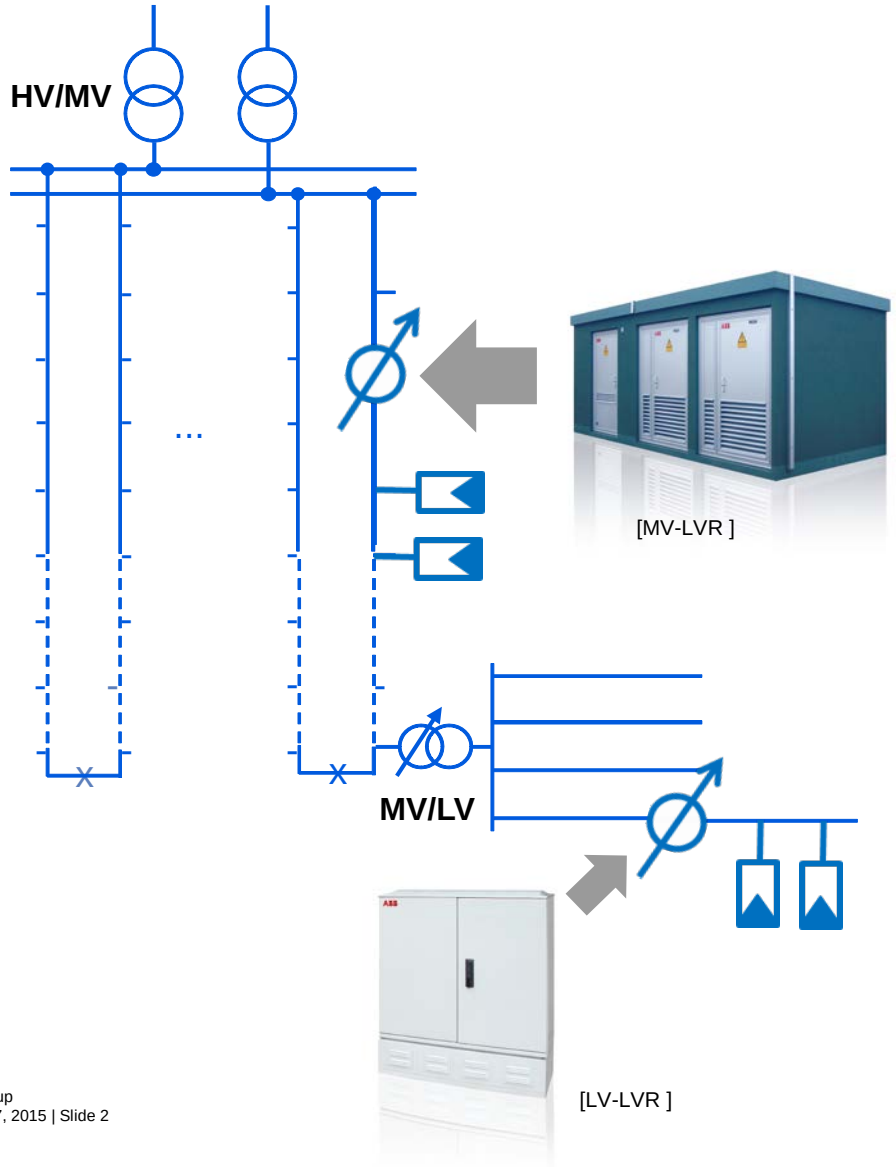
Frank Cornelius, ABB AG, Brilon 26.02.2015

Spannungsregelung im Smart Grid

MS-/ NS-Längsspannungsregler

Power and productivity
for a better world™

Spannungsregelung
ABB Lösungen



Erweitertes MS oder NS Netz mit dezentralisierter Einspeisung (Wind, Photovoltaik (PV), etc.)

- Spannungsniveau schwankt entlang der Leitung
- Spannungsproblem kann nicht durch einen Regeltransformator gelöst werden.
- Konventioneller Netzausbau ist unflexibel, zeit- und kostenintensiv.
- MV-LVR und/oder LV-LVR ermöglichen eine Spannungs-anpassung ohne konventionelle Netzerweiterung.

© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler - Leistungsdaten

- **Leistung** - bis 8 MVA
- **Spannung** - bis 24 kV
- **Stufenschalter** – Automatischer Laststufenschalter
  - Typisch 11 Schaltstufen mit ± 5 x 2%
  - Integrierte MS-Schaltanlage
  - Inverser Regelbetrieb möglich
- **Energieeffizienz** – sehr hoher Wirkungsgrad in allen Regelstufen. (>99,75%)
- **Betrieb und Regelung**
  - Fernüberwachung und Fernzugriff mit Hilfe eines zusätzlichen Kommunikationsmoduls und RTU
  - Regelung auf Leistungsfluss oder auf remote Spannungswerte
  - Control System Protokolle IEC 608705101, 608705104, 61850.

[ABB Brilon, Mittelspannungslängsregler 20 kV / 8 MVA]

P [MVA]	2	4	6	8
Verluste [kW]	2,87	4,64	8,73	13,86
η [%]	**99,86**	**99,88**	**99,85**	**99,83**

[gemessene Werte bei 6% Spannungsanpassung]

[ABB RTU 540]

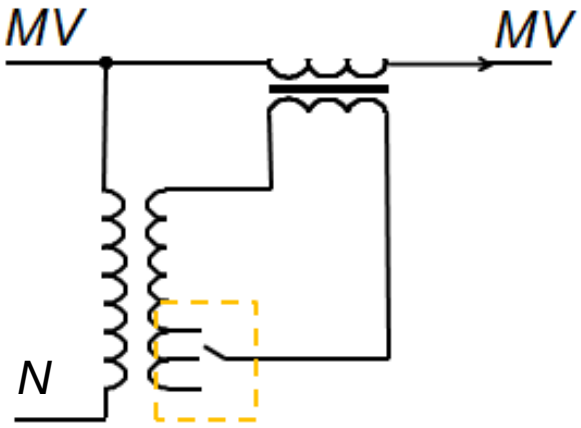
© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Designdaten

- Installation in Standard Betonstation
- ABB RESIBLOC Trockentransformatoren
- Robustes System mit langer Lebensdauer und minimalem Wartungsaufwand
- Schaltelemente ausgelegt für 3.000.000 Schaltspiele
- Kühlung durch natürliche Konvektion
- Geräuschreduzierte Transformatoren (<40 dB)
- Hohe Kurzschlussfestigkeit
- Dimensionen 3 m x 6,6 m
- Gasisolierte ABB Mittelspannungsschaltanlage

Angesehen als sehr effiziente Alternative zum konventionellen Netzausbau.

[ABB Brilon, Mittelspannungslängsregler 20 kV / 8 MVA]

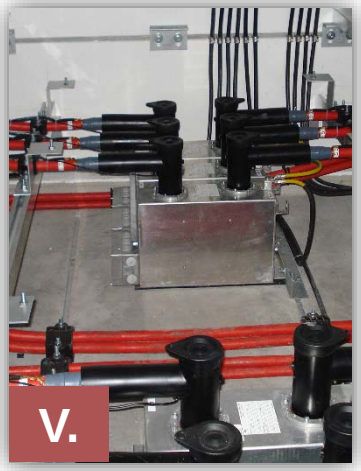


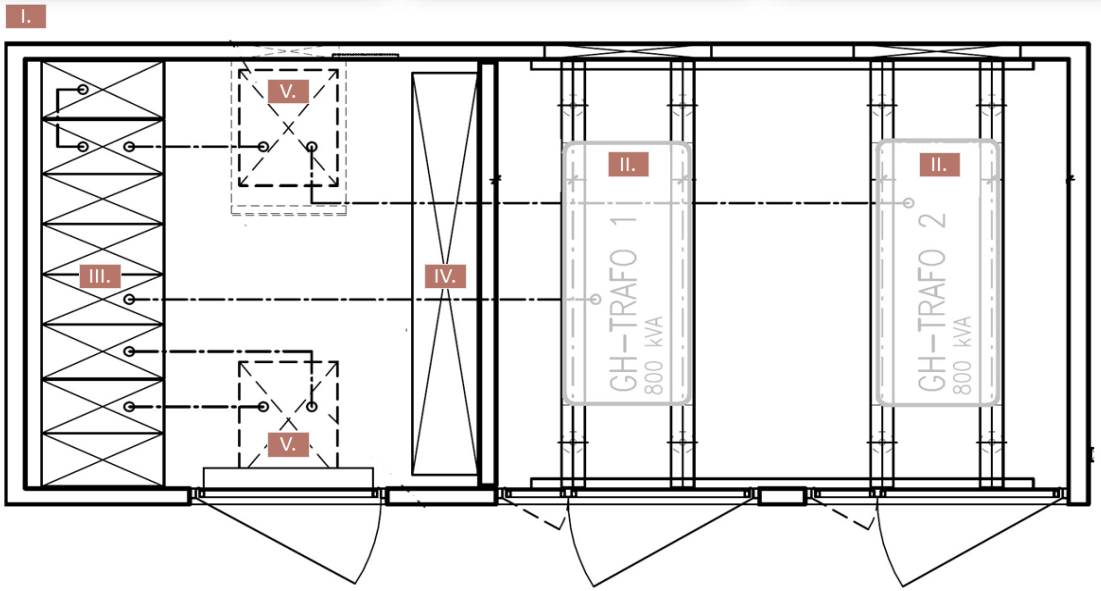
[Einphasiges Prinzipschaltbild Längsregler]

© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Pilotinstallation Hardware

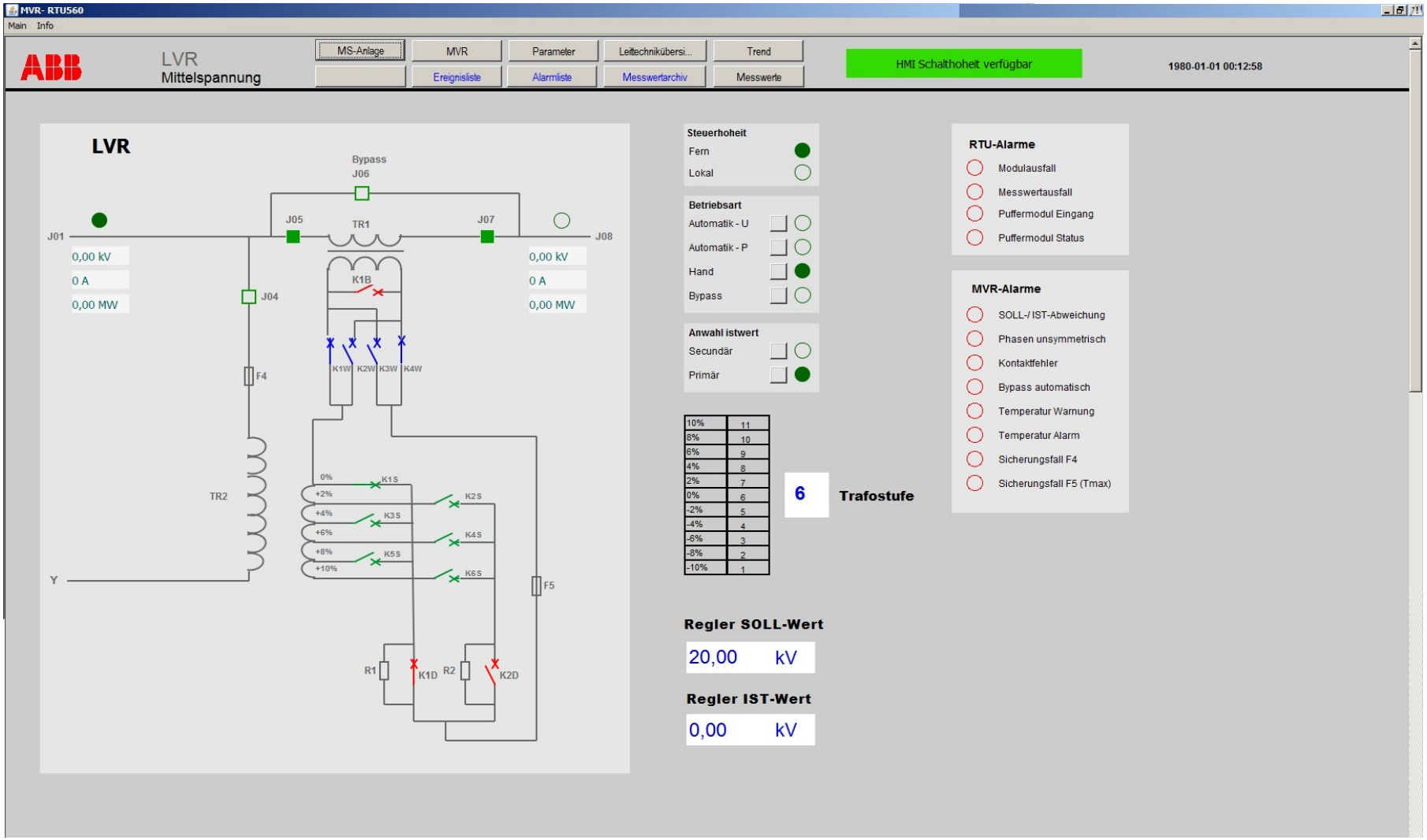
I. Stationsgebäude



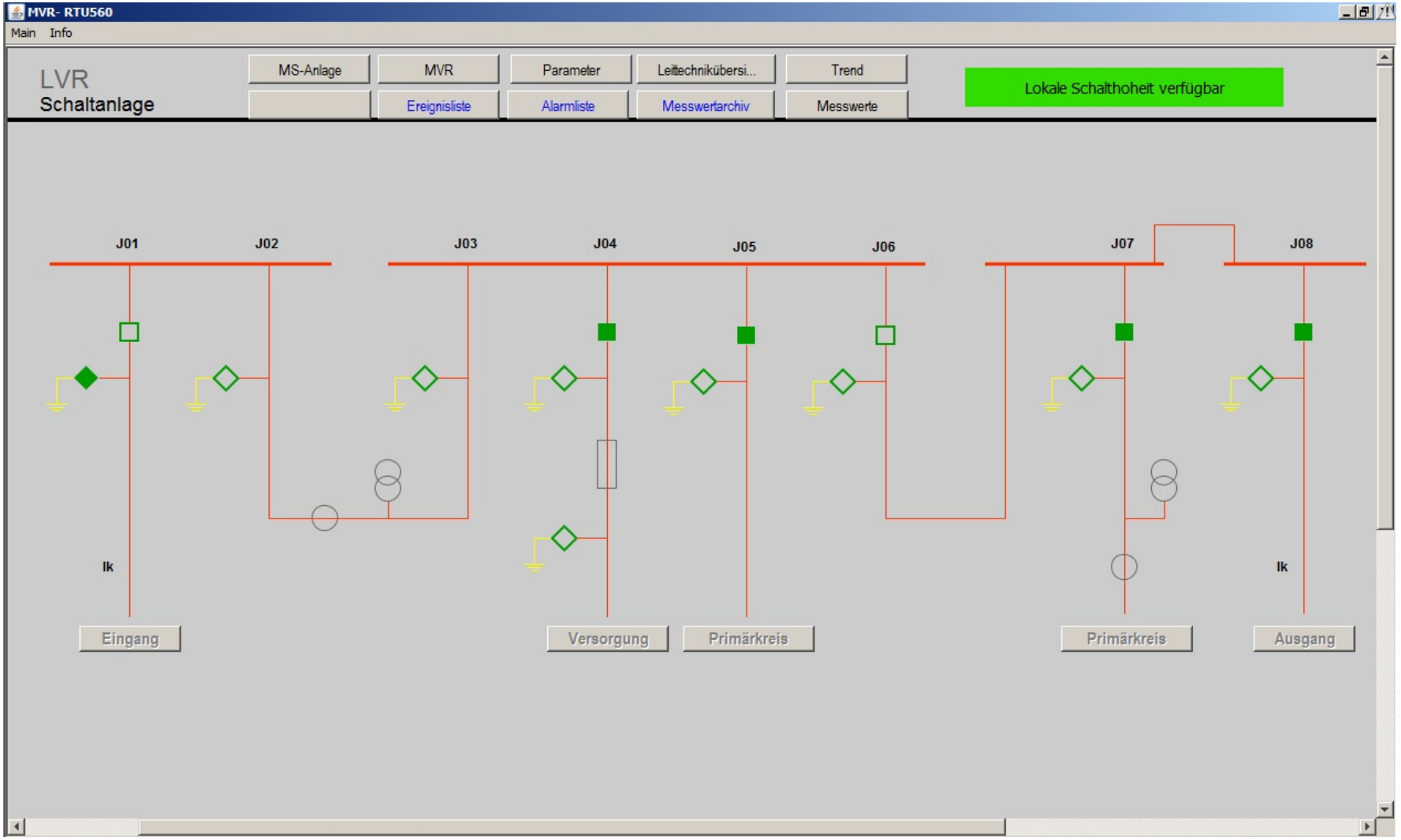


© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Pilotinstallation Control

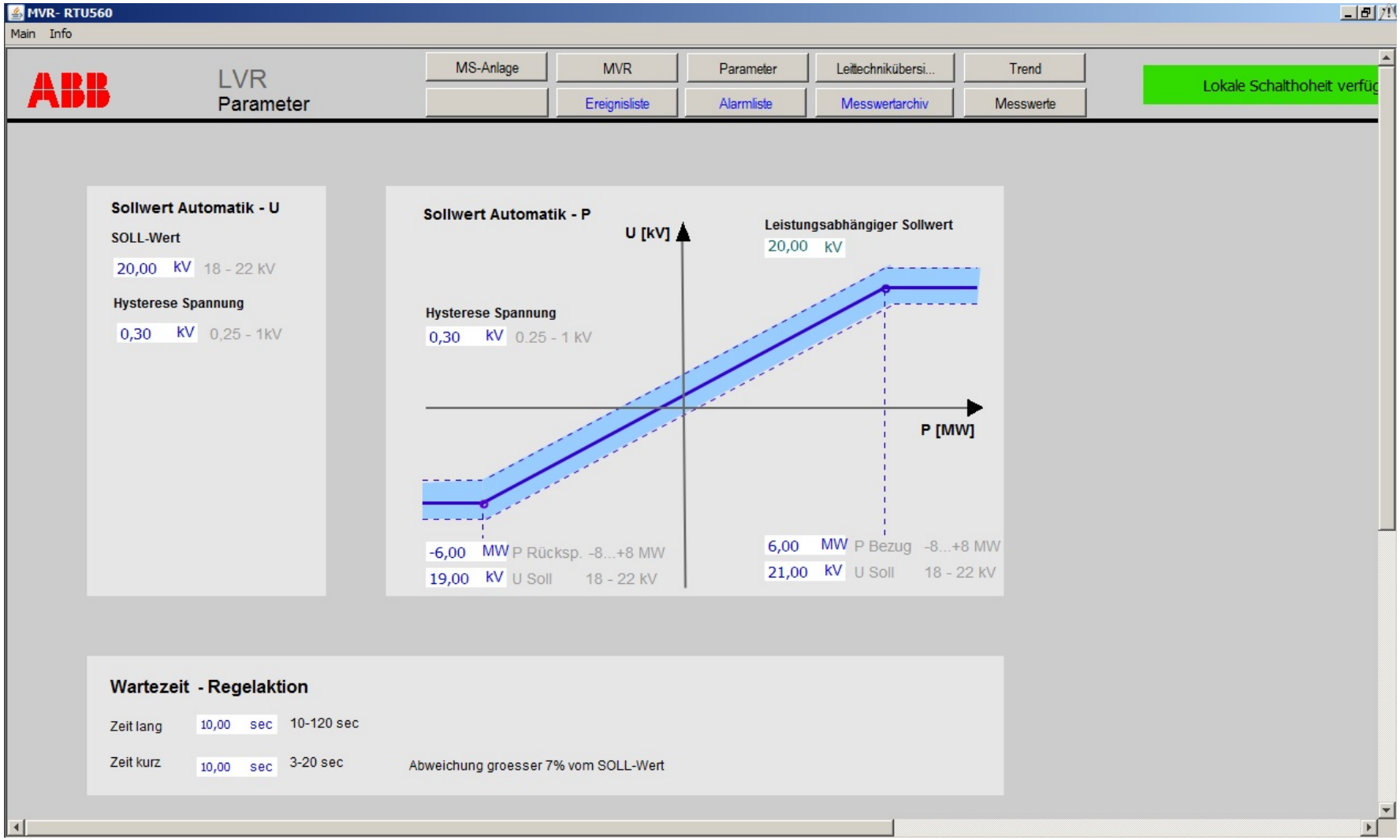


Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Pilotinstallation Control



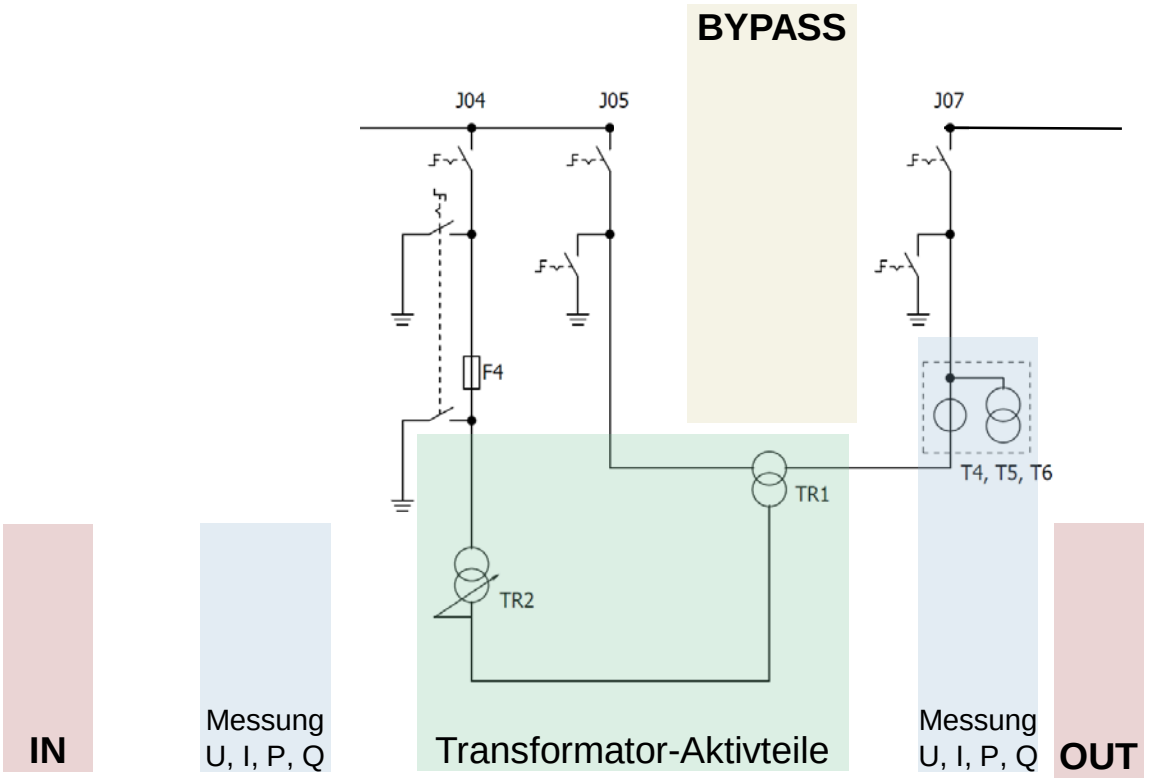
© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Pilotinstallation Control



© ABB Group

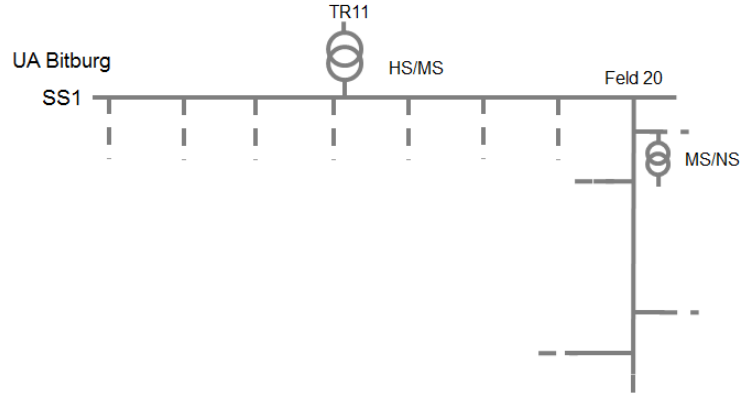
Spannungsregelung
Anbindung LSR

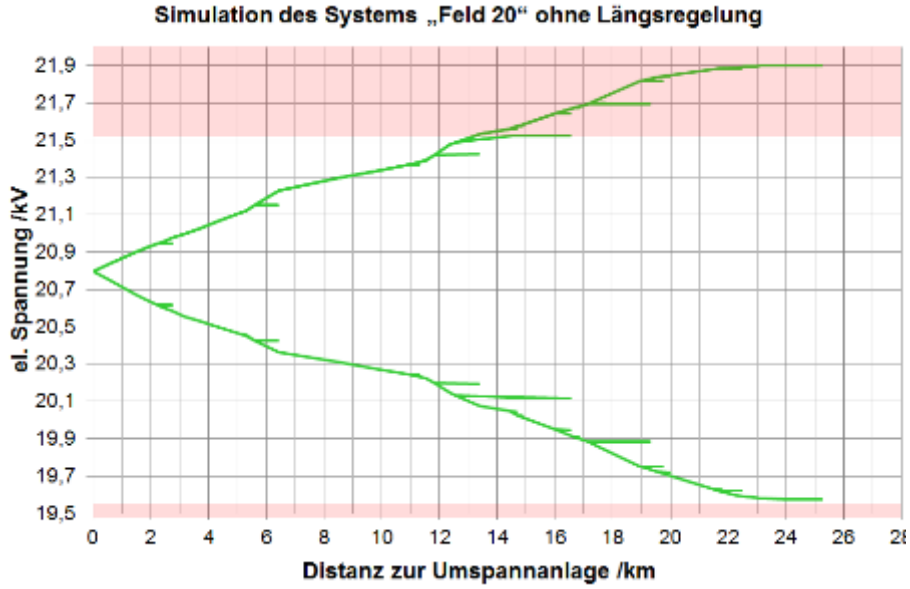


© ABB Group

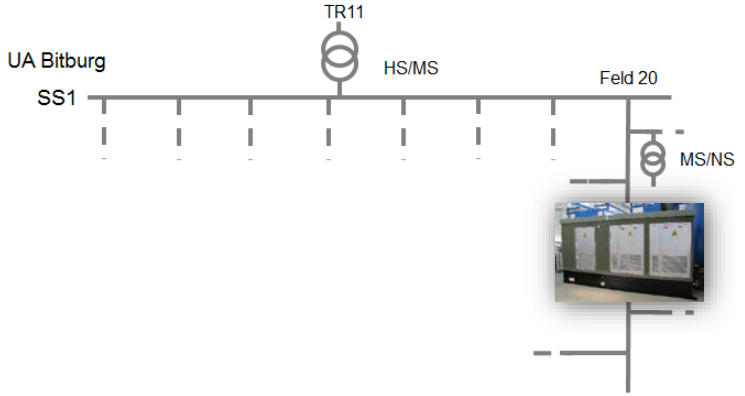
Spannungsregelung
Netzsituation am Pilotstandort

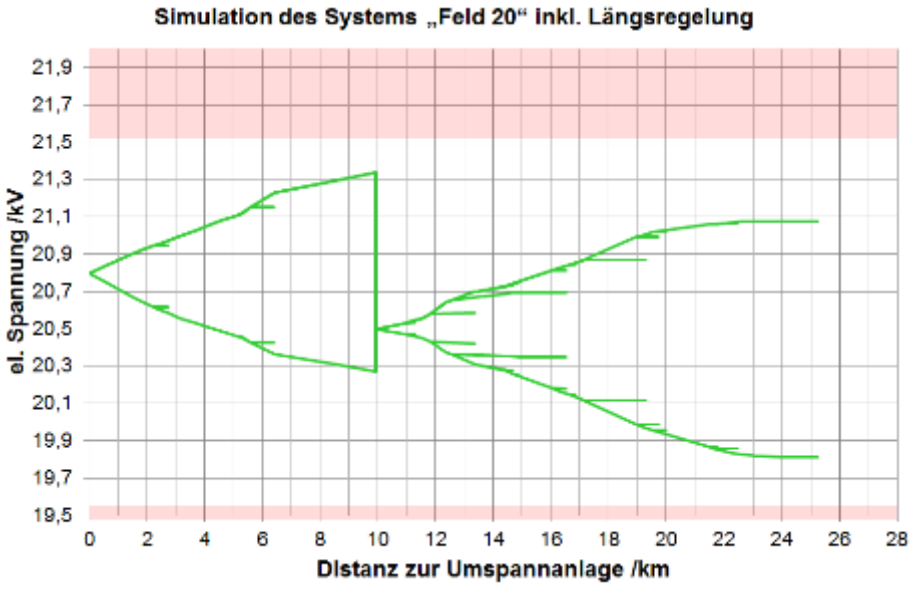
ungeregelt





MS-LSR Controlled





© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Installation

Informationen zur Aufstellung MV-LVR:

