



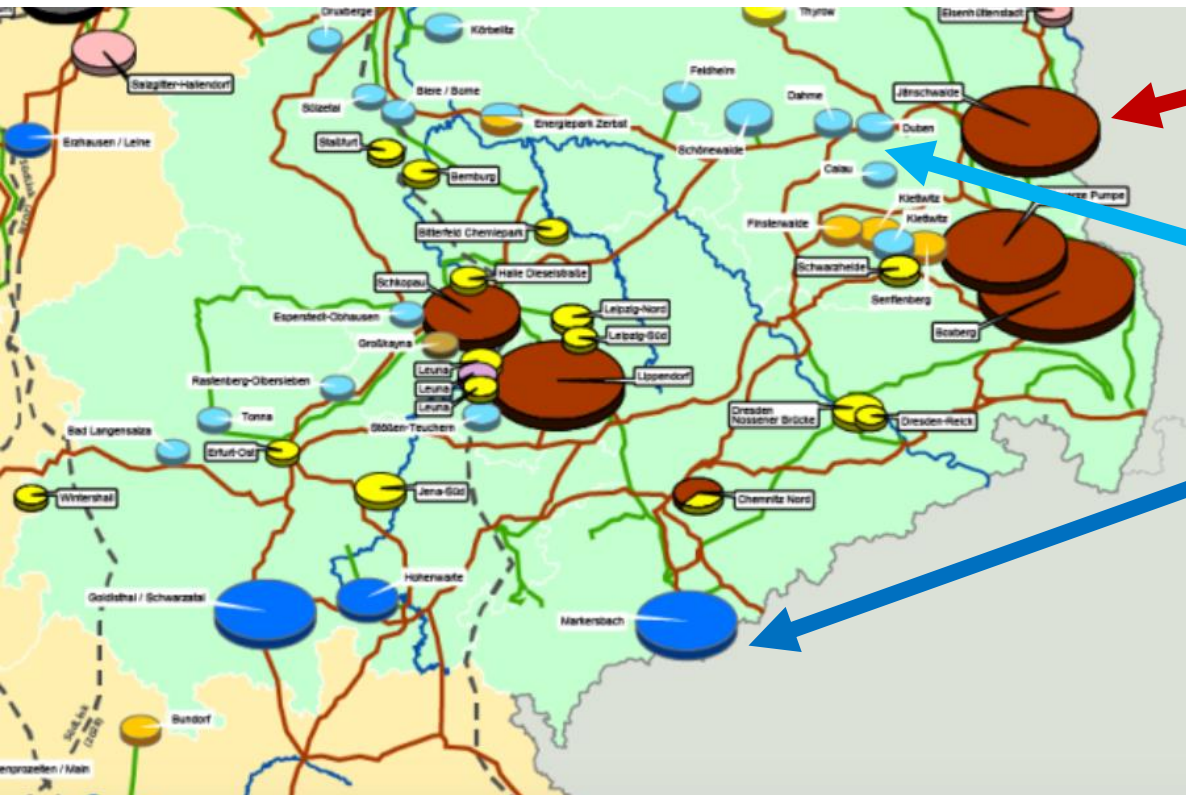
ERSATZ EINES RONT DURCH EINE LEISTUNGSELEKTRONISCHE NETZKUPPLUNG ZUR SPEISUNG EINES INSELNETZES

PROF. DR.-ING. LUTZ RAUCHFUß

Inhalt:

1. Übertragungsnetz in Deutschland (ein Verbund-Netz aus Stromquellen)
2. Was ist eine Netzkupplung (Spannungsquelle im Inselnetz)
3. Herausforderung für die Regelung der Netzkupplung (Sicherungen noch sinnvoll?)
4. Fazit

ÜBERTRAGUNGSNETZ IN DEUTSCHLAND (EIN VERBUND-NETZ AUS STROMQUELLEN)



