

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

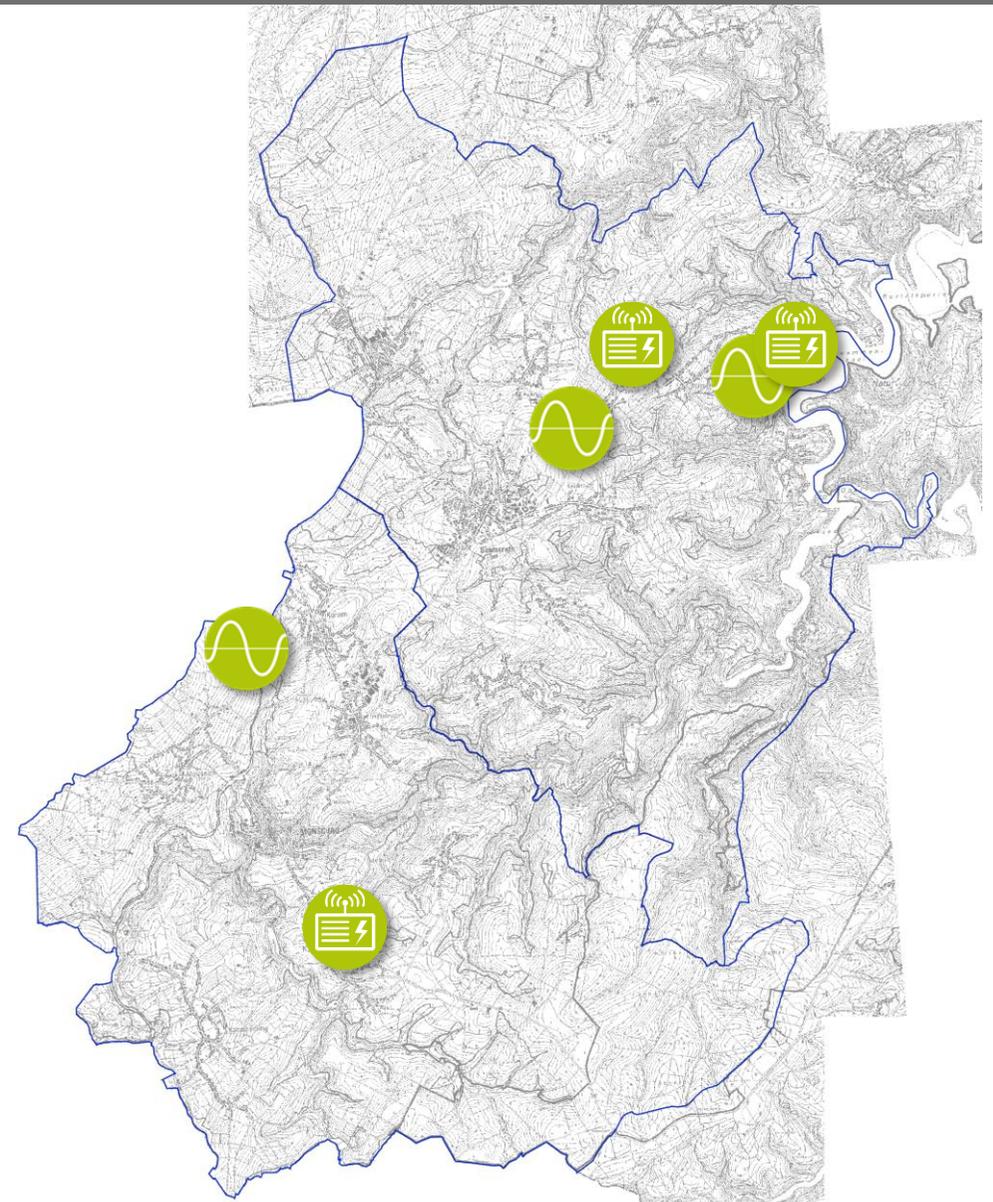
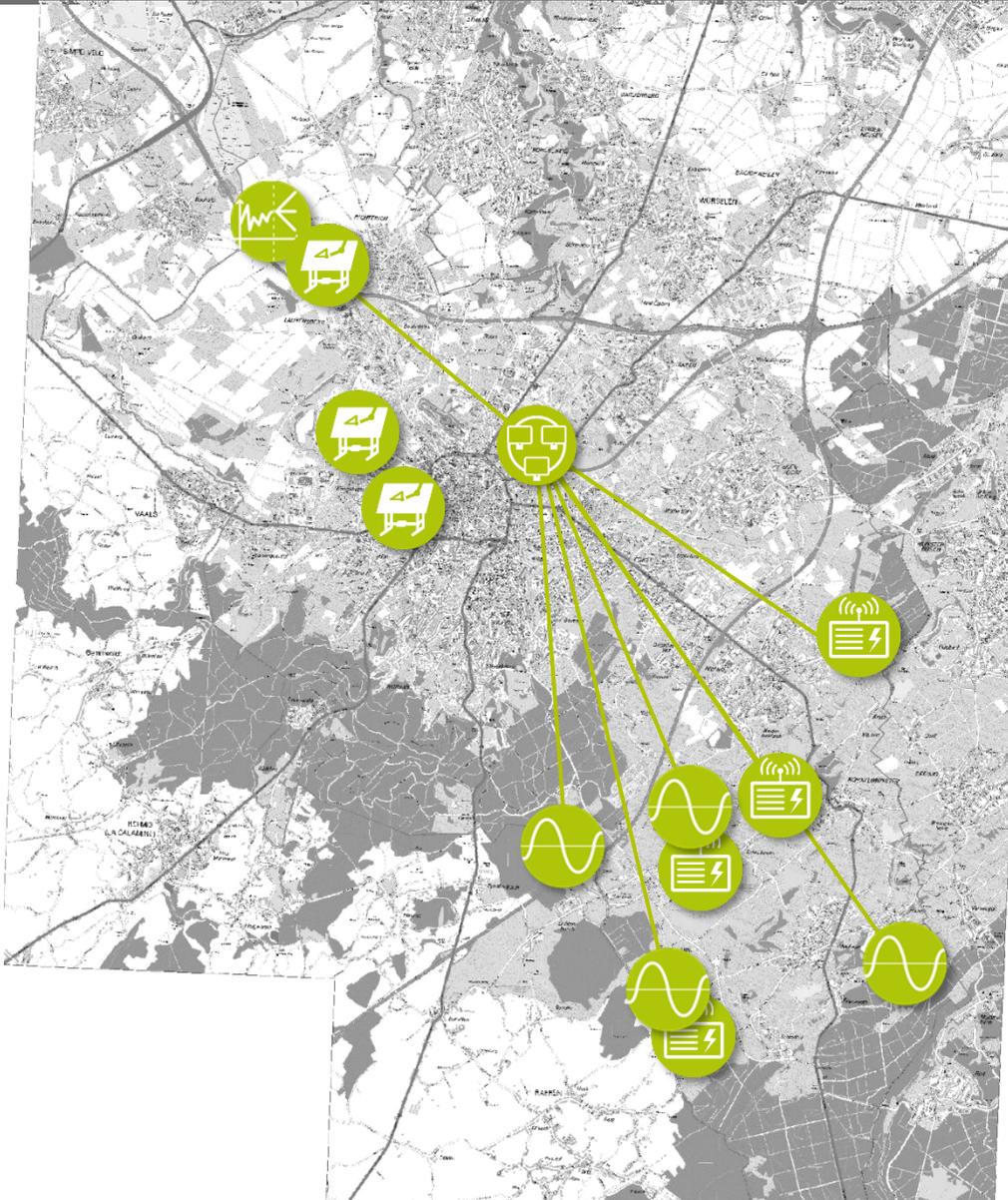
- Erweiterte Regelungsverfahren für RONT entwickeln, insb. Nutzung abgesetzter Sensorik
- Erprobung neuer Regelungsverfahren im Labor und im Feld
- Leitfaden für Installation, Betrieb und Netzplanung mit RONT



