

welcome to the  
**smart area**



## VP 2 | Spannungsqualität

Regelbare Ortsnetztransformatoren mit  
abgesetzter Spannungsmessung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Partner im Verbundprojekt 2



# Einleitung

## Motivation und Zielsetzung

### Motivation

- Hohe Netzbelastung aufgrund steigender Installationszahlen dezentraler Erzeugungsanlagen
- Regelbare Ortsnetztransformatoren (RONT) sind eine wirtschaftliche und technische Alternative zum Netzausbau
- Sammelschienenregelung nutzt Potenzial zur Vermeidung von Netzausbau möglicherweise nicht vollständig aus
- Wenig Erfahrung für Praxisfälle vorhanden

### Ziele

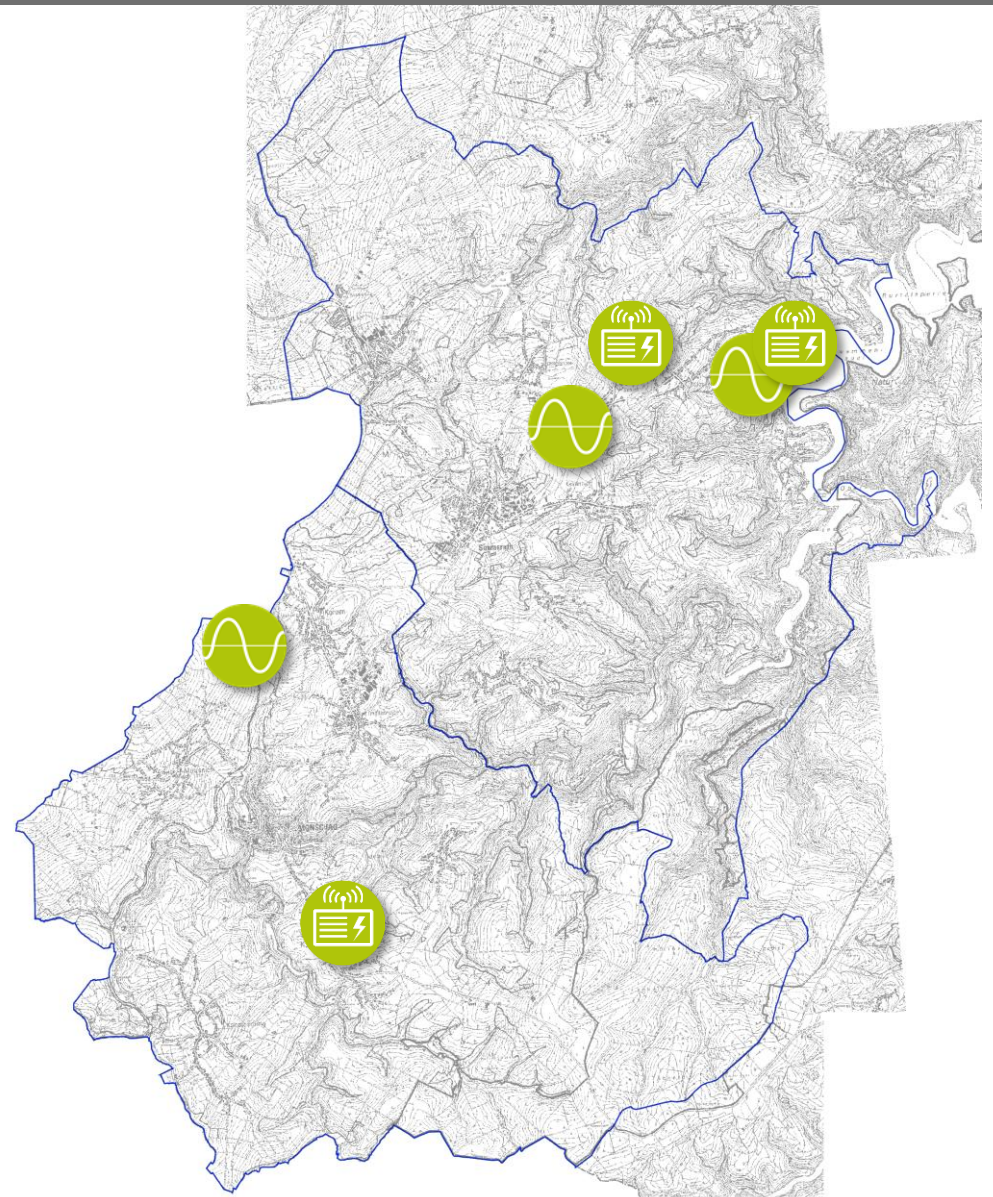
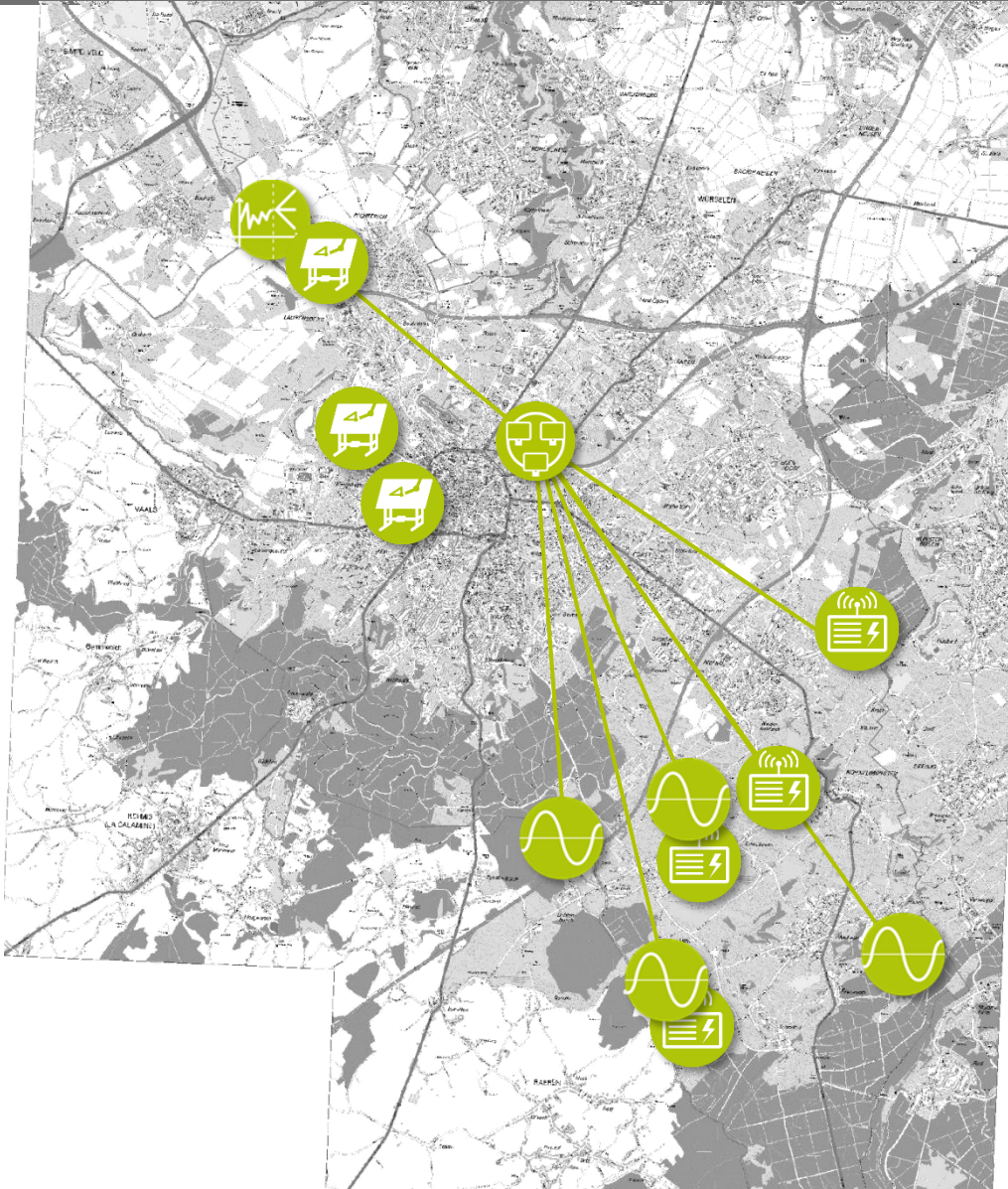
- Erweiterte Regelungsverfahren für RONT entwickeln, insb. Nutzung abgesetzter Sensorik
- Erprobung neuer Regelungsverfahren im Labor und im Feld
- Leitfaden für Installation, Betrieb und Netzplanung mit RONT