Braunkohle dominant im 50Hz-Übertragungsnetz

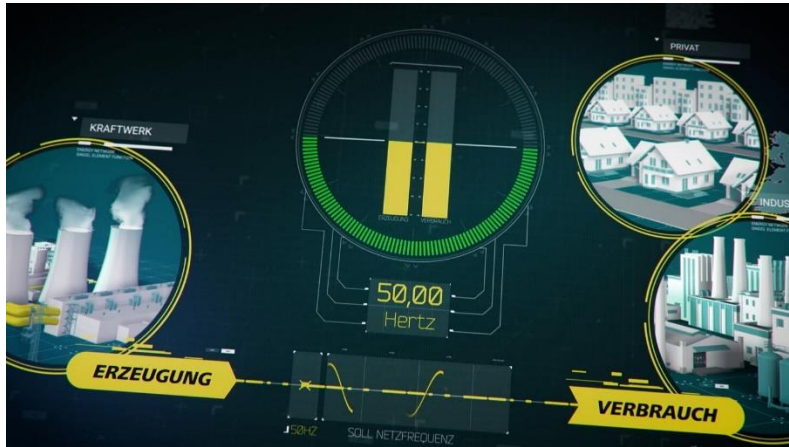
Windpark

Pumpspeicherkraftwerk

Kraftwerke ab 100 MW_{el}

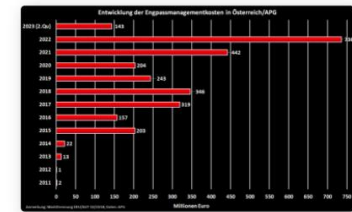


Konventionelle Kraftwerke, die ins Netz einspeisen, arbeiten als Stromquelle, überwacht vom Bediener.

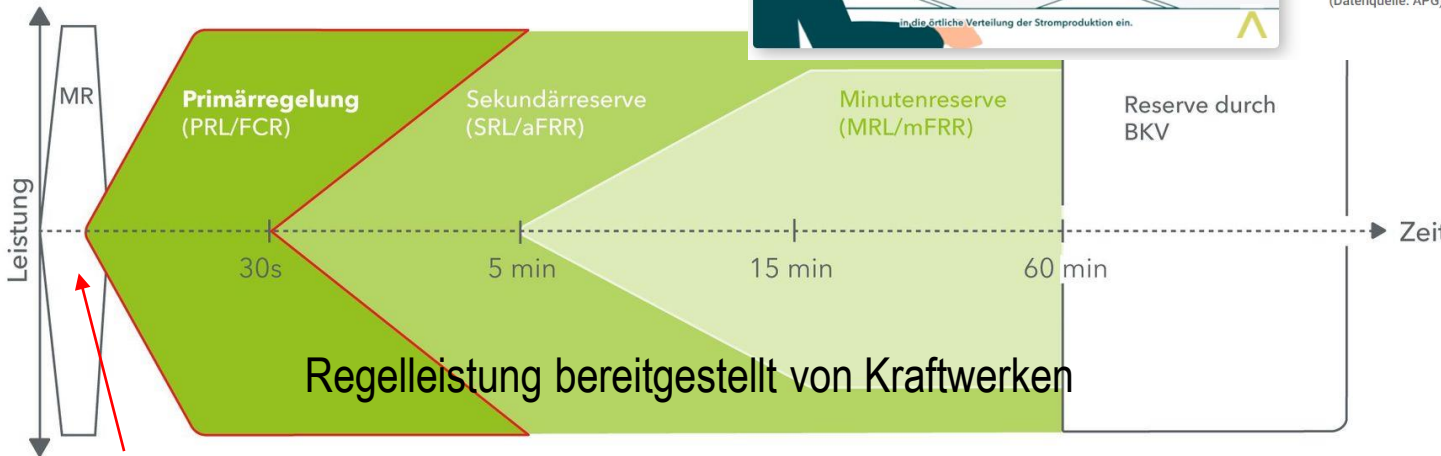


Eine ausgeglichene Waage aus Erzeugung und Verbrauch sichert ein stabiles **Strom**-Netz mit einer Frequenz von 50Hz!