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)

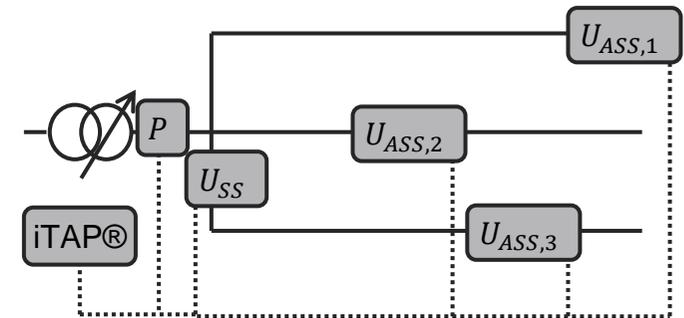
- $U_{min} \leq U_{SS} - dU(P) \leq U_{max}$

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



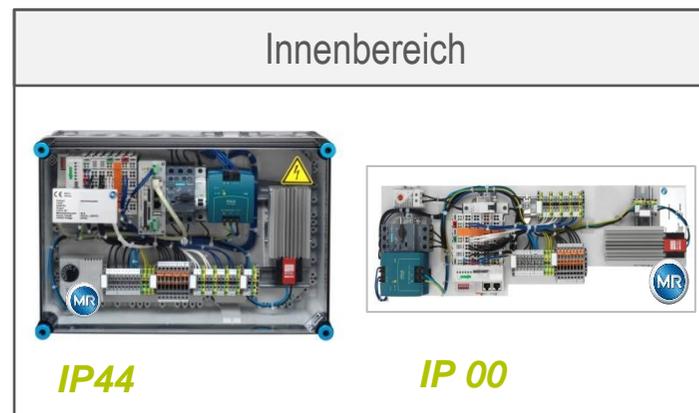
VP Spannungs-
qualität

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