VP Spannungs-  
qualität

# Smart Area im Versorgungsnetz der STAWAG

## Sieben RONT im Netzgebiet installiert!





# Weiterentwicklung RONT

Algorithmen – Regler – Sensoren –  
Kommunikation

### Sammelschienenregelung

- $U_{min} \leq U_{SS} \leq U_{max}$

### Leistungsabhängige Sollwertanpassung (analog: stromabh. Sollwertanpassung)

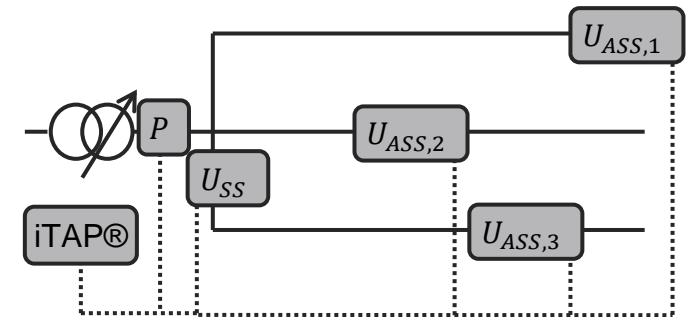
- $U_{min} \leq U_{SS} - dU(P) \leq U_{max}$

### Abgesetzte Sensorregelung

- $U_{min} \leq U_{ASS,i} \leq U_{max} ; i \in \{1 \dots n\}$

### Multisensorregelung

- $\min_T \rightarrow \sum_i |U_{ASS,i}(T) - U_{set}| + g|U_{SS} - U_{set}|$



- $U_{SS}$ : Sammelschienen­spannung
- $U_{min}$ : Minimal­spannung (zulässig)
- $U_{max}$ : Maximal­spannung (zulässig)
- $dU(P)$ : dyn. Sollwertanpassung
- $U_{ASS,i}$ : Entfernte Spannungen
- $U_{set}$ : Spannungssollwert
- $T$ : Stufenposition
- $g$ : Gewichtungsfaktor

# Weiterentwicklung RONT

## Regler- und Steuereinheit

### Reglerfunktionen

- Kombinierte **Regler- und Steuereinheit**
- Spannungsregler auf **intelligenter Feldbusklemme** implementiert
- Automatik-, Remote- und Handbetrieb
- Ethernet-Schnittstelle (IKT-Anbindung an Leitwarte möglich)
- IEC 60870-5-104

Installation auf **Sammelschiene** möglich



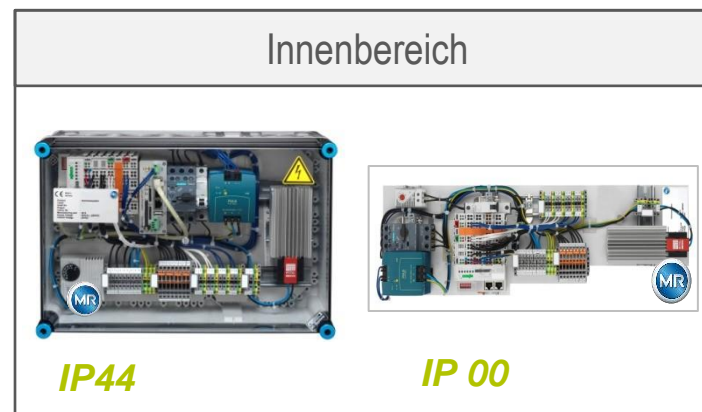
VP Spannungs-  
qualität

# Weiterentwicklung RONT

## Abgesetzte Sensorik

### Funktionen GRIDCON® SENSOR:

- **Messung von Spannungen und Strömen** im Netz, weit entfernt vom Transformator
- Zwei frei konfigurierbare **analoge Eingänge**
- **Kommunikation** über beliebige Übertragungstechniken wie z.B. GPRS, UMTS oder Powerline
- **Datenaustausch** zwischen GRIDCON® Sensor und iTAP® über **IEC 60870-5-104**
- **Speicherung** aller gemessenen und berechneten Werte **auf SD-Karte** für Analysezwecke
- **Download der Daten** über SD-Karte oder FTP (file transfer protocol)