- LVR wird komplett montiert und geprüft geliefert
- Station fügt sich unauffällig in die Landschaft ein
- Keine Einschränkungen bei der Aufstellung:
  - öl-freie RESIBLOC Transformatoraktivteile
  - geräuschreduzierte Anlage Lpa <40 dBA

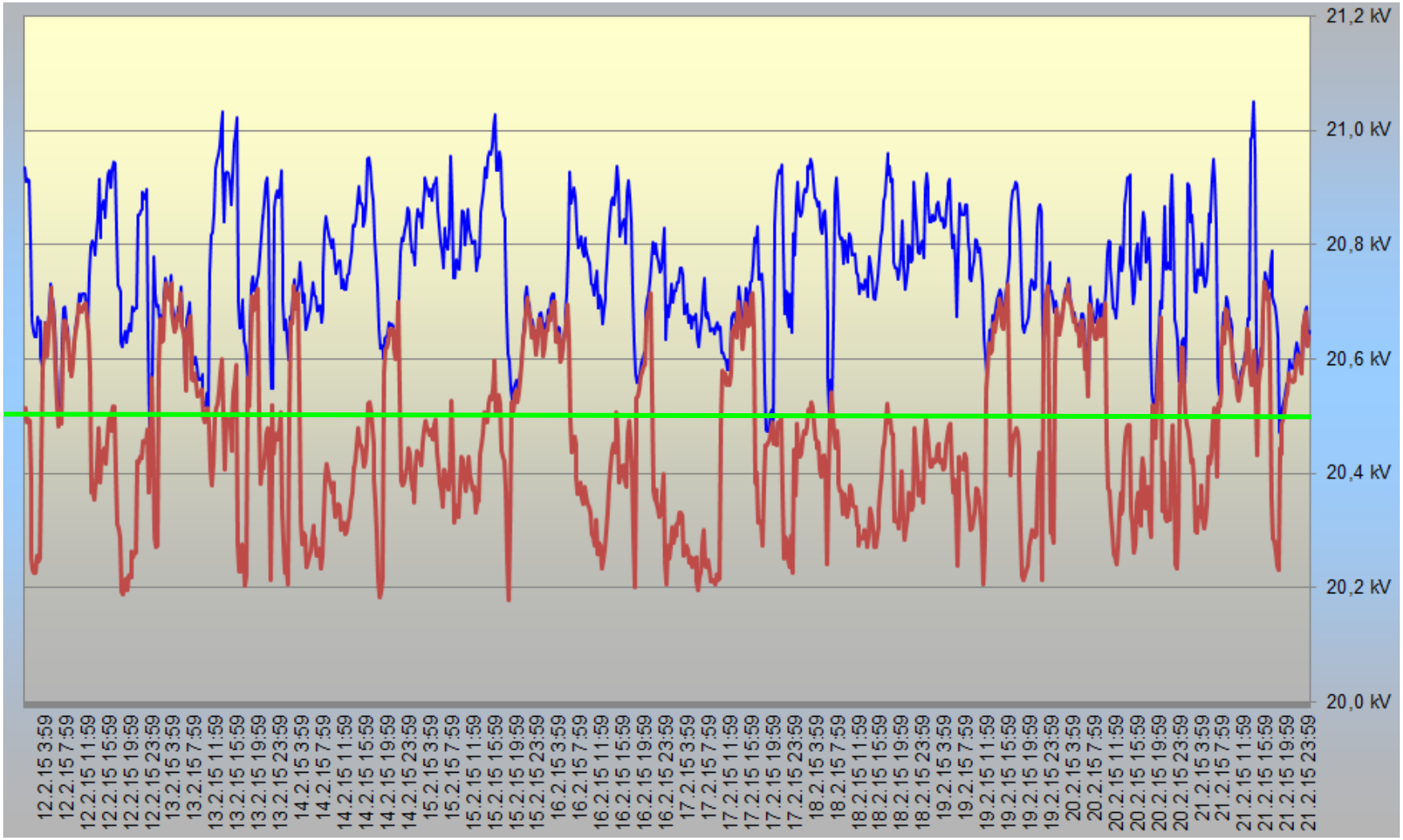
Installation in 4 Schritten:

1. Positionierung des LVR mittels Autokran
2. MS-Anbindung über Kabeleinführungen und Stecker
3. Entfernen der Transformator-Transportsicherungen
4. Anbindung Netzleitsystem (optional, z.B. über GPRS)

-> Start

© ABB Group

Spannungsregelung
Mittelspannungslängsregler Spannungsregelung



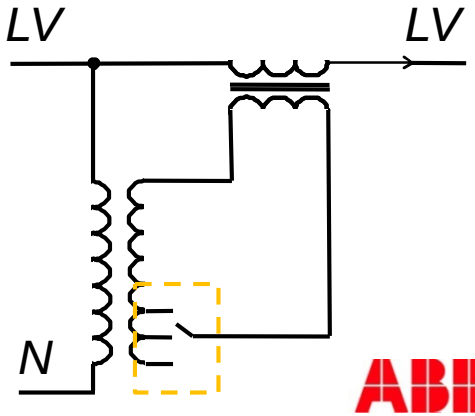
Regler IN Regler OUT Reglersollwert

© ABB Group

Spannungsregelung
Niederspannungslängsregler Leistungsdaten

- **Leistungsklassen** - 63 kVA, 125 kVA & 250 kVA
- **Spannung** – 0,4 kV
- **Stufenschalter** – Automatischer Laststufenschalter
  - 11 Schaltstufen mit (z.B. ± 5 x 1,2%).
  - Stufenschalter mit bewährten ABB Schaltelementen
- **Energieeffizienz** – hoher Wirkungsgrad >99,5%
- **Betrieb und Regelung**
  - Automatischer Betrieb auf Spannungssollwert
  - Fernüberwachung und Fernzugriff mit Hilfe eines zusätzlichen Kommunikationsmoduls und RTU
  - Regelung auf Leistungsfluss oder auf remote Spannungswerte

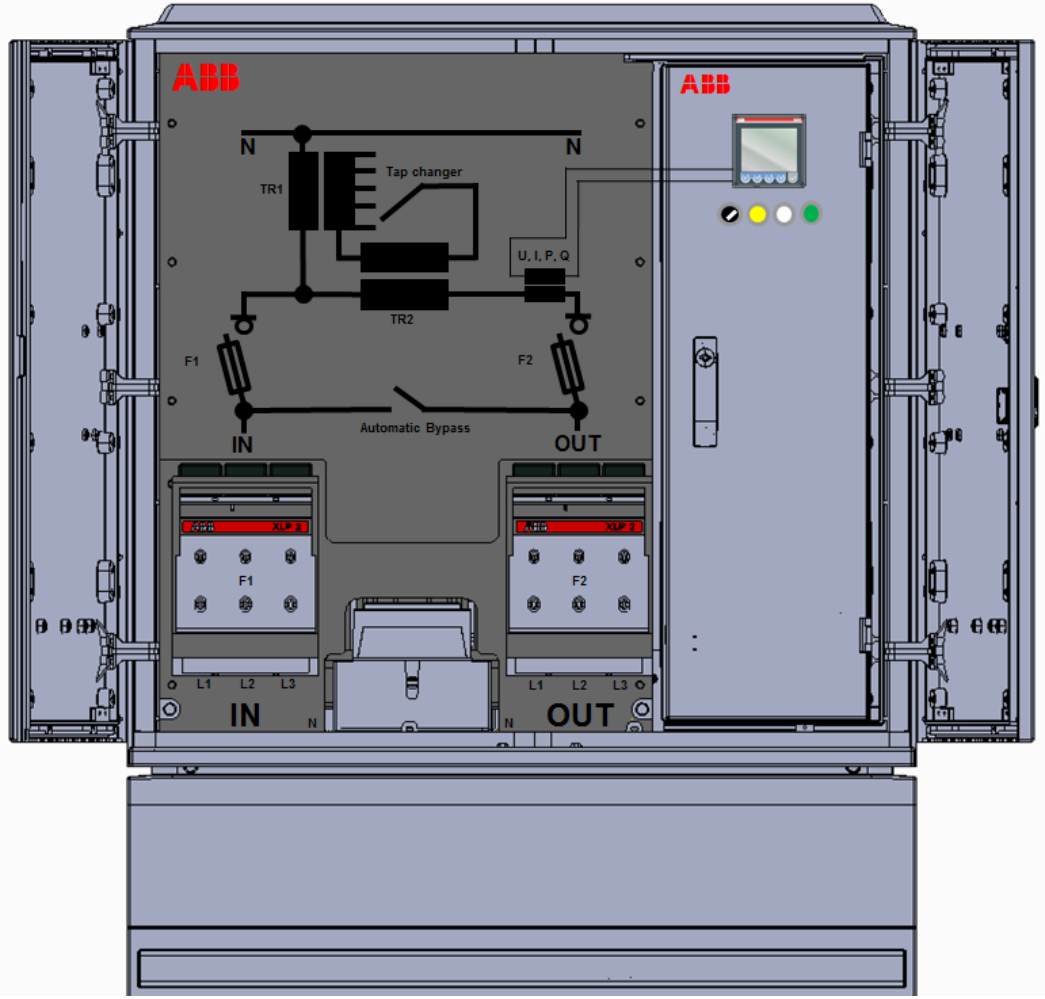
[ABB Brilon, Niederspannungslängsregler 0,4 kV / 250 kVA]



© ABB Group

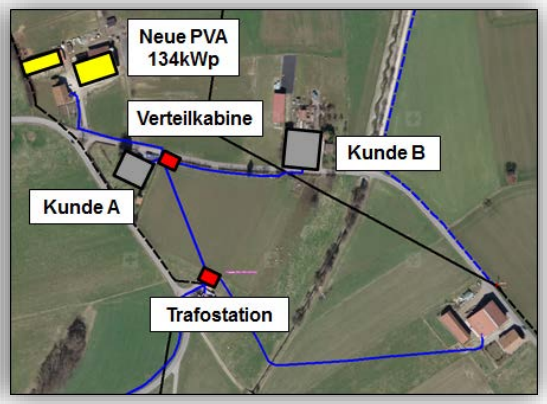
Spannungsregelung
Niederspannungslängsregler Pilotinstallation

3-Phasen Niederspannungslängsregler 0,4 kV / 250 kVA seit Mai 2014 in Betrieb.