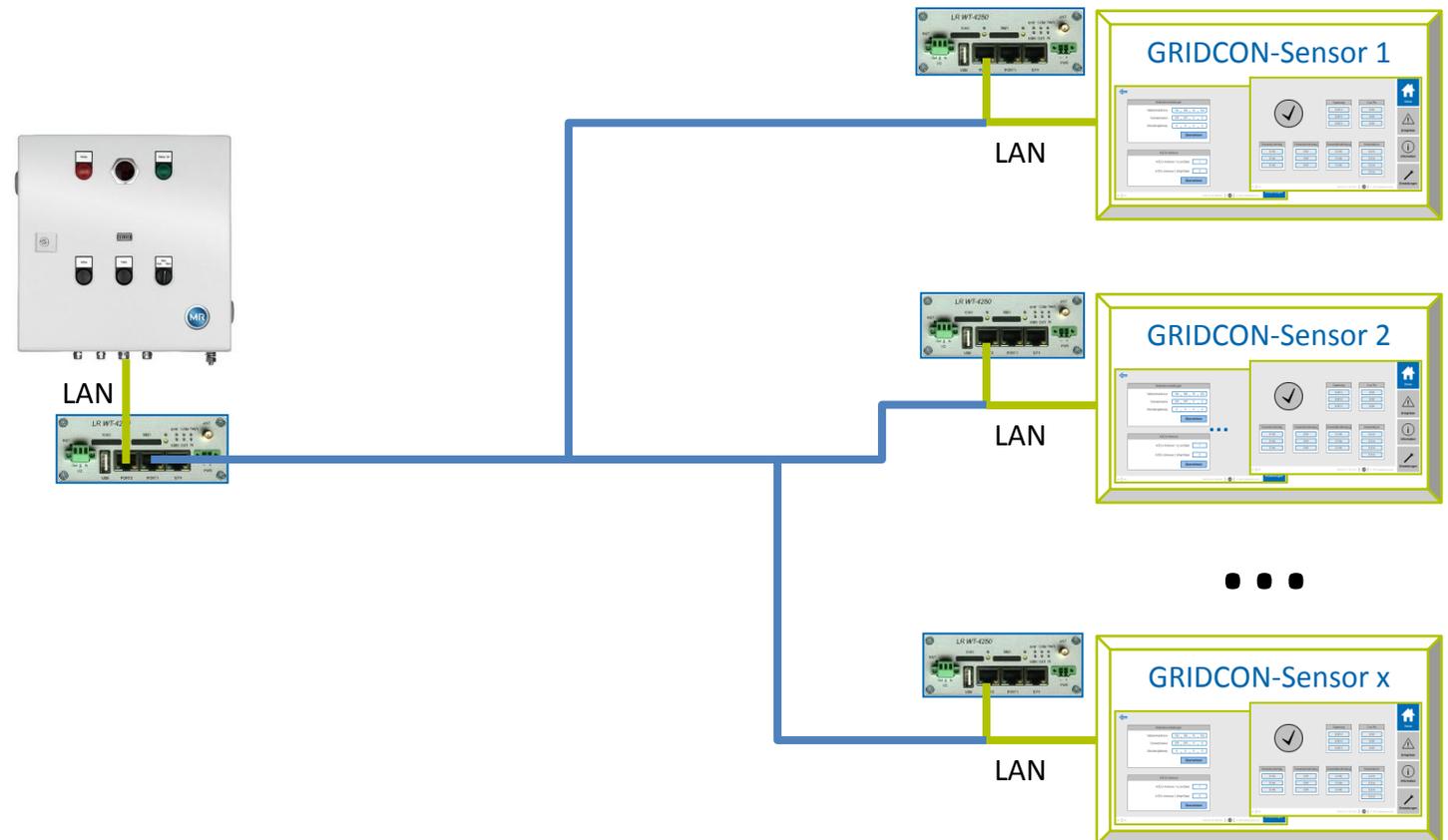


Weiterentwicklung RONT

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

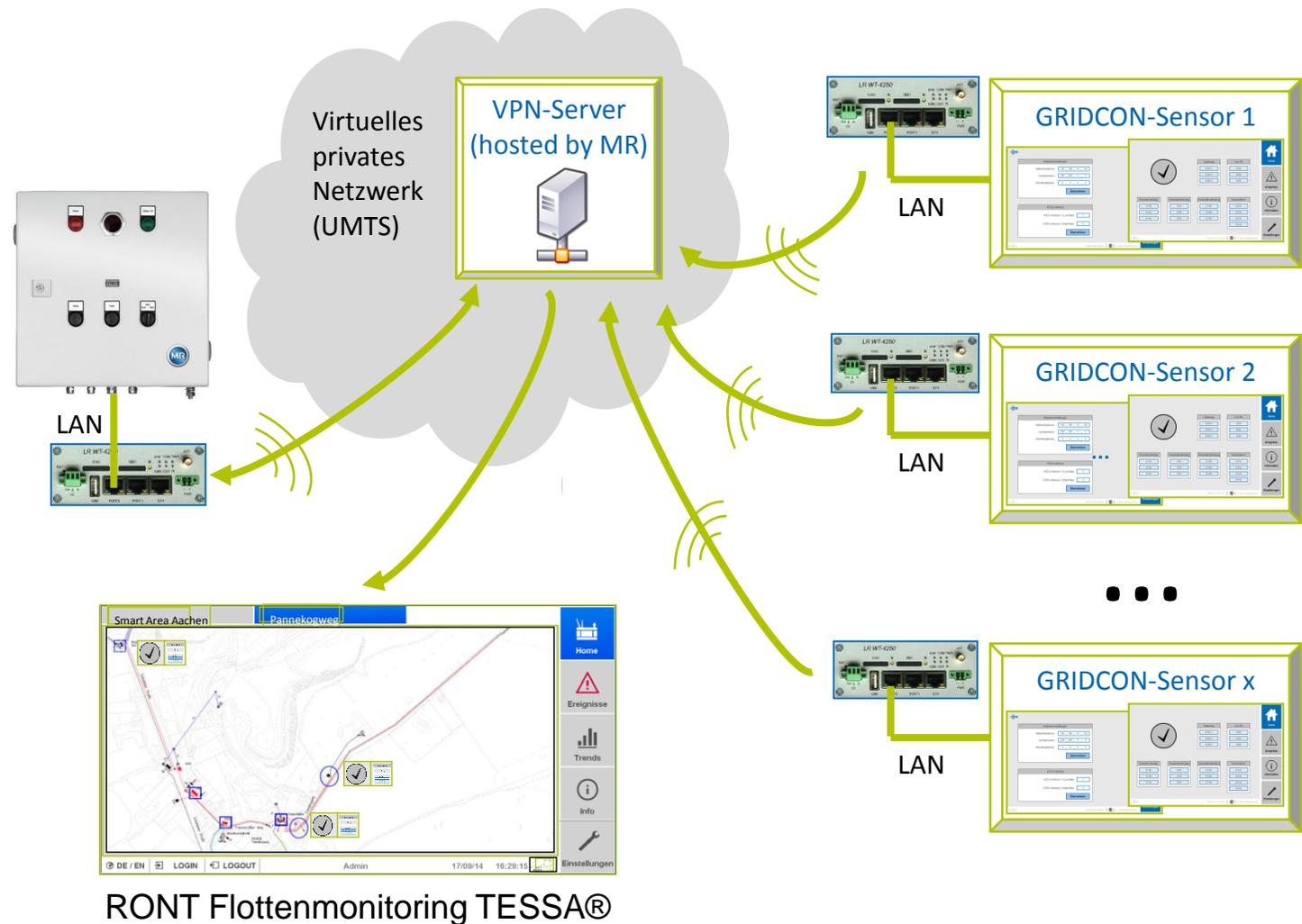
Variante UMTS

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

Flottenmonitoring

TESSA®

unabhängig von
Verbindungsvariante



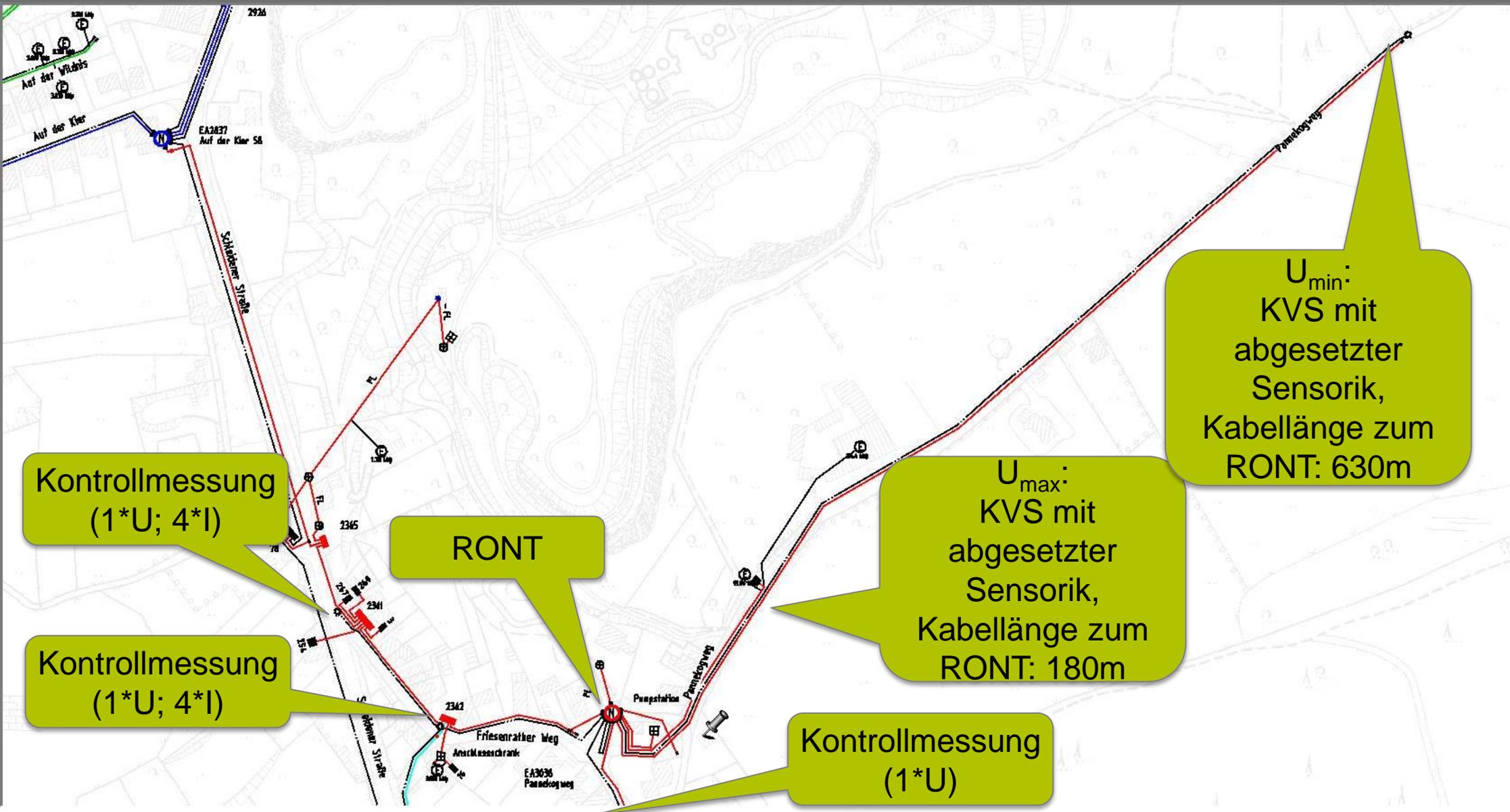