**Messung +  
Speicherung**

- | 3x U
- | bis zu 4x I
- | 3x  $\cos\varphi$
- | 3x P, Q, S
- | 2x 0/4..20 mA



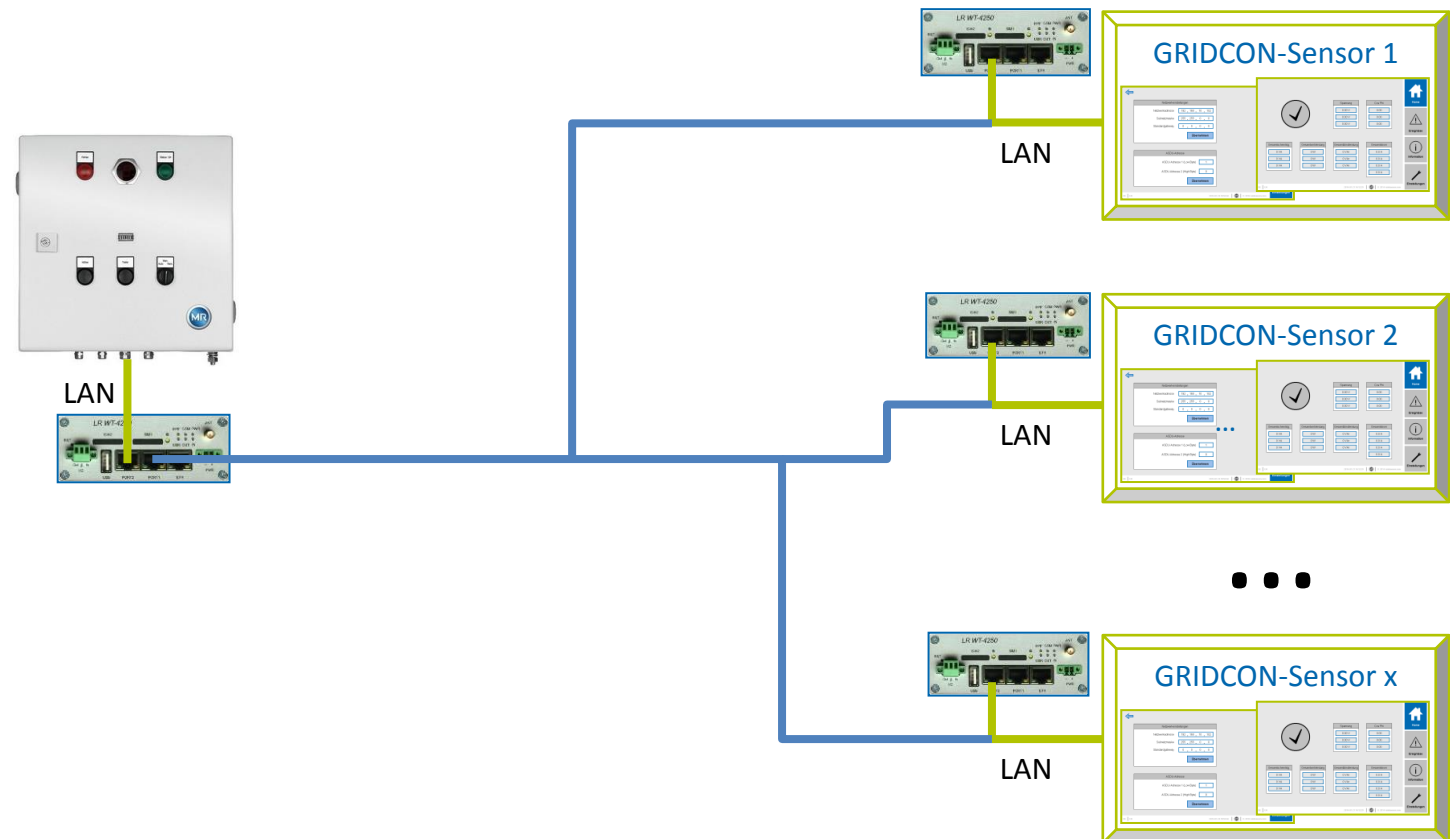


# Weiterentwicklung RONT

## Kommunikationskonzept

### Variante PLC

- PLC-Modem je Sensor und RONT
- RONT-Sensor-Kommunikation direkt über PLC



# Weiterentwicklung RONT

## Kommunikationskonzept

### Variante PLC

- PLC-Modem je Sensor und RONT
- RONT-Sensor-Kommunikation direkt über PLC

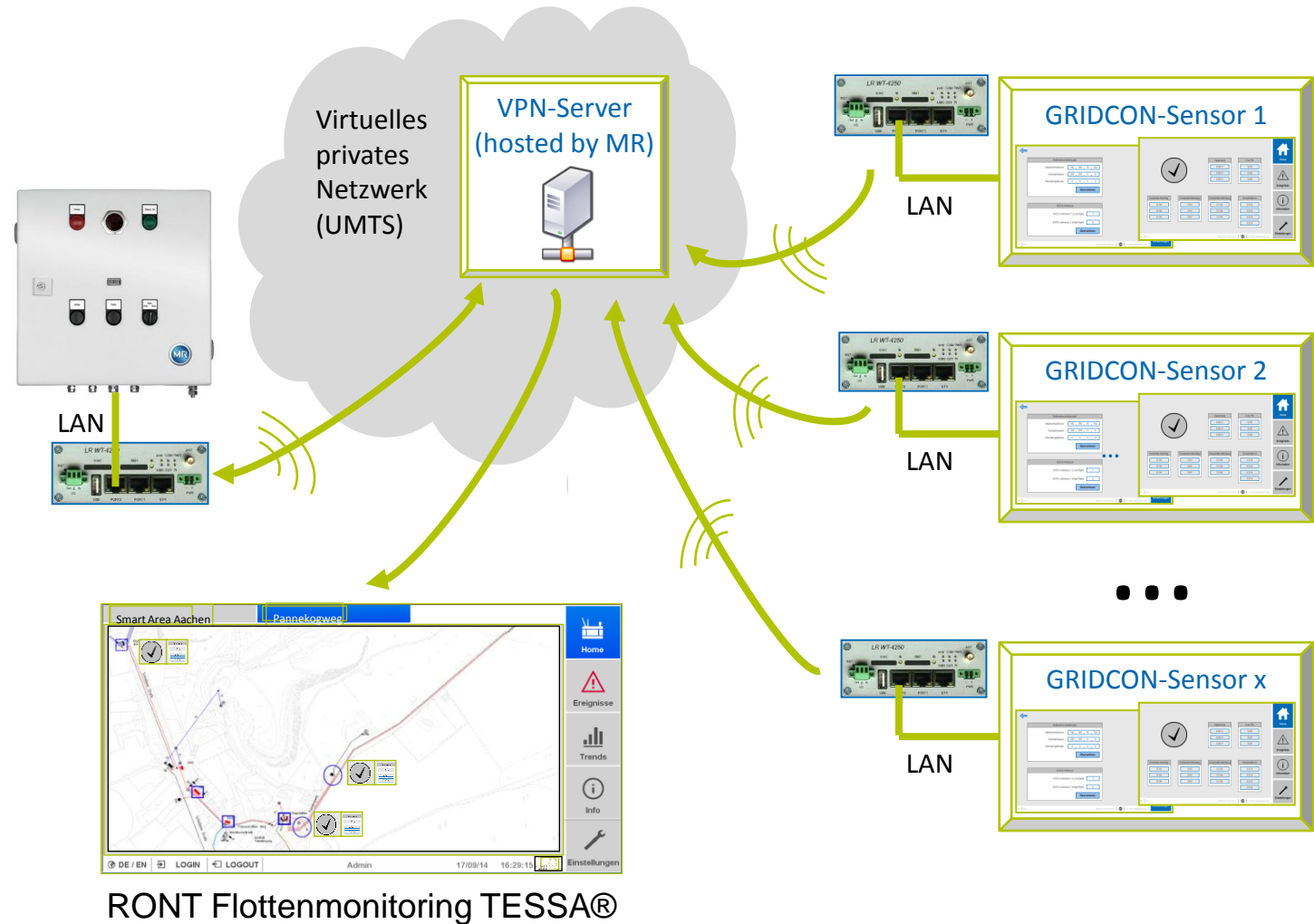
### Variante UMTS

- UMTS-Router je Sensor und RONT
- RONT-Sensor-Kommunikation über VPN-Server (MR)