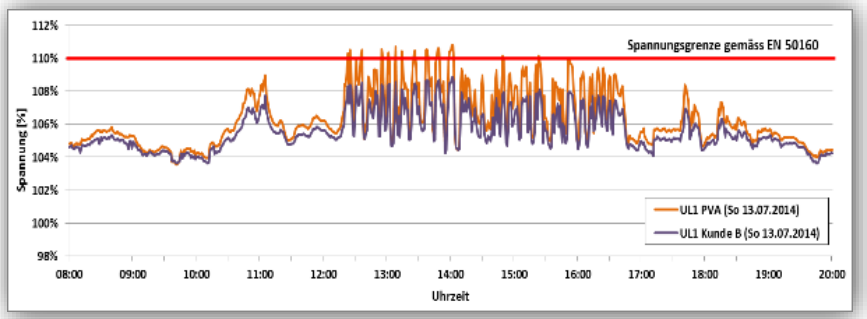
© ABB Group

Spannungsregelung
Niederspannungslängsregler Pilotinstallation

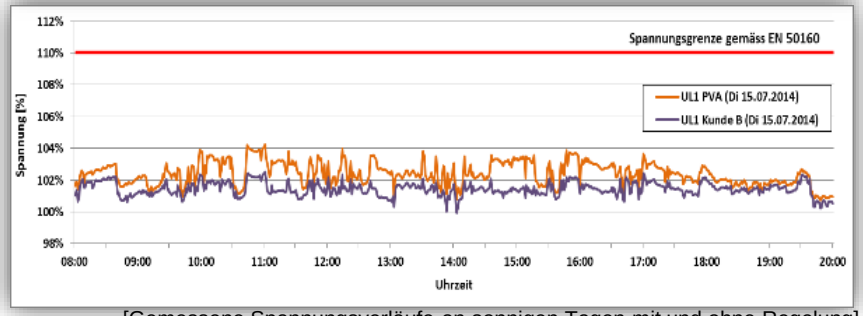


[ABB Brilon, Niederspannungslängsregler 0,4 kV / 250 kVA, Installation in Schwarzenburg, CH]

uncontrolled



LSR controlled



[Gemessene Spannungsverläufe an sonnigen Tagen mit und ohne Regelung]

- Pilotinstallation im Niederspannungsnetz mit großem Anteil dezentraler Einspeisung.
- Durch den Strangreglern werden die hohen Spannungsanhebungen bei den Kunden reduziert.
- Das Netz eine bessere Aufnahmefähigkeit für die Integration von dezentralen Einspeisungsanlagen.
- Die Spannungsqualität im Netz wird durch den Strangreglern nicht beeinflusst.

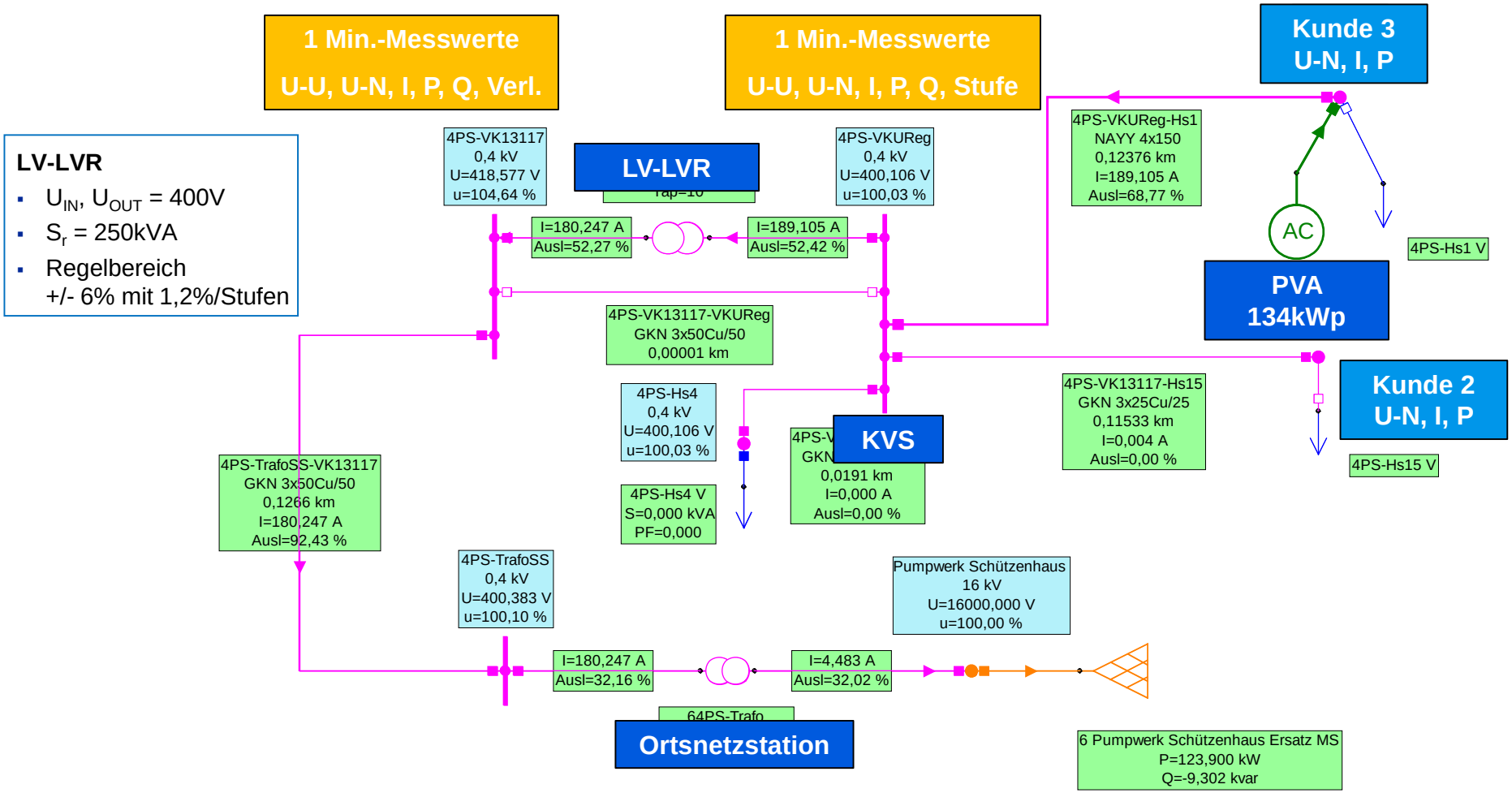
© ABB Group

Dr. Adam Slupinski, Dr. Martin Maximini, Power Consulting, 26. Februar 2015

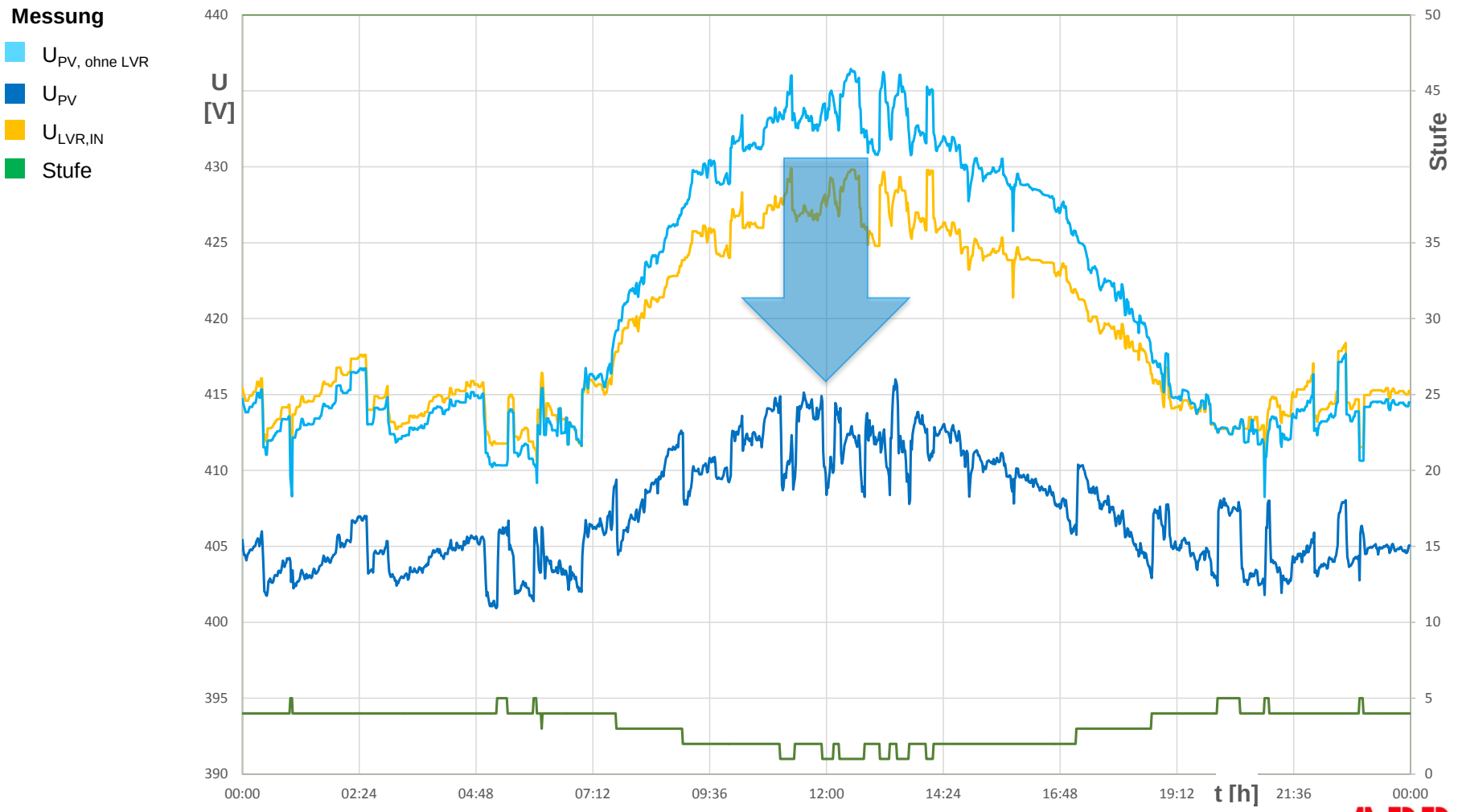
Pilot: LV-LVR im Netz der BKW
Simulationen der Regelalgorithmen