Feldversuch

Aufbau – Komponenten – Datenerfassung

Feldversuch

Elemente und Übersicht – Beispiel Pannekogweg



Feldversuch

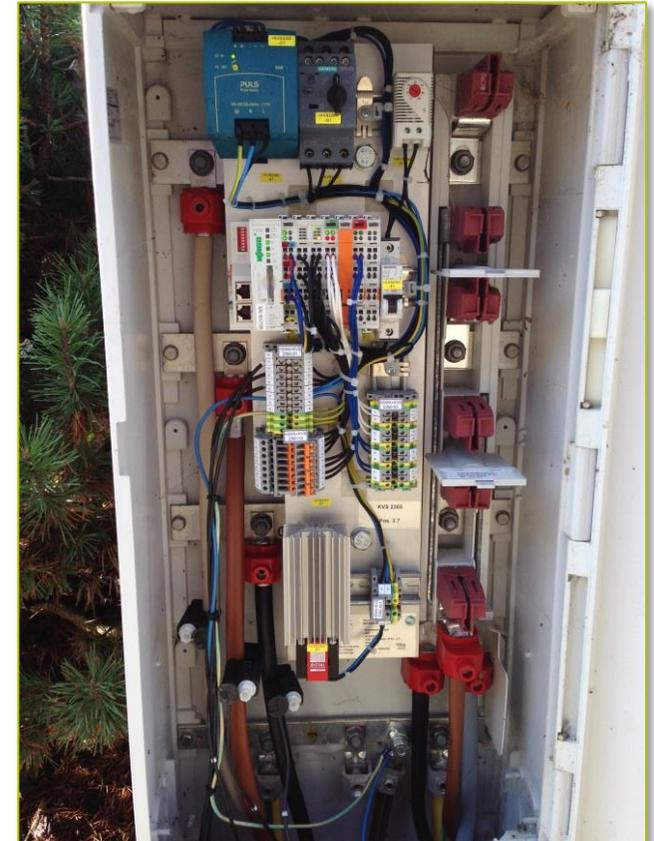
Fotos der Inbetriebnahme



Strommessung Abgänge Netzstation
(Bildquelle: MR)



Messtechnik im gesonderten KVS
angereicht (Bildquelle: MR)