### Flottenmonitoring

**TESSA®**

unabhängig von  
Verbindungsvariante



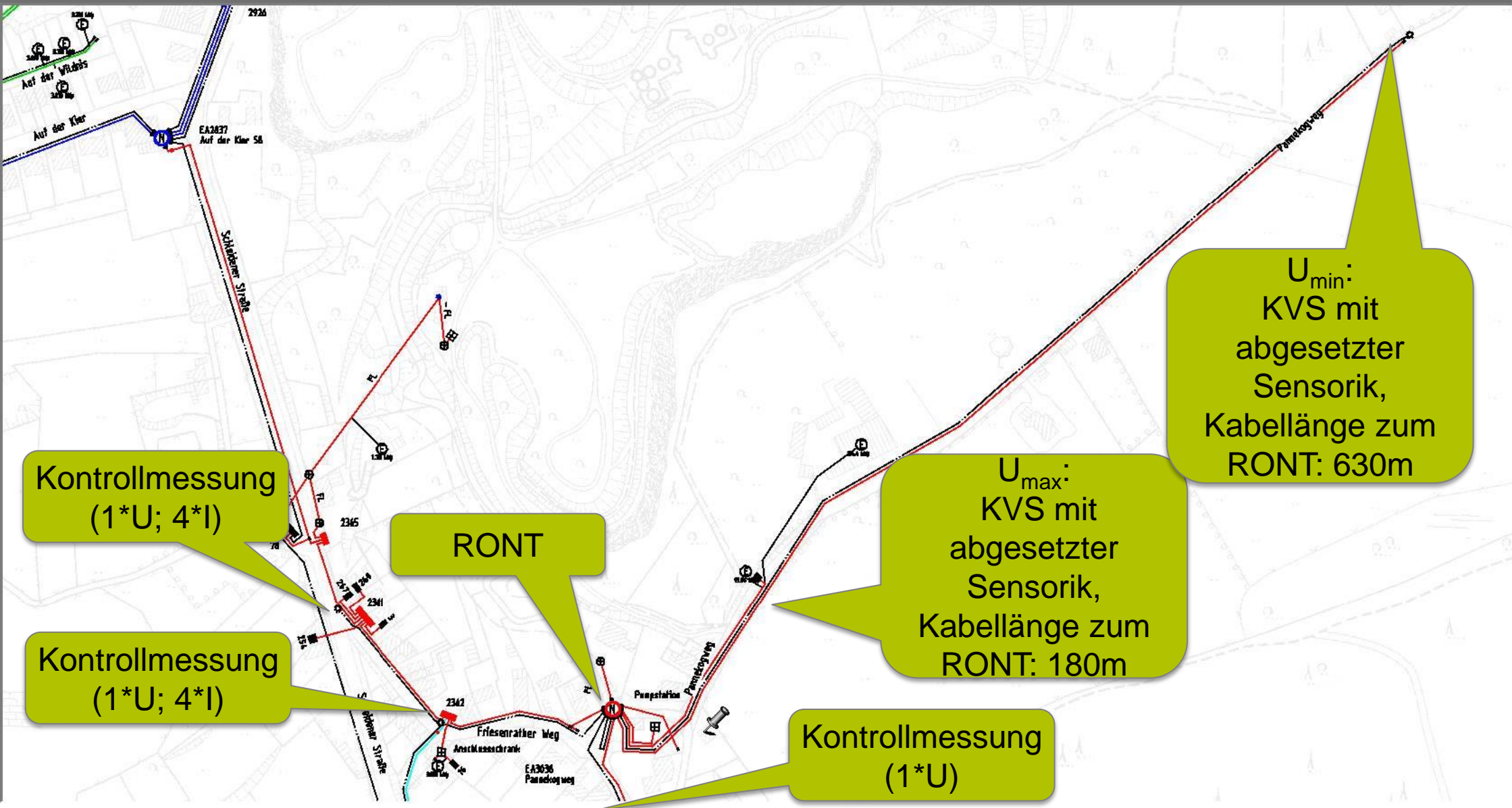


# Feldversuch

## Aufbau – Komponenten – Datenerfassung

# Feldversuch

## Elemente und Übersicht – Beispiel Pannekogweg



# Feldversuch

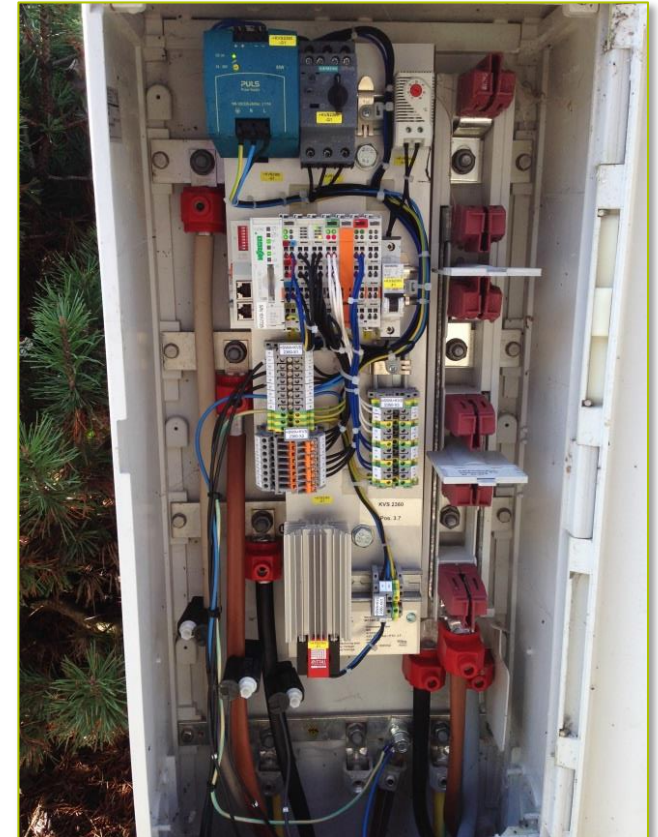
## Fotos der Inbetriebnahme



Strommessung Abgänge Netzstation  
(Bildquelle: MR)



Messtechnik im gesonderten KVS  
angereicht (Bildquelle: MR)



Messtechnik im KVS integriert

# Feldversuch

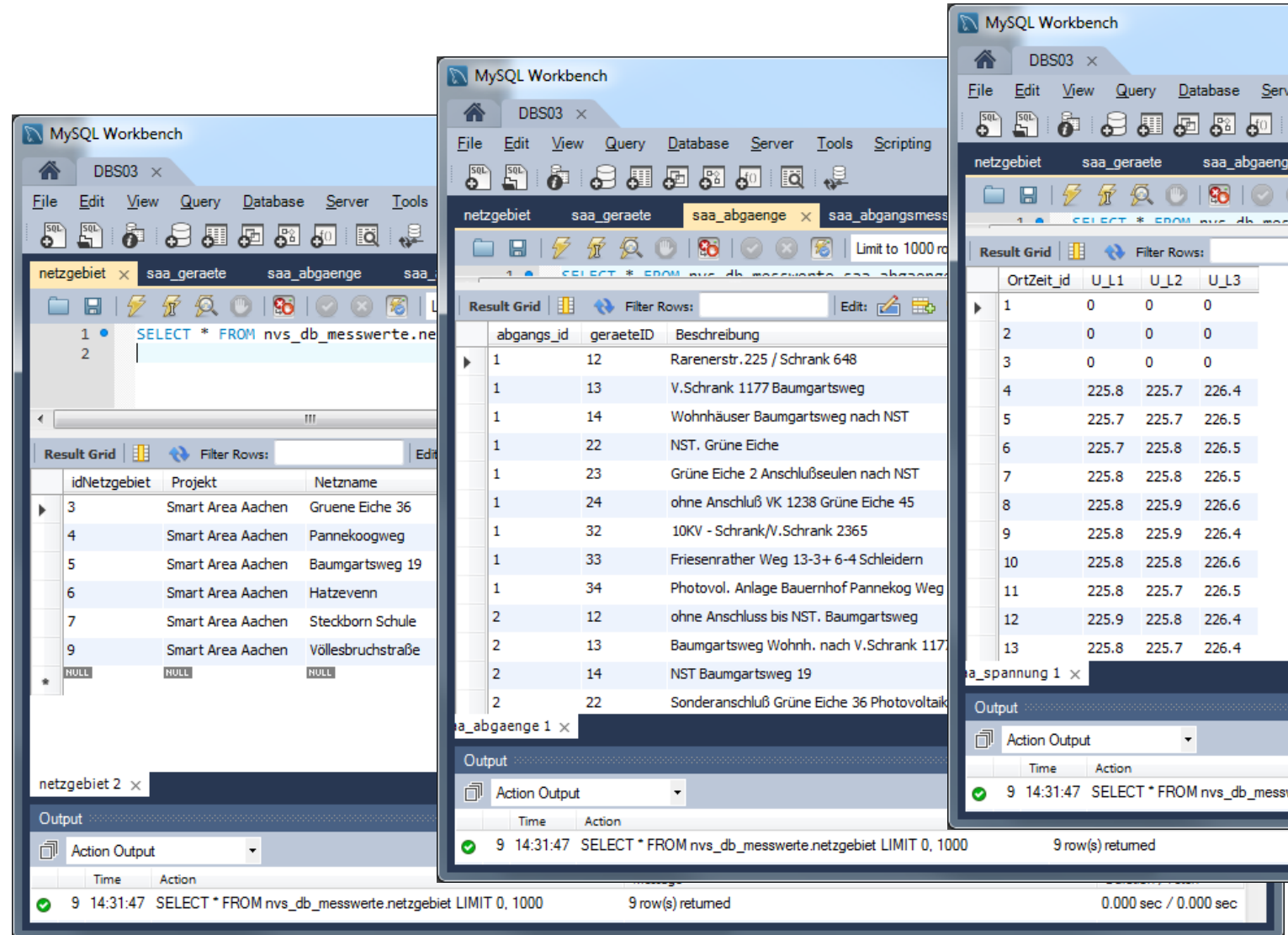
## Messwertspeicherung und -auswertung

### Speicherung im Feld

- Auf SD-Karte (industrial)
- Monatlicher Tausch der Karten
- Begrenzter Aufwand, zuverlässig, hohes Datenvolumen (sekündliche Werte)

### Archivierung der Daten

- In MySQL-Datenbank
- Einheitlich für alle Messgeräte, Netzgebiete, Abgänge
- Schnell, flexibel, standardisiert



The image displays three screenshots of the MySQL Workbench interface, illustrating the storage and retrieval of measurement data. The screenshots show the 'nvs\_db\_messwerte' database with tables for 'netzgebiet', 'saa\_geraete', and 'saa\_abgaenge'.