Zentraler Bediener in der sog. Hauptstromleitung überwacht



Entwicklung der Engpassmanagementkosten (Datenquelle: APG)



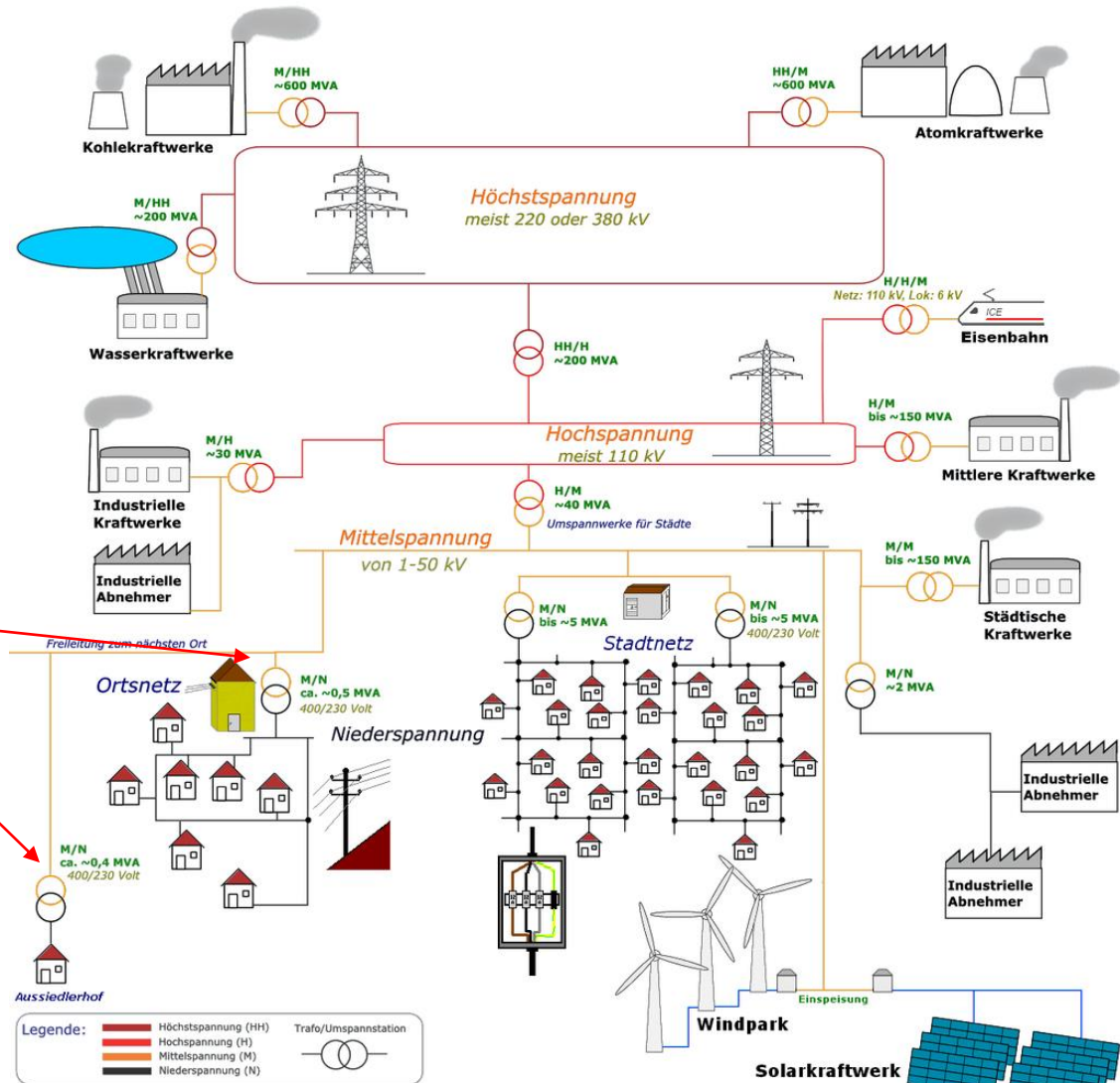
$$J = \frac{m}{2} \cdot r^2$$

$$W_{kin} = \frac{J}{2} \cdot \omega^2$$

Momentanreserve: im Sekundenbereich aus rotierenden Massen am Netz (Synchrongeneratoren)

MR: Momentanreserve
BKV: Bilanzkreisverantwortlicher

Regenerative Kraftwerke müssen für die Bereitstellung der Regelleistung ertüchtigt werden!