Power and productivity
for a better world™

Netzmodellierung
Netznachbildung in NEPLAN®, Messwerte des LVR

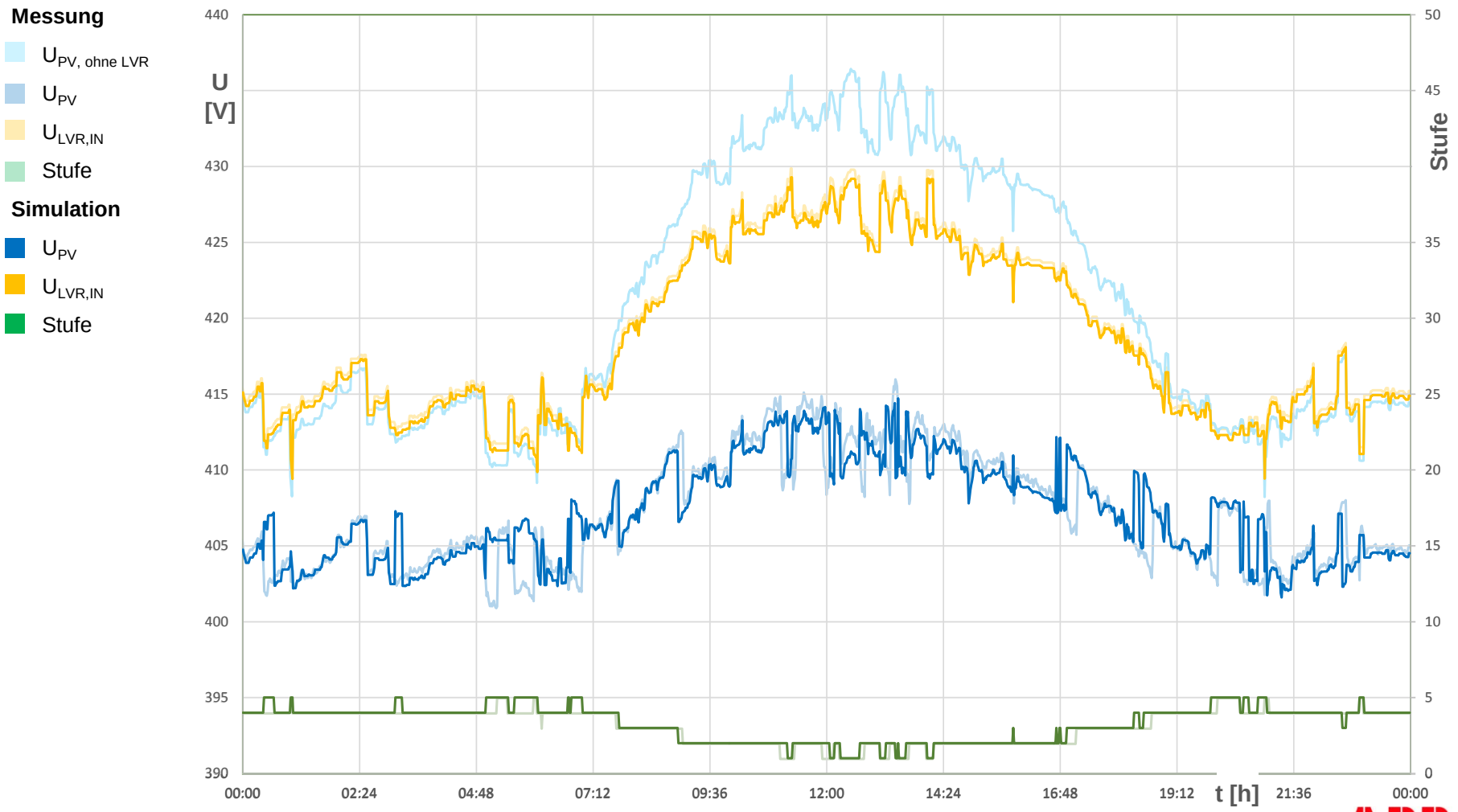


Plausibilisierung des Netzmodels
Messung (18. Juli 2014)



➔ Deutliche Reduzierung des Spannungsbandes

Plausibilisierung des Netzmodels
Vergleich Messung und Simulation (18. Juli 2014)



➔ Gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation

Verfahren zur Sollwert-Vorgaben der Spannung
Auswirkungen auf Spannungsband und Anzahl der Schaltspiele

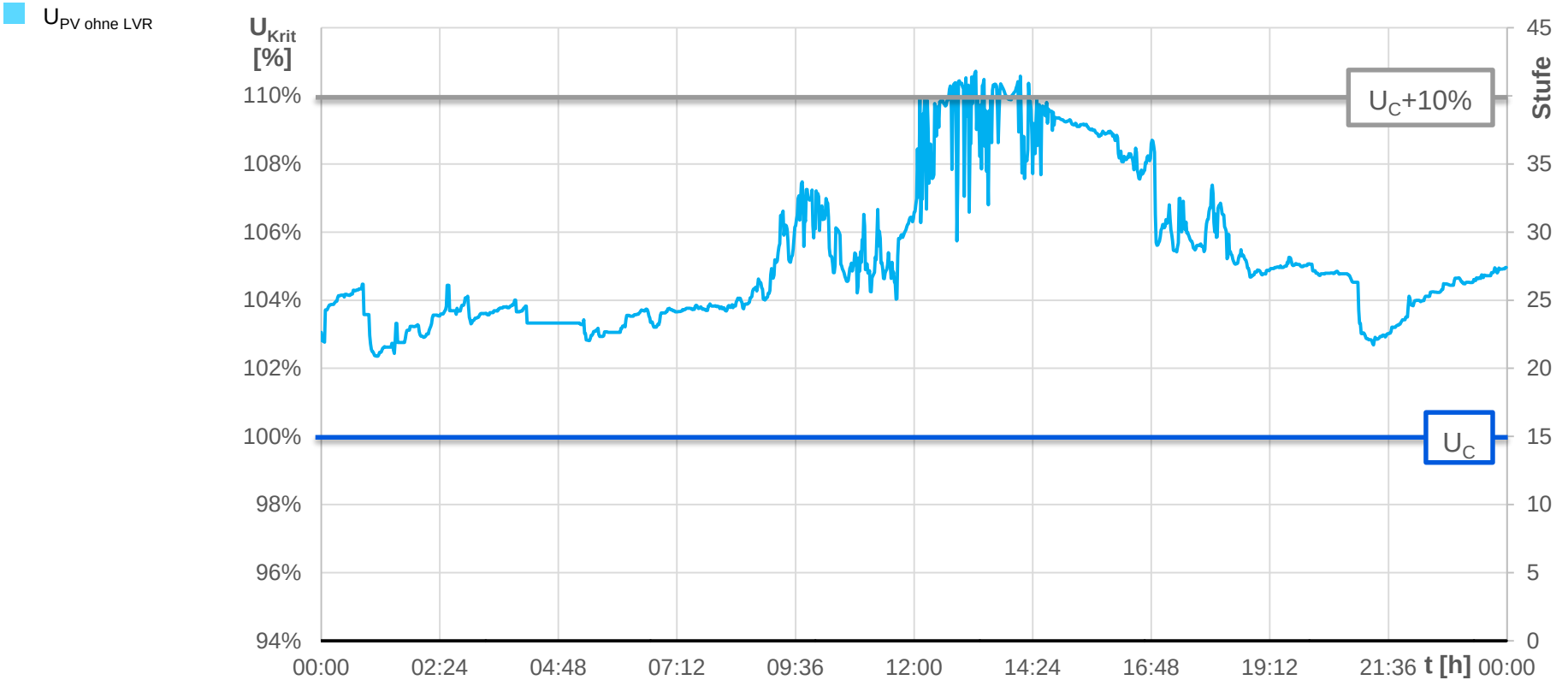
- Regelung auf einen festen Sollwert
- Regelung mit Strom-Kompoundierung
  - Sollwertvorgabe in Abhängigkeit des Flusses über den LVR

  ➔ Reduzierung des Spannungsbandes am kritischen Punkt im Netz
- Regelung unter Einsatz des Spannungsbeobachters
  - Beobachtung der Spannung im Netz durch eine Prognose der kritischen Spannung
  - Sollwertvorgabe in Abhängigkeit der kritischen Spannung im Netz