**Screenshot 1 (Left):** Shows the 'netzgebiet' table with columns 'idNetzgebiet', 'Projekt', and 'Netzname'. The data includes:

| idNetzgebiet | Projekt           | Netzname          |
|--------------|-------------------|-------------------|
| 3            | Smart Area Aachen | Grüne Eiche 36    |
| 4            | Smart Area Aachen | Pannekoogweg      |
| 5            | Smart Area Aachen | Baumgartsweg 19   |
| 6            | Smart Area Aachen | Hatzevonn         |
| 7            | Smart Area Aachen | Steckborn Schule  |
| 9            | Smart Area Aachen | Völlesbruchstraße |
| * NULL       | NULL              | NULL              |

**Screenshot 2 (Middle):** Shows the 'saa\_abgaenge' table with columns 'abgangs\_id', 'geraeteID', and 'Beschreibung'. The data includes:

| abgangs_id | geraeteID | Beschreibung                               |
|------------|-----------|--|
| 1          | 12        | Rarenerstr.225 / Schrank 648               |
| 1          | 13        | V.Schrank 1177 Baumgartsweg                |
| 1          | 14        | Wohnhäuser Baumgartsweg nach NST           |
| 1          | 22        | NST. Grüne Eiche                           |
| 1          | 23        | Grüne Eiche 2 Anschlußseulen nach NST      |
| 1          | 24        | ohne Anschluß VK 1238 Grüne Eiche 45       |
| 1          | 32        | 10KV - Schrank/V.Schrank 2365              |
| 1          | 33        | Friesenrather Weg 13-3+ 6-4 Schleidern     |
| 1          | 34        | Photovol. Anlage Bauernhof Pannekog Weg    |
| 2          | 12        | ohne Anschluss bis NST. Baumgartsweg       |
| 2          | 13        | Baumgartsweg Wohnh. nach V.Schrank 1177    |
| 2          | 14        | NST Baumgartsweg 19                        |
| 2          | 22        | Sonderanschluß Grüne Eiche 36 Photovoltaik |

**Screenshot 3 (Right):** Shows the 'saa\_abgangs\_mess' table with columns 'OrtZeit\_id', 'U\_L1', 'U\_L2', and 'U\_L3'. The data includes:

| OrtZeit_id | U_L1  | U_L2  | U_L3  |
|------------|-------|-------|-------|
| 1          | 0     | 0     | 0     |
| 2          | 0     | 0     | 0     |
| 3          | 0     | 0     | 0     |
| 4          | 225.8 | 225.7 | 226.4 |
| 5          | 225.7 | 225.7 | 226.5 |
| 6          | 225.7 | 225.8 | 226.5 |
| 7          | 225.8 | 225.8 | 226.5 |
| 8          | 225.8 | 225.9 | 226.6 |
| 9          | 225.8 | 225.9 | 226.4 |
| 10         | 225.8 | 225.8 | 226.6 |
| 11         | 225.8 | 225.7 | 226.5 |
| 12         | 225.9 | 225.8 | 226.4 |
| 13         | 225.8 | 225.7 | 226.4 |

The screenshots also show the MySQL Workbench interface with the 'SELECT \* FROM nvs\_db\_messwerte.netzgebiet' query and its results, including the 'Action Output' window showing the execution time and the number of rows returned (9 row(s) returned).

# Feldversuch

## Auswertung Verbindungsdaten

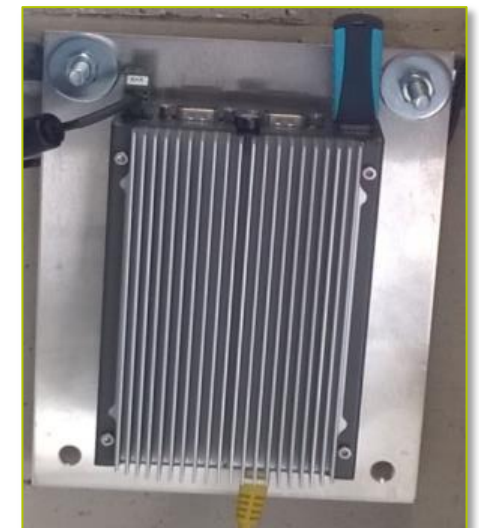
### Auswertung übertragener Datenpakete ermöglicht

- Bewertung der Spannungsverläufe mit RONT unter Berücksichtigung „verfügbarer“ Zustandsinformationen
- Datenvolumina und Bandbreiten
- Zuverlässigkeit der Kommunikationsverbindungen
- Fehleranalyse



### Hutschienen-PC auf Linux-Basis

- Für erhöhte Umgebungsbedingungen
- USB-Sticks zur Datenabholung >3 Monate möglich
- Anbindung über 2. Netzwerkport des RONT-Controller
- Kein Eingriff in IKT-Strecke/Regelung nötig



### Wireshark speichert alle 104-basierten Daten

- Alle 3 Stunden neue Datei
- Tägliche Kopie neuer Daten auf USB-Stick



# Ergebnisse

Laborversuche – RONT im Feldversuch –  
Kommunikationstechnik



# Laborversuche

## Ziele und Durchführung

### Ziele

- Validierung der Funktionsfähigkeit des weiterentwickelten RONT unter Normalbedingungen und im Fehlerfall
- Sicherstellen eines zuverlässigen und sicheren Feldversuchs

### Durchführung

- Betrieb des RONT mit abgesetzter Sensorik im Labor
- Variation von Spannungsverläufen und Netzstrukturen
- Simulation mglw. kritischer Ereignisse: Spannungseinbrüche, Kommunikationsverlust etc.



# Ergebnis

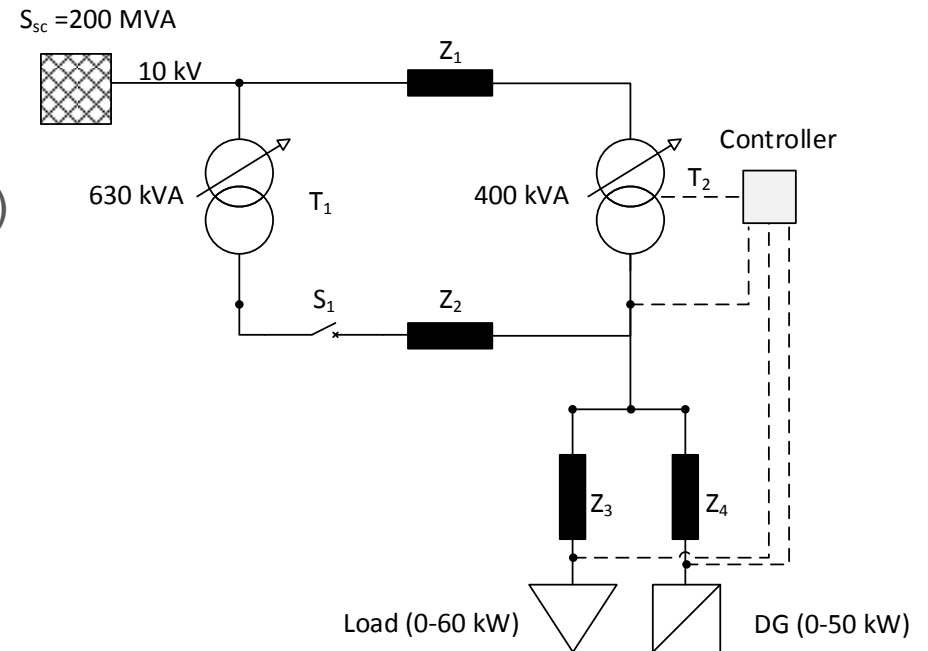
## Laborversuch Parallelschaltung von RONT (Aufbau)