Regelbarer Ortsnetztrafo
rONT:

Hält die Spannung im
Ortsnetz konstant auch bei
Umkehr der Energieflussrichtung.

Regelung des Netzes soll über die Strombörse erfolgen! → Wer übernimmt die Spannungshaltung?
→ Welche Speicherkapazität ist nötig?

Verbund-Projekt FlexNet-Eko im Inselnetz von Niederbobritzsch

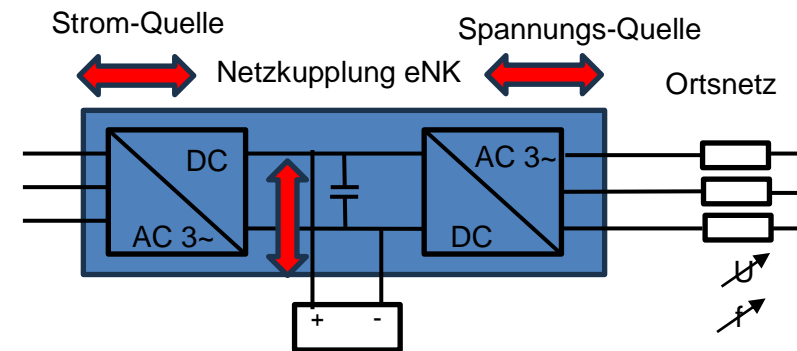
Ausgangssituation:

- Stark fluktuierende Einspeisung aus regenerativen Quellen (PV und Biogasanlage)
- Häufige Netzausfälle speziell bei Hochwasser (Zusammenfluss der Bäche Bobritzsch und Sohrbach)
- Erschwerte Spannungshaltung bei Wechsel der Energieflussrichtung im Ortsnetz
- Unkoordinierte Speisung von E-Fahrzeugen und dezentralen Speichern



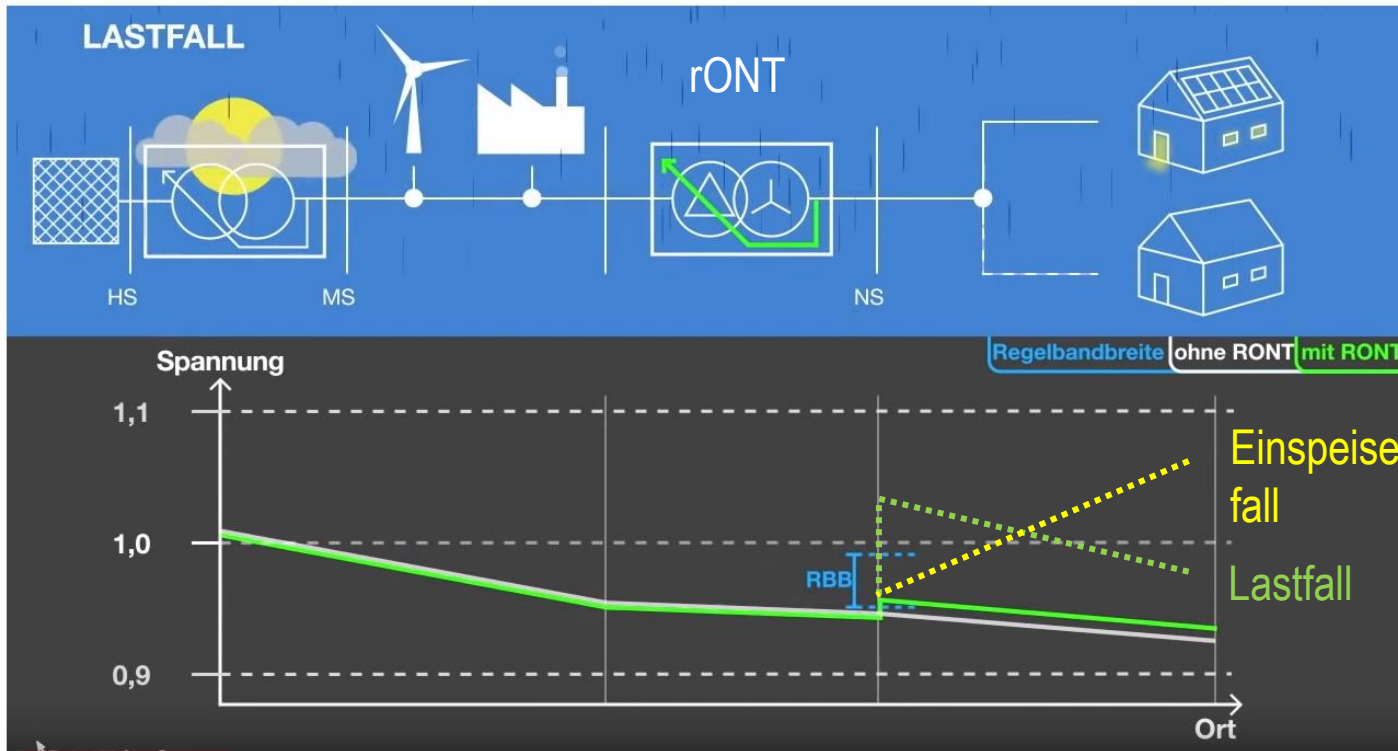
Ziel der Netzkupplung (eNK):