Messtechnik im KVS integriert

Feldversuch

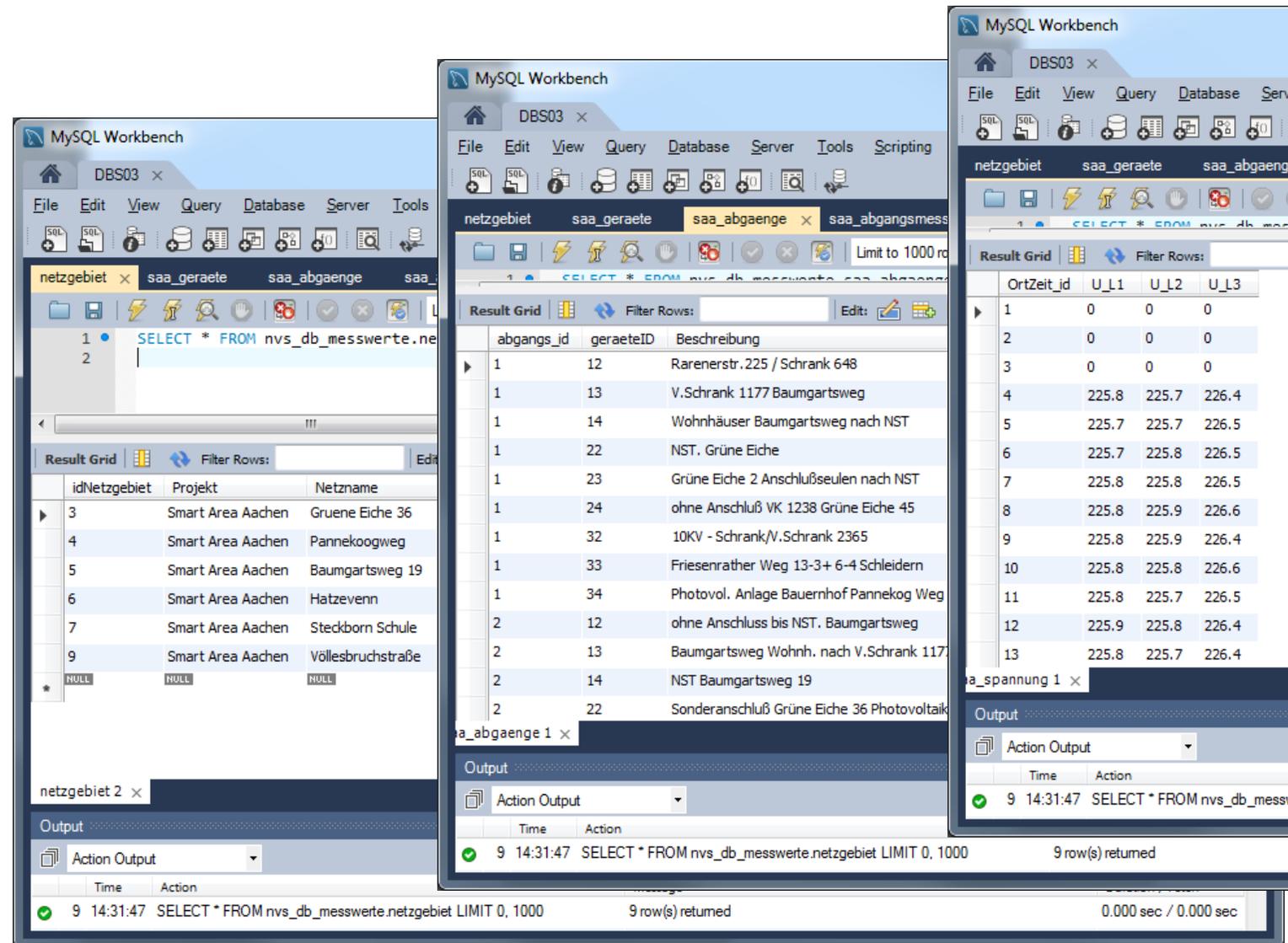
Messwertspeicherung und -auswertung

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_abgangsmess' 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 executed, returning 9 rows in 0.000 seconds.

Feldversuch

Auswertung Verbindungsdaten

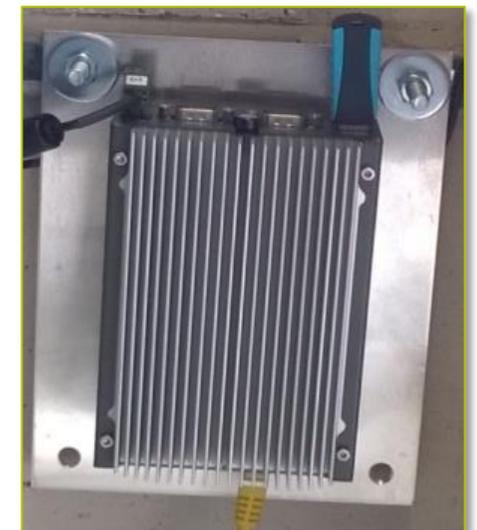
Auswertung übertragener Datenpakete ermöglicht

- 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

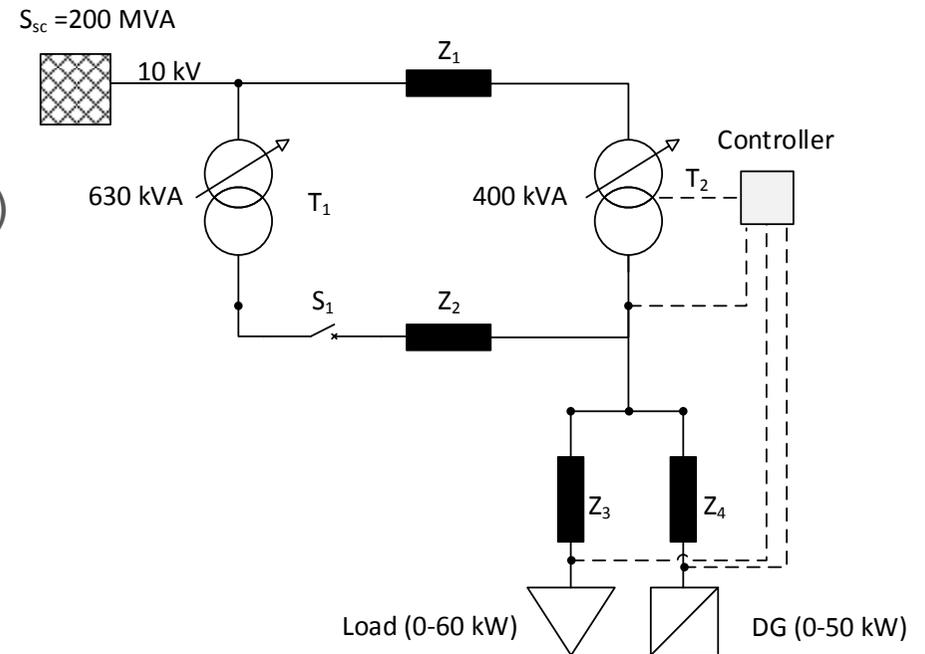
Laborversuch Parallelschaltung von RONT (Aufbau)