### Mögliche Wechselwirkung von RONT

- Stromabhängige Sollwertanpassung (SASA)
- Schaltmaßnahme Netzbetrieb (Schließen von  $S_1$ )
- Kreisströme beeinflussen SASA-Regelung möglicherweise

### Untersuchungsszenario

- RONT 630 kVA Stufe 5, Handsteuerung
- Statische Last bzw. Einspeisung
- Schaltdauer  $S_1$  120 s



| Parameter SASA         | $I_{\min}$ | $I_0$ | $I_{\max}$ |
|------------------------|------------|-------|------------|
| $U_{\text{soll}}$ in V | 210        | 230   | 250        |
| $I_{\Sigma}$ in A      | -450       | 0     | 450        |

| $Z_2$ in $\Omega$ | R / X | l in m |
|-------------------|-------|--------|
| 0,1266            | 2,62  | 574    |

# Ergebnis

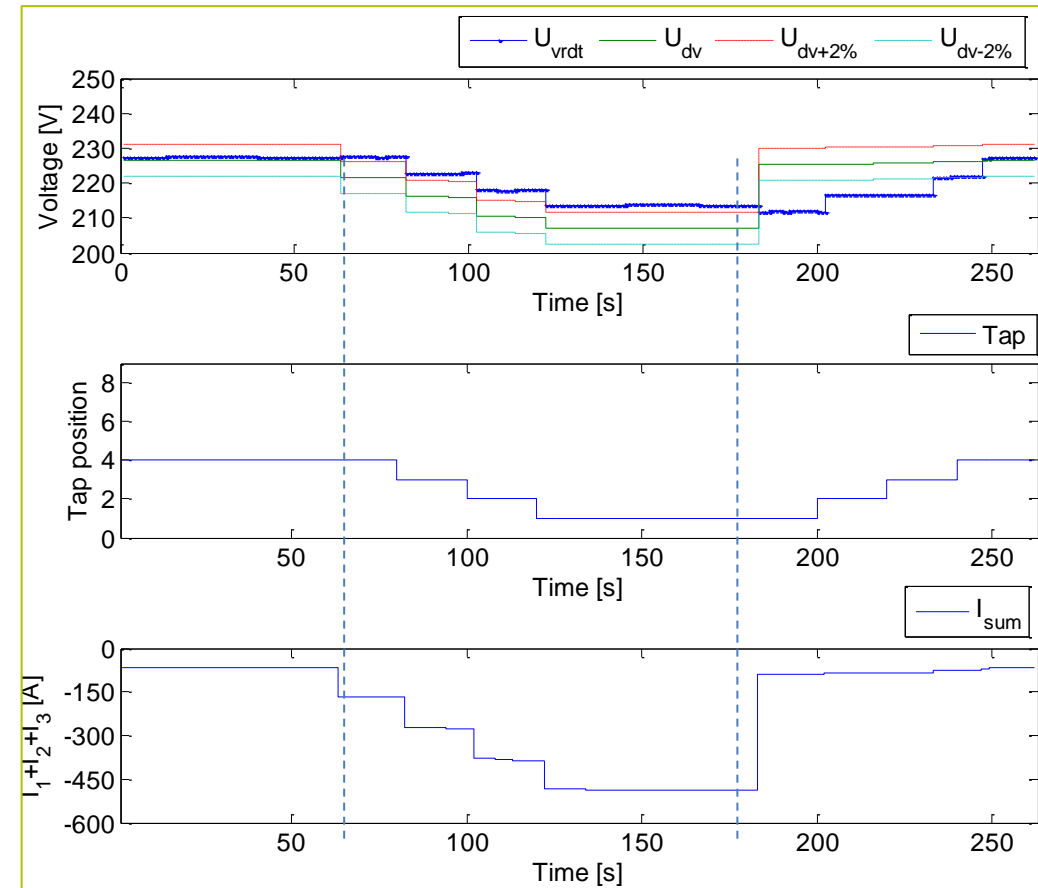
## Laborversuch Parallelschaltung von RONT (Ergebnisse)

### Vorgehen

- Startstufe 4 (Sollwert 223,4 V)
- Schalter bei  $t=63$  s geschlossen
- Zusätzlicher Kreisstrom verringert Sollwert und löst drei Stufungen aus
- Zusätzlicher Summenstrom von 423 A
- Schalter  $S_1$  öffnet bei  $t=183$  s

### Fazit

- In Abhängigkeit der Parametrierung aufschaukeln der Regelung möglich
- Behebung der Ursache behebt das Problem



**Für Parallelschaltung: Handsteuerung aktivieren und Sammelschienenspannung kontrollieren**

# Ergebnis

## Einfluss von plötzlichem Kommunikationsausfall

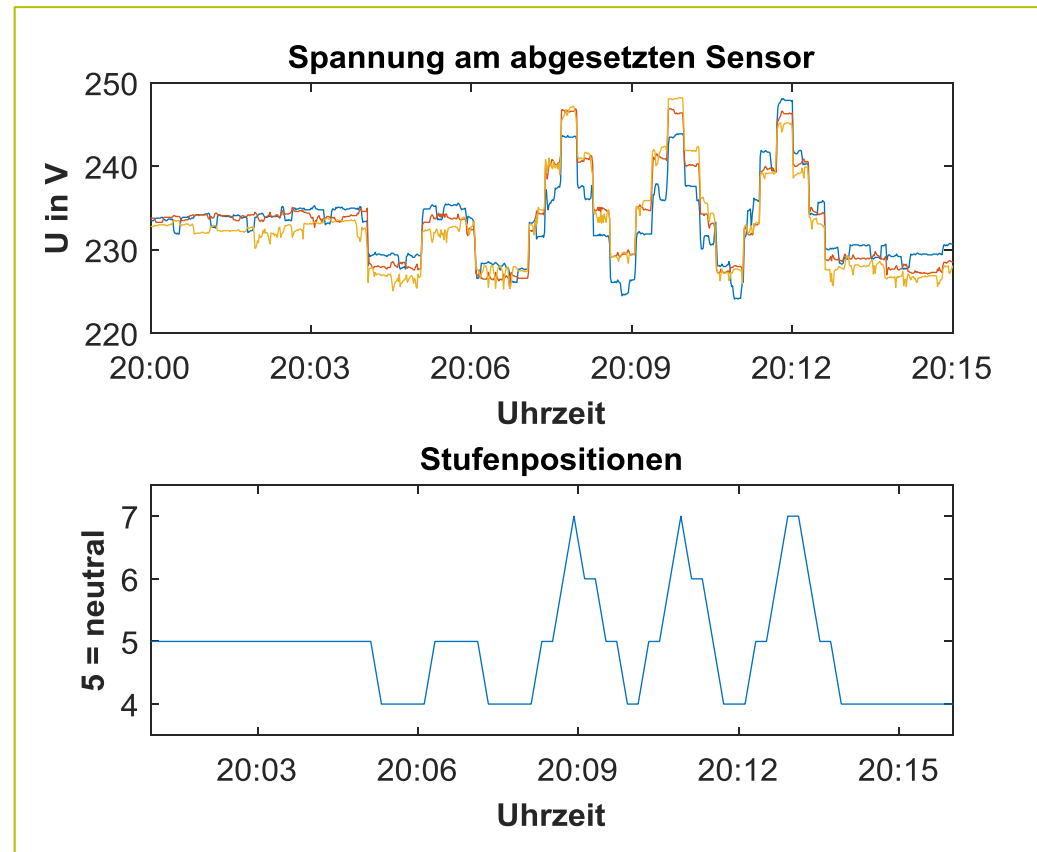
### Regelung mit abgesetztem Sensor

- Regelmäßige Übertragung der Messwerte oder Übertragung bei Spannungsänderung
- Regelung auf aktuellsten Spannungswert
- Wechsel zu Sammelschienenregelung erst bei langer Verbindungsunterbrechung