- Netzspannung aufbauen und regeln
- Netzausfälle für Verbraucher verhindern (USV)
- Frequenz variieren, um Verbraucher und Quellen gezielt ein- und ausschalten zu können



WAS IST EINE NETZKUPPLUNG (SPANNUNGSQUELLE IM INSELNETZ)

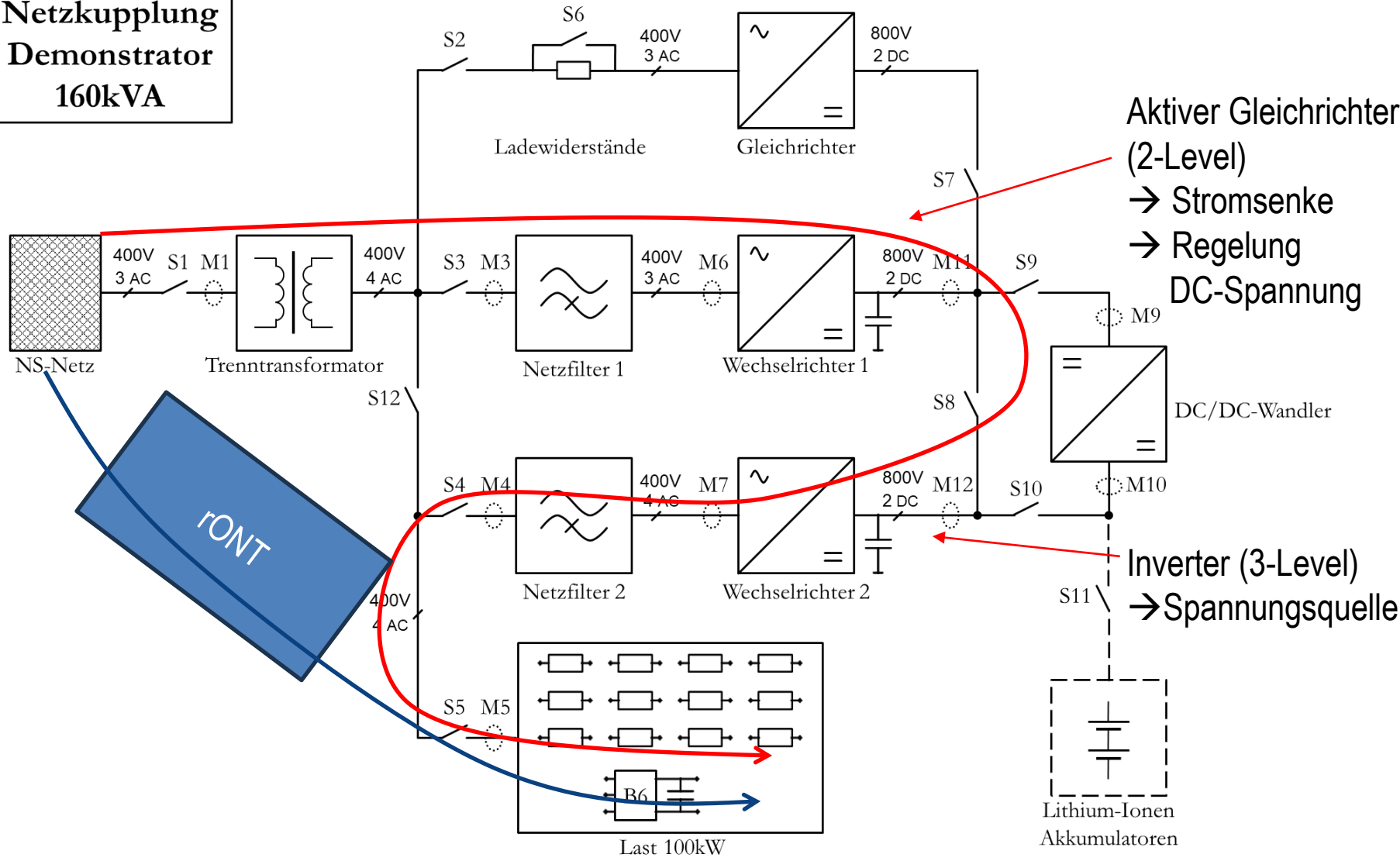
Aufgabe eines regelbaren Ortsnetztrafo's (rONT)?