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_{soll} in V	210	230	250
I_{Σ} in A	-450	0	450

Z_2 in Ω	R / X	l in m
0,1266	2,62	574

Ergebnis

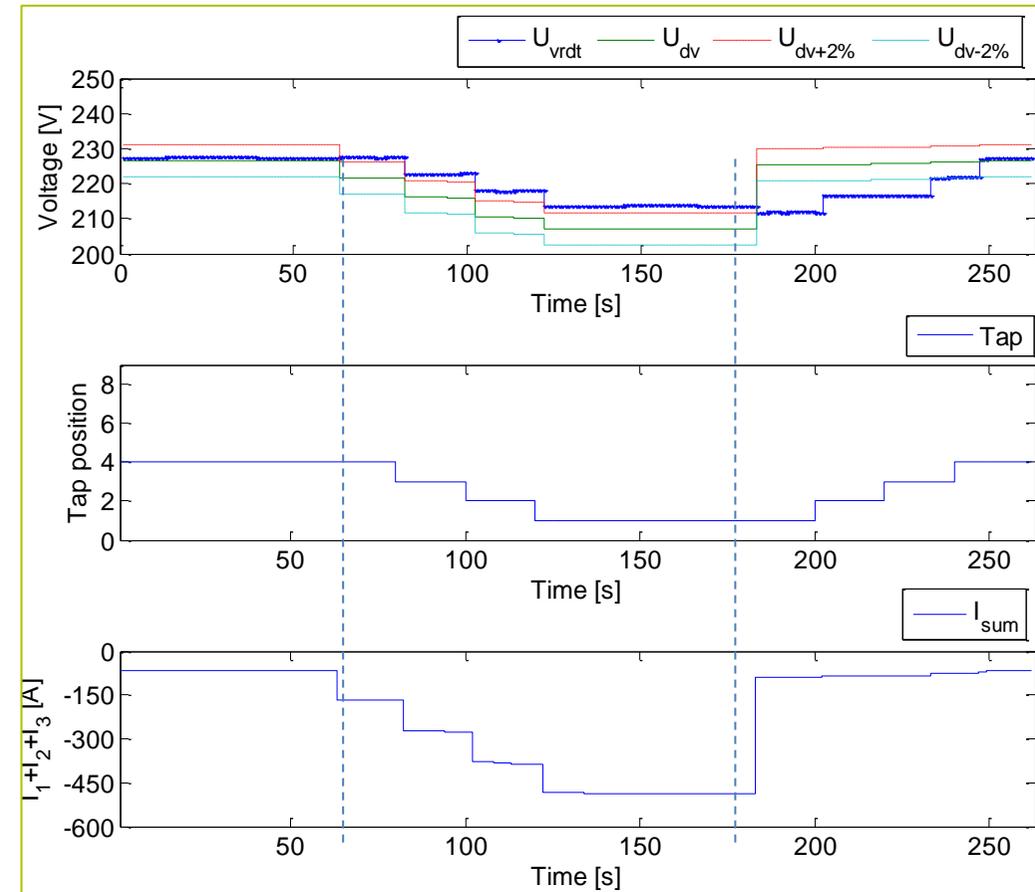
Laborversuch Parallelschaltung von RONT (Ergebnisse)