### Verbindungsabbruch nach Verlassen des Toleranzbereichs

- Aktuellster Wert zeigt Verletzung des TB
- Stufenänderung durch den RONT
- Spannung wieder im Toleranzbereich, aber keine Übertragung des Messwerts
- Mehrfache Stufenänderungen folgen
- Gleiches Verhalten für Multisensorregelung

### Berücksichtigung im Feldversuch durch Einschränkung der Stufen / Untersuchung der Relevanz



# Ergebnis

## RONT im Feldversuch

### Feldversuch in mehreren Phasen

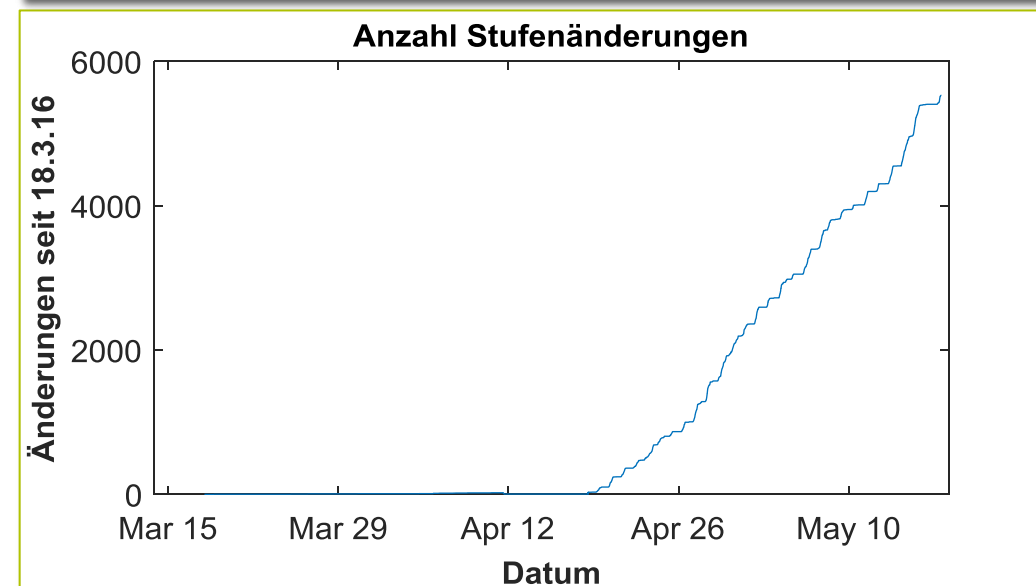
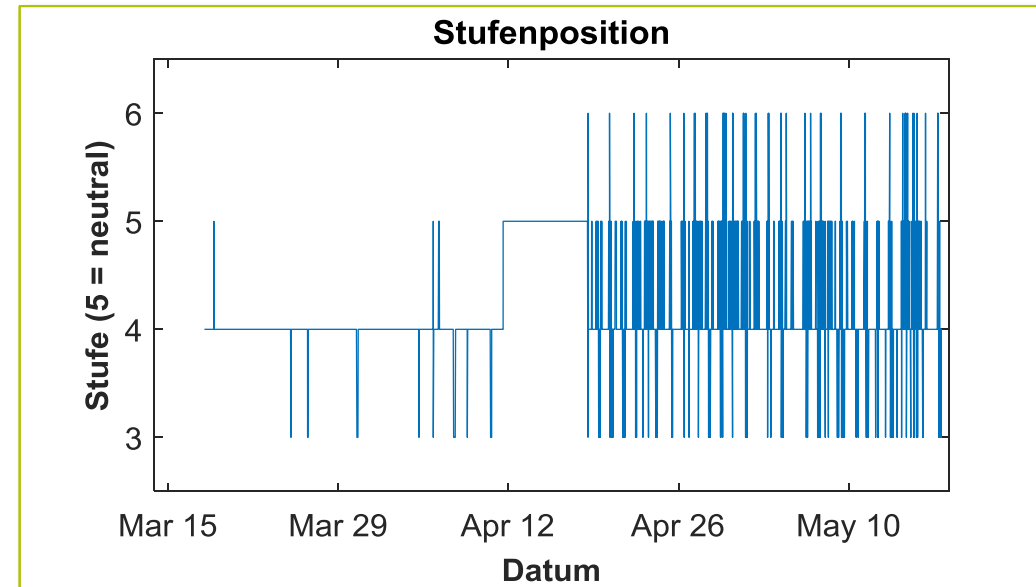
- Netzanalyse
- Sammelschienenregelung
- Erweiterte Regelungsverfahren

### Einfluss auf Stufenpositionen

- RONT mit Sammelschienenregelung nutzt 2-3 verschiedene Stufenpositionen (meist 4 und 5)
- RONT mit abgesetzter Sensorik nutzt deutlich mehr Stufen (meist 3 – 7)

### Einfluss auf Stufenänderungen

- Anzahl Stufenänderungen durch abgesetzte Sensorik deutlich erhöht (höhere Volatilität der Spannung)
- Hier Optimierung der Parameter notwendig



# Ergebnis

## Kritische Strom- und Spannungsverläufe

### Netzveränderung mit RONT

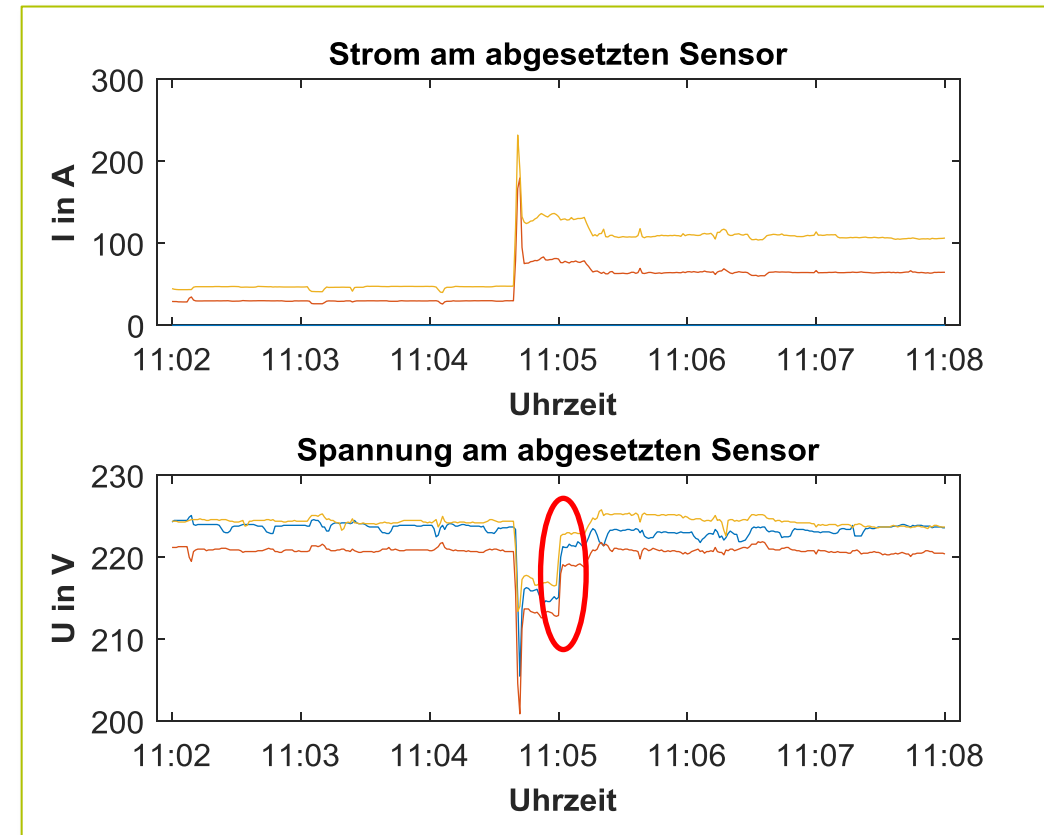
- Zusammenlegung von zwei Netzen zu einem
- Höhere Ausnutzung der Netzkapazität führt zu höheren Spannungsfällen
- Unterspannungen im Netz mit RONT, im Netz ohne RONT nicht