  ➔ Anpassung des Sollwerts bei Verletzung der festgelegten Spannungsgrenzen am kritischen Punkt im Netz
- Weitbereichsregelung mit verteilter Messung im Netz
  - Gleiche Vorgehensweise wie beim Beobachter, nur unter Einsatz der IKT

© ABB

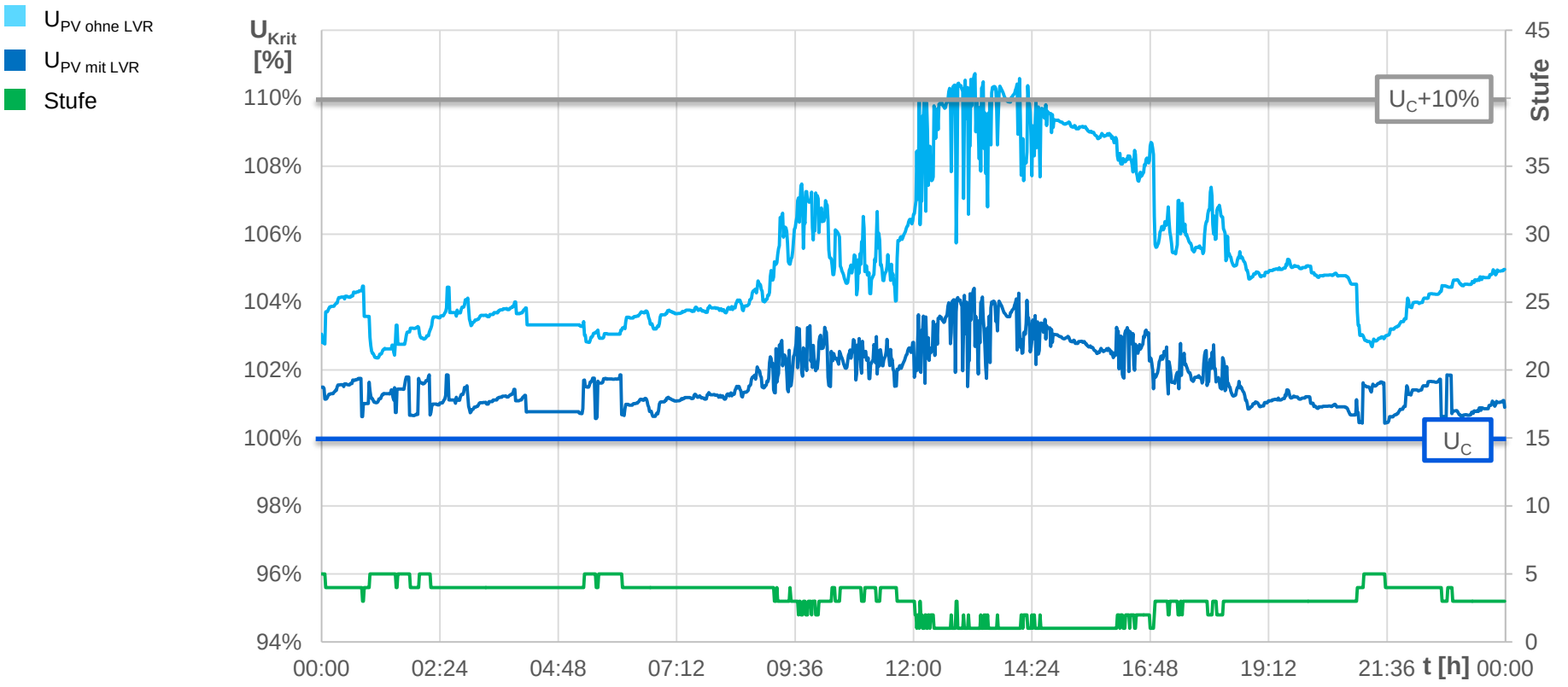
Regelverfahren und Anzahl der Schaltspiele
Ohne Regelung (21. Juli 2014)



- Spannungsbandbreite am kritischen Punkt im Netz von 8,4% U_c

➔ Spannungsbandgrenze am kritischen Punkt im Netz bereits überschritten

Regelverfahren und Anzahl der Schaltspiele
Regelung auf einen festen Sollwert

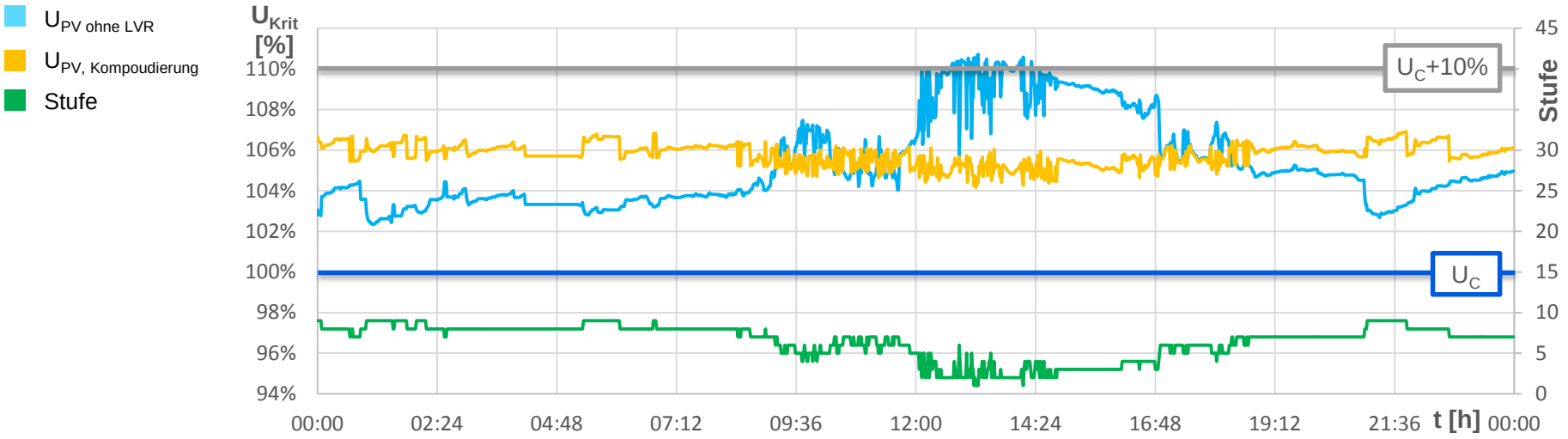


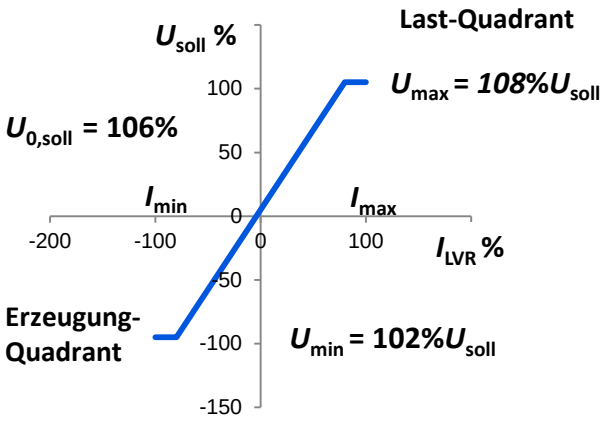
➔ Reduzierung der Spannungsbandbreite auf 4,0% U_c

➔ Anzahl der Schaltspiele: 105

© ABB

Regelverfahren und Anzahl der Schaltspiele
Regelung mit Strom-Kompoundierung



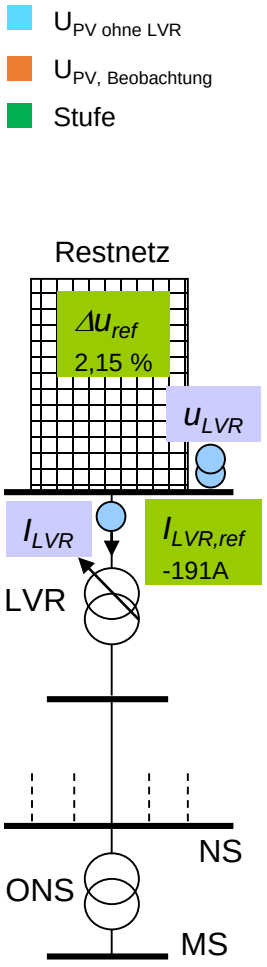


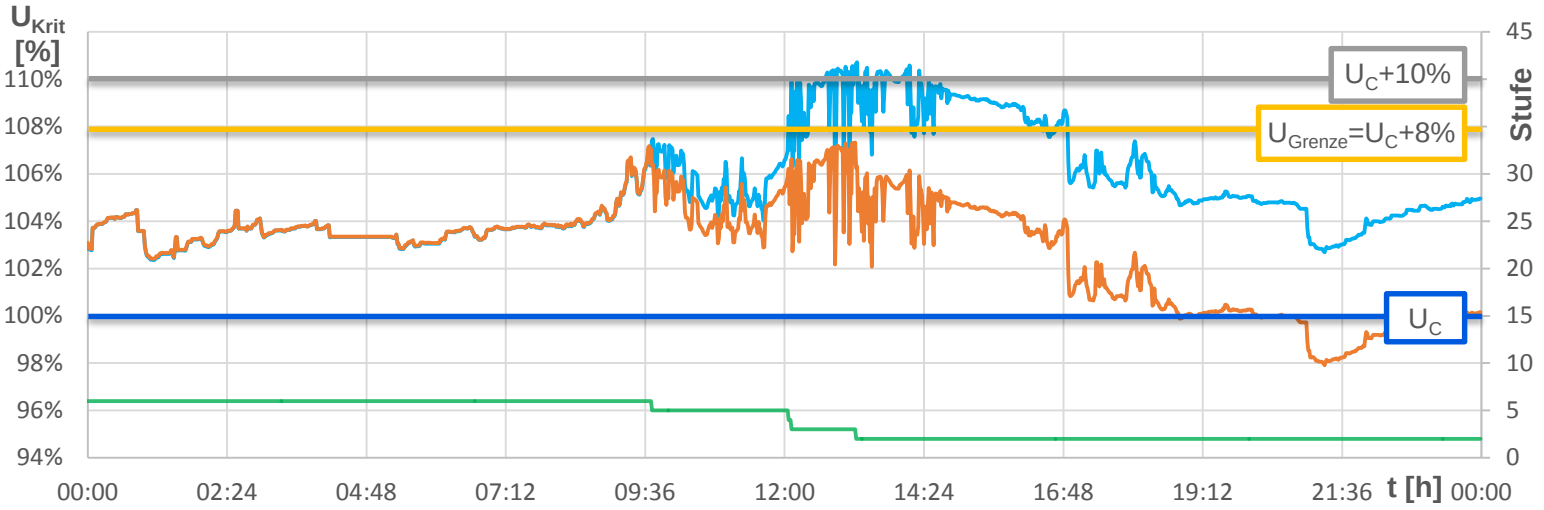
- Sollwertvorgabe in Abhängigkeit des Flusses über den LVR