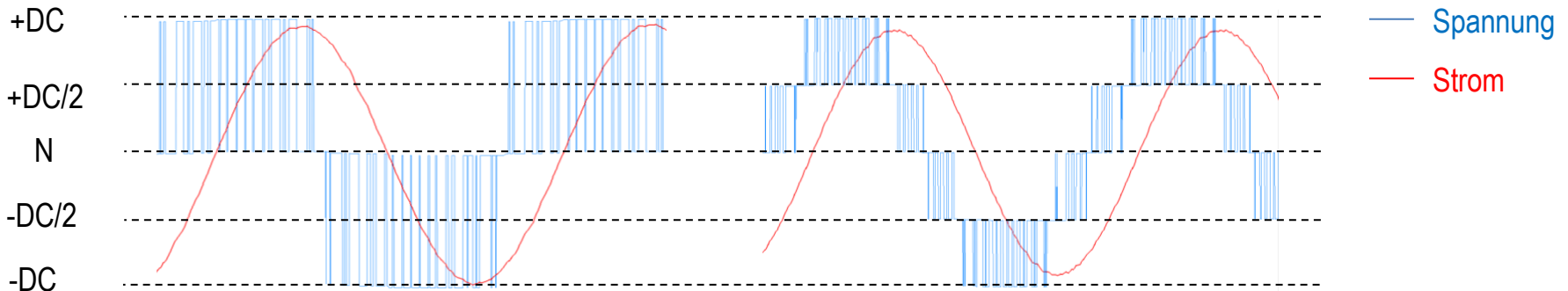
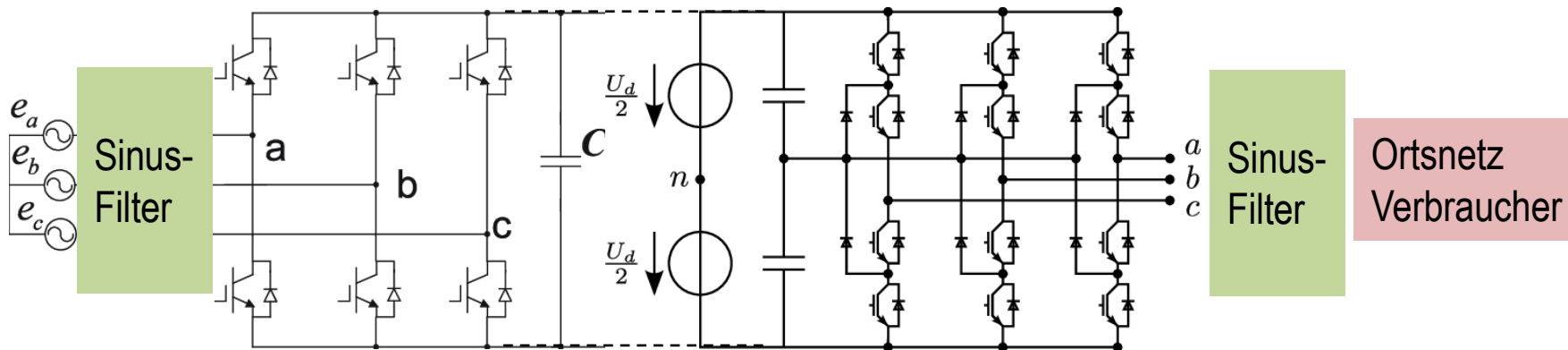
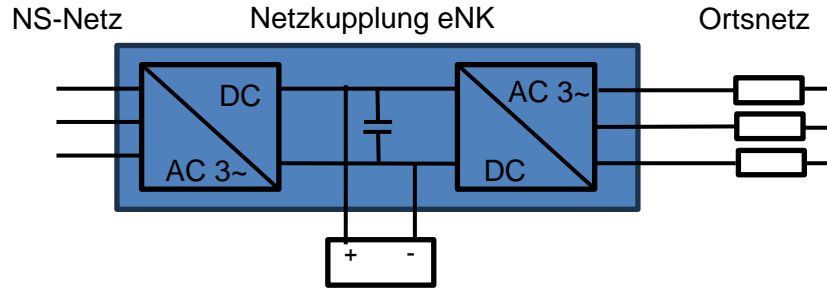