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

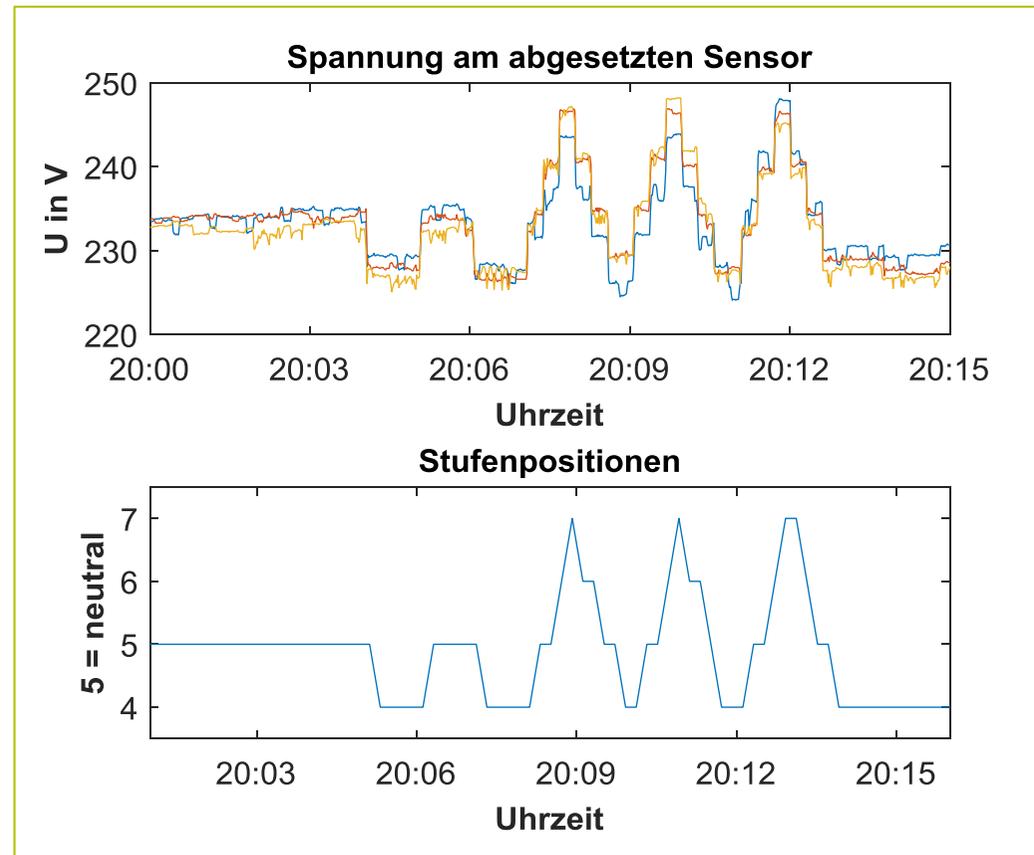
Regelung mit abgesetztem Sensor

- 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

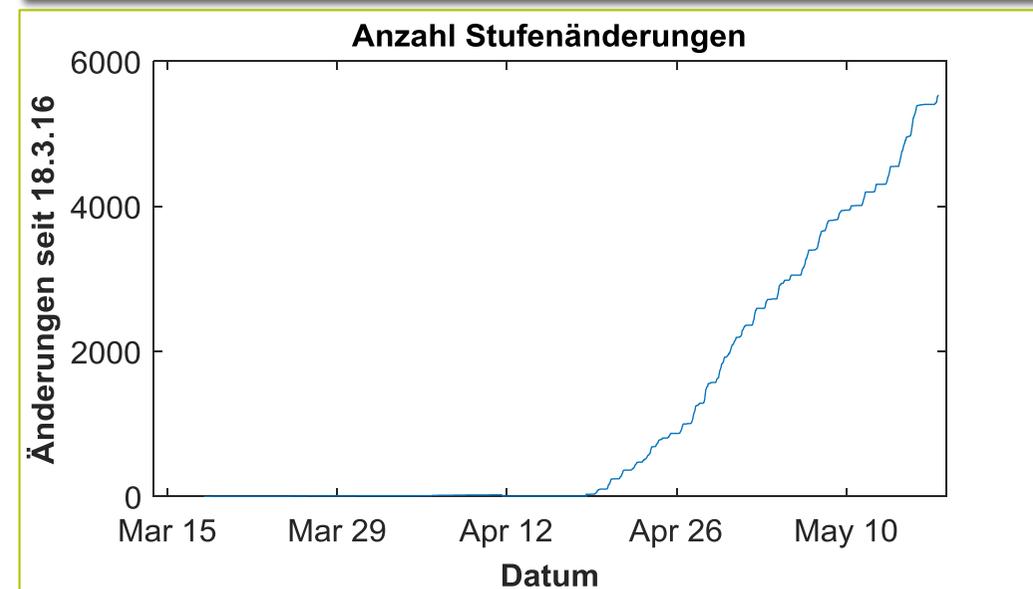
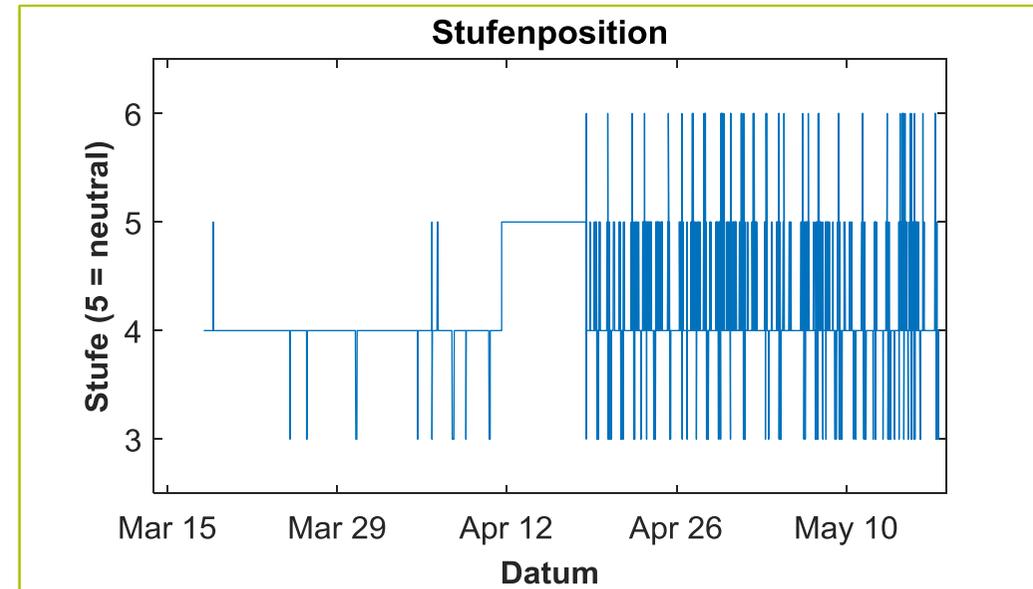
- Netzanalyse
- Sammelschienenregelung
- Erweiterte Regelungsverfahren