➔ Weitere Reduzierung der Spannungsbandbreite auf 2,8% U_c

➔ Deutliche Steigerung der Schaltspiele auf 188

Regelverfahren und Anzahl der Schaltspiele
Regelung unter Einsatz des Spannungsbeobachters





$$u_{krit} = u_{LVR} + \Delta u_{ref} \cdot \frac{I_{LVR}}{I_{ref}}$$

„Fingerabdruck“ des Restnetzes mit NEPLAN® zu bestimmen

Messwerte des LVR‘s

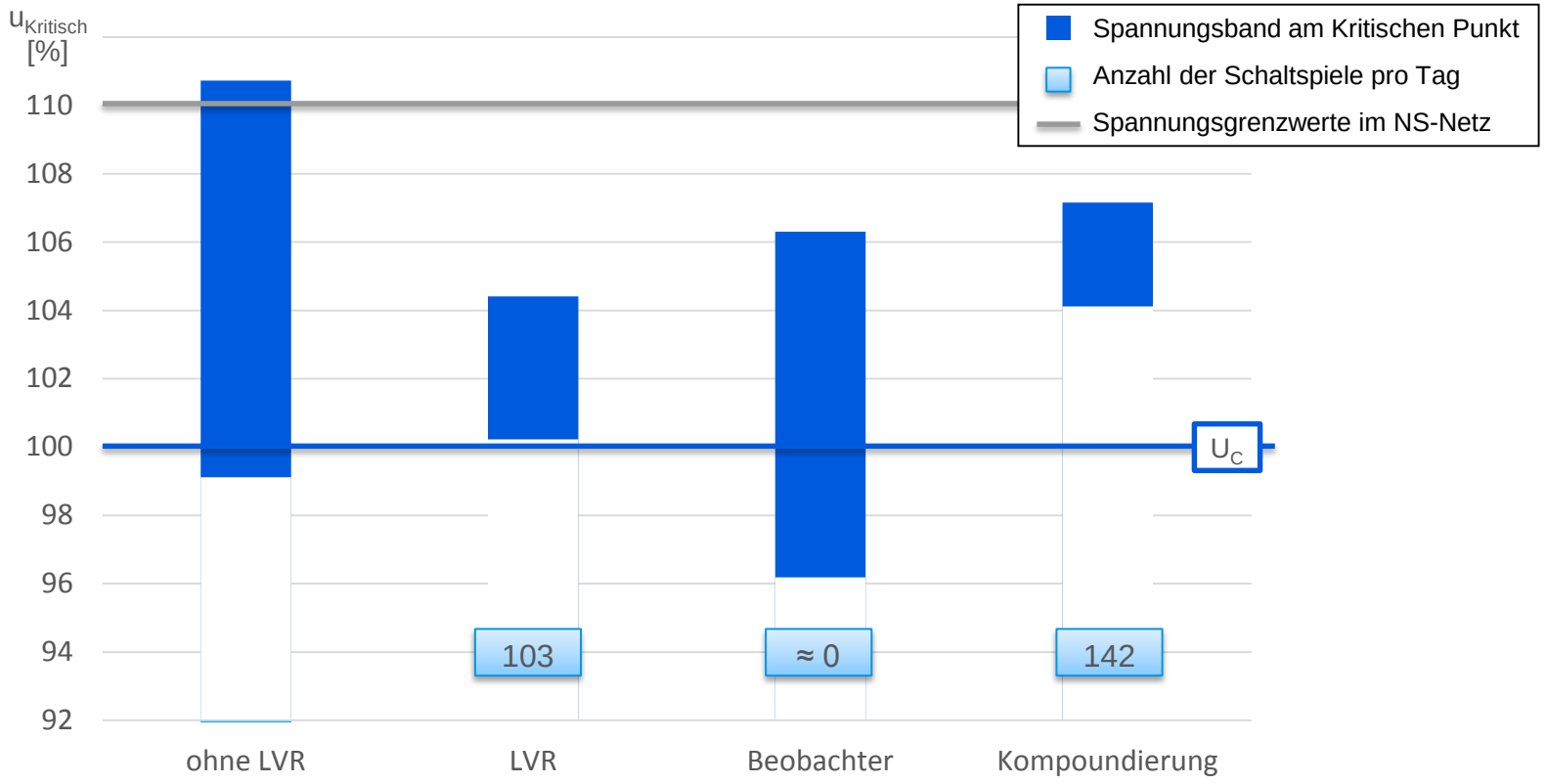
- Anpassung des Sollwerts nur bei Verletzung der Spannungsgrenzen am kritischen Punkt

➔ Ausnutzung der vorgegebenen Spannungsbandbreite am kritischen Punkt im Netz von 9,4% U_c

➔ Starke Reduzierung von Schaltspielen auf 4

© ABB

Spannungsbänder in Abh. der Regelverfahren
Langzeitbetrachtung von Mai bis Oktober 2014



➔ Keine Verletzung der zulässigen Spannungsgrenzwerte beim Einsatz des LVR‘s

➔ Starke Abhängigkeit der mittlere Anzahl der Schaltspiele vom Regelalgorithmus

Zusammenfassung

- Durch die PV-Einspeisung treten bereits Spannungsbandverletzung im Normalbetrieb auf
- Entkopplung der Spannung im NS-Abgang mit Längsspannungsregler als Lösungsmöglichkeit

  ➔ Einsatz des LV-LVR‘s gewährleistet Einhaltung der Grenzwerte

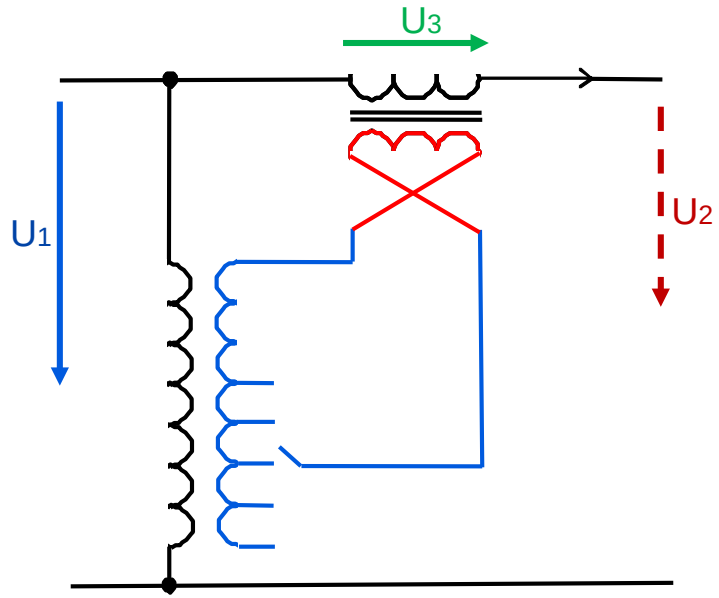
- Gangliniensimulation mit Neplan spiegelt die realen Verhältnisse wider
- Einfache Ableitung des optimalen Regelkonzepts durch Lastflusssimulationen möglich
- Anzahl der Schaltspiele und die Spannungsbandbreite am kritischen Punkt im Netz stark vom eingesetzten Regelalgorithmus abhängig

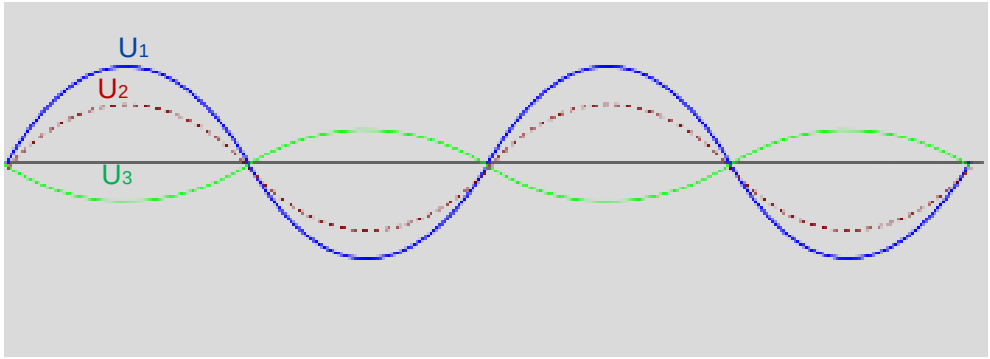
© ABB

Power and productivity
for a better world™

Spannungsregelung
Wirkungsprinzip LSR

Spannungsanpassung durch Superposition (Überlagerung)





© ABB Group