### Unerwartete Einzellasten

- Anlaufströme > 300 A, Dauerströme bis 200 A
- Schnelle Spannungsänderungen bis 20 V

### RONT beherrscht statische Spannungshaltung

- Langsame Spannungsänderungen werden zuverlässig „ausgeregelt“
- Schnelle Spannungsänderungen prinzipbedingt nicht beherrschbar
- Bessere Kenntnis der Lasten für zuverlässige Planung erforderlich



# Ergebnis

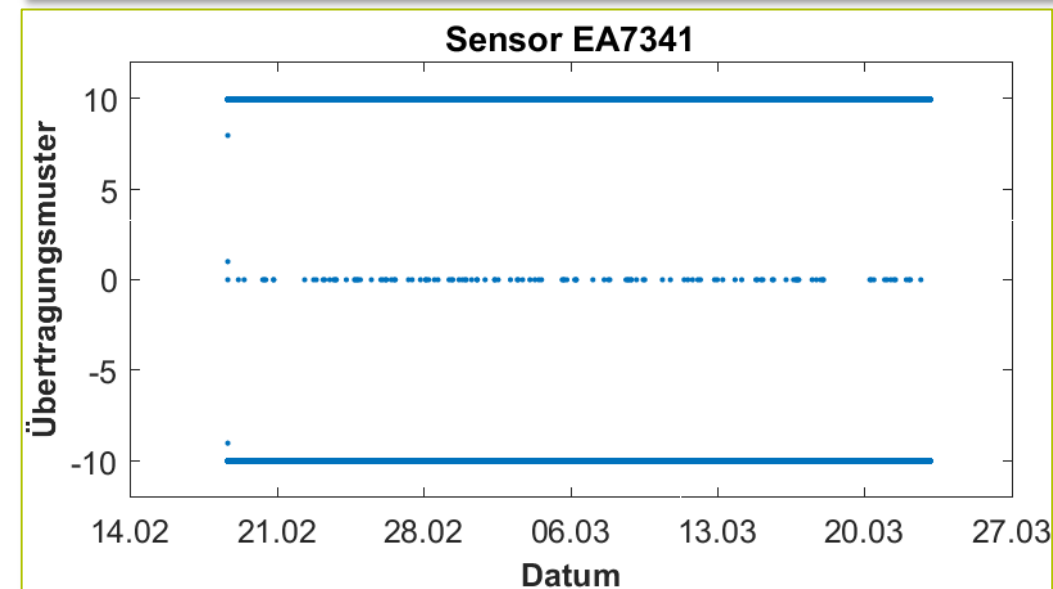
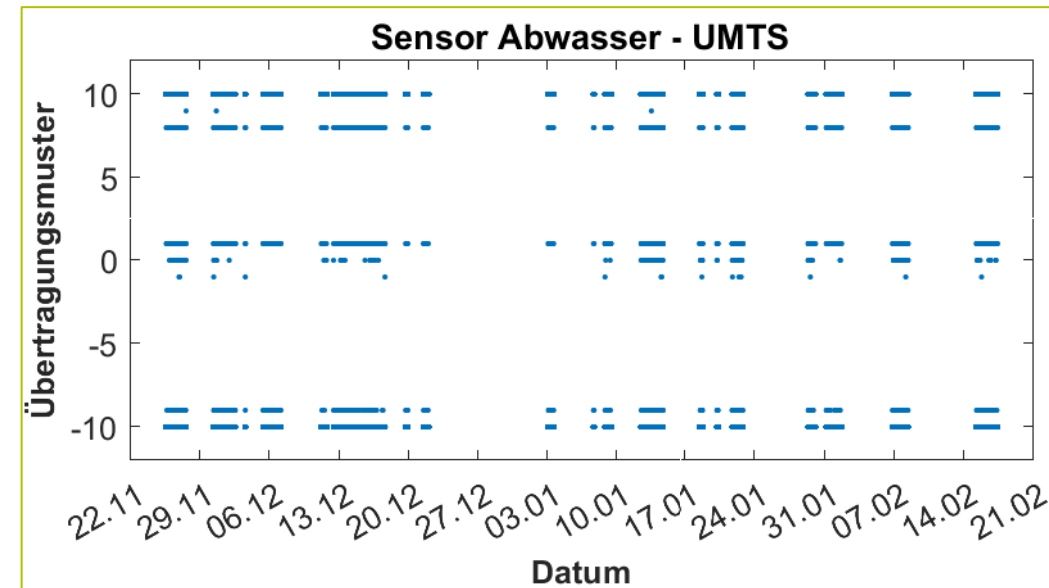
## Verfügbarkeit Kommunikationsverbindungen

### UMTS: Lückenhafte Übertragung

- Übertragungspausen bis zu 12 Tagen
- 349 Timeouts für Sensor „PV Anlage“, 476 Timeouts für Sensor „Abwasser“
- Häufiger Wechsel in Sammelschienenregelung
- Ungeeignet für ASS-Regelung (alle Netze mit UMTS)

### PLC: Regelmäßige Übertragung

- Keine relevanten Lücken
- 1 Timeout bei EA 7341
- Gut geeignet für ASS-Regelung in 3 Netzen
- ABER: PLC in einem Netz gar nicht verfügbar!



## Erfolgreiche Labor- und Felderprobung des RONT

- RONT mit erweiterten Regelungsalgorithmen **in sieben Netzen in Betrieb**
- Monitoring von Spannungen, Strömen und Kommunikationsverbindungen zeigt **erwartetes Betriebsverhalten** für alle Regelungsalgorithmen
- Monitoring zeigt Fehler bei Inbetriebnahme, Parametrierung etc. auf und ist für die Inbetriebnahme neuer Technologien **zu empfehlen**
- Ergebnisse aus Labor und Feld sind **umfassender Leitfaden** für den Einsatz von RONT

## Kommunikationsverbindung als Schwachstelle

- Individuelle Suche nach zuverlässiger Lösung **für jeden Standort** notwendig
- Verbindungsabbrüche schränken Potenziale abgesetzter Sensorik (gegenwärtig) ein

## Qualifizierungs- und Forschungsbedarf

- **Vielfältiger** IKT-Einsatz bedingt Qualifizierungsbedarf (Betriebs-/Instandhaltungspersonal)
- Methoden zur Netzplanung mit RONT müssen weiterentwickelt / **vereinfacht** werden
- **Kenntnis des Kundenverhaltens** ist vor dem Hintergrund steigender Ausnutzung der Netzkapazität zu verbessern