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

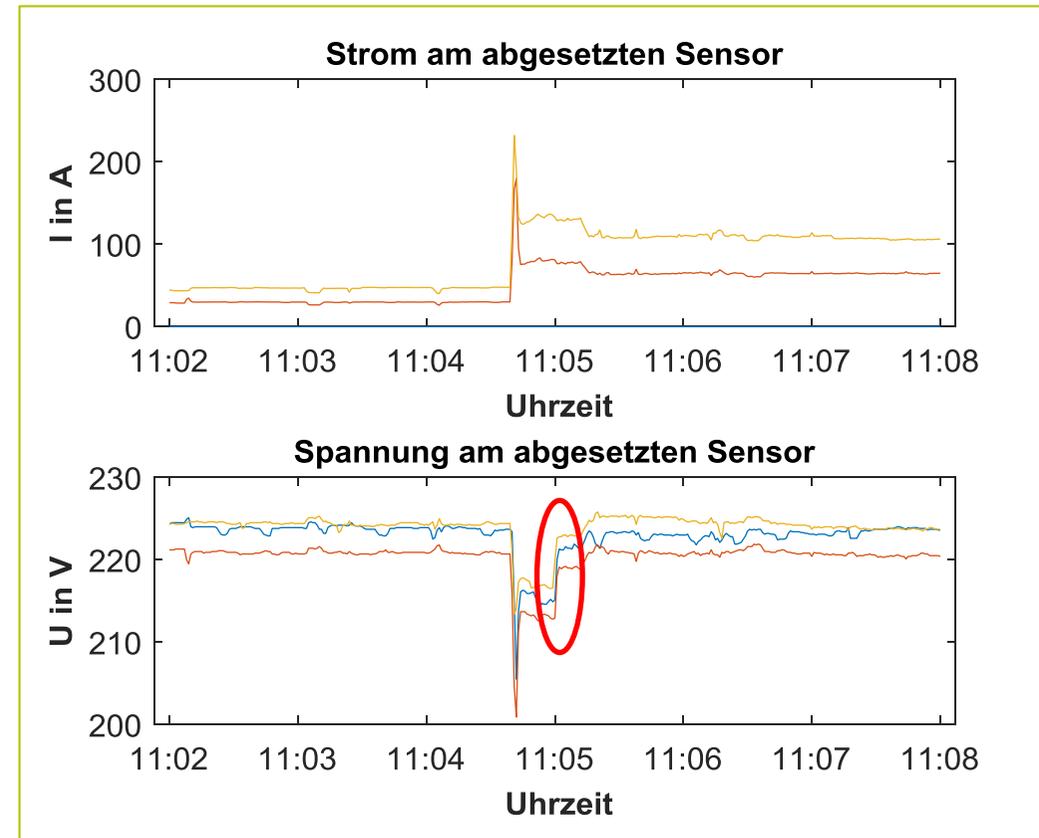
- Zusammenlegung von zwei Netzen zu einem
- Höhere Ausnutzung der Netzkapazität führt zu höheren Spannungsfällen
- Unterspannungen im Netz mit RONT, im Netz ohne RONT nicht

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

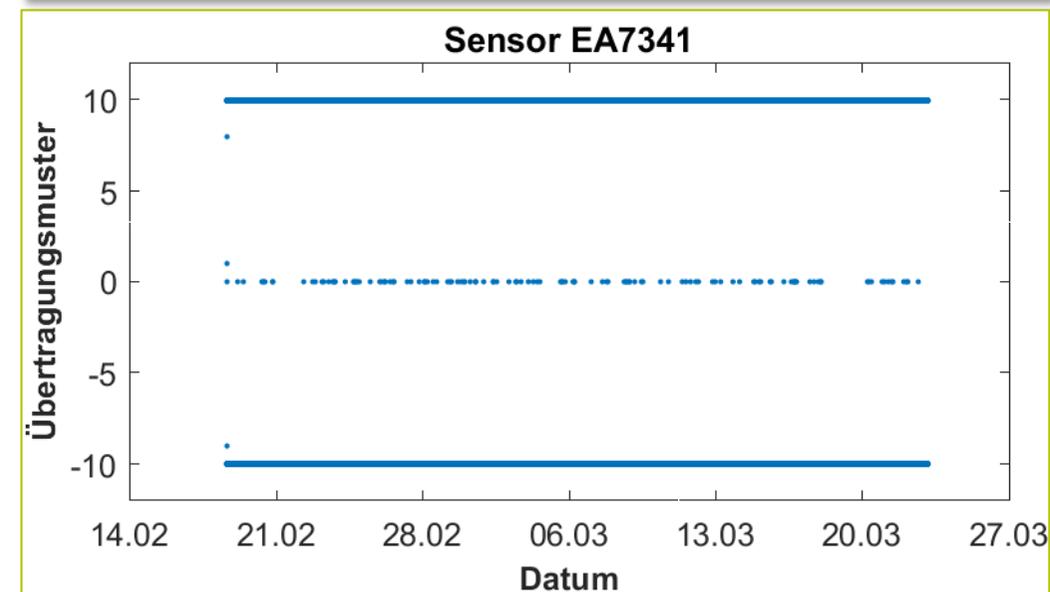
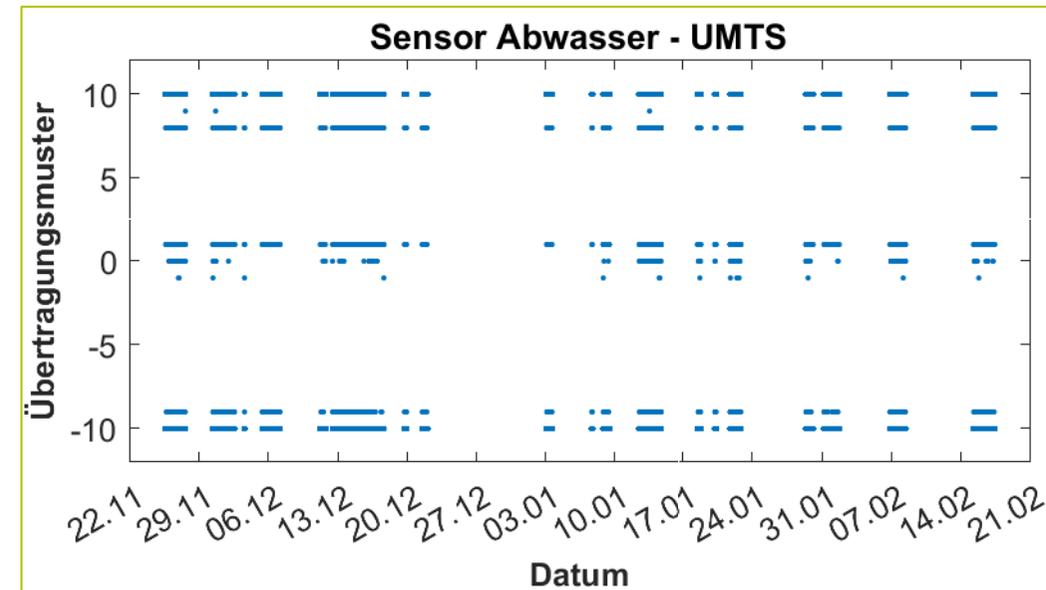
Verfügbarkeit Kommunikationsverbindungen

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

