheren Anteil dezentraler Anlagen und längeren Abgängen die Verwendung verbesserter Pseudo-Messwerte sinnvoll ist oder alternativ an einzelnen gezielt ausgewählten Positionen zusätzliche Messtechnik platziert werden sollte
  - noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Ableitung allgemeiner Planungsgrundsätze zur Positionierung von Messtechnik besteht



[www.smartarea.de](http://www.smartarea.de)