Ziele eNK:

- Netzspannung aufbauen und regeln rONT ✓
- Netzausfälle für Verbraucher verhindern (USV) ✗
- Frequenz variieren, um Verbraucher und Quellen gezielt ein- und ausschalten zu können ✗

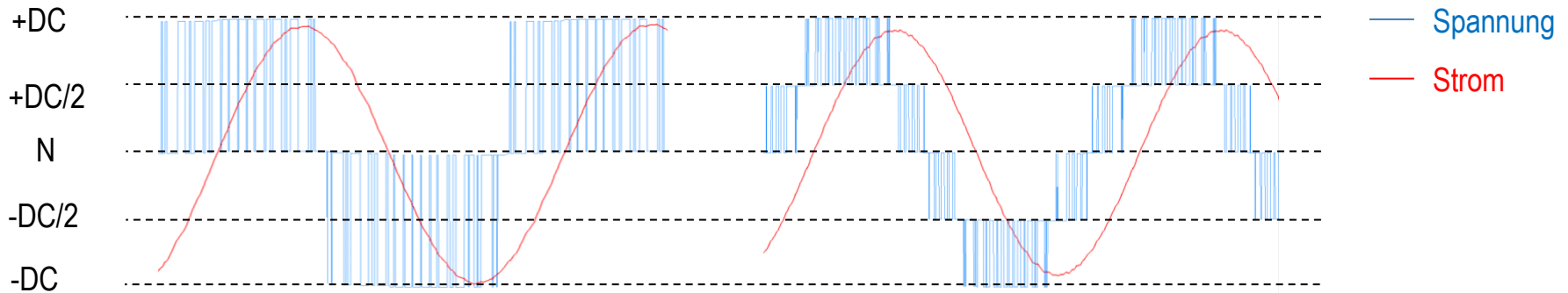
**Netzkupplung
Demonstrator
160kVA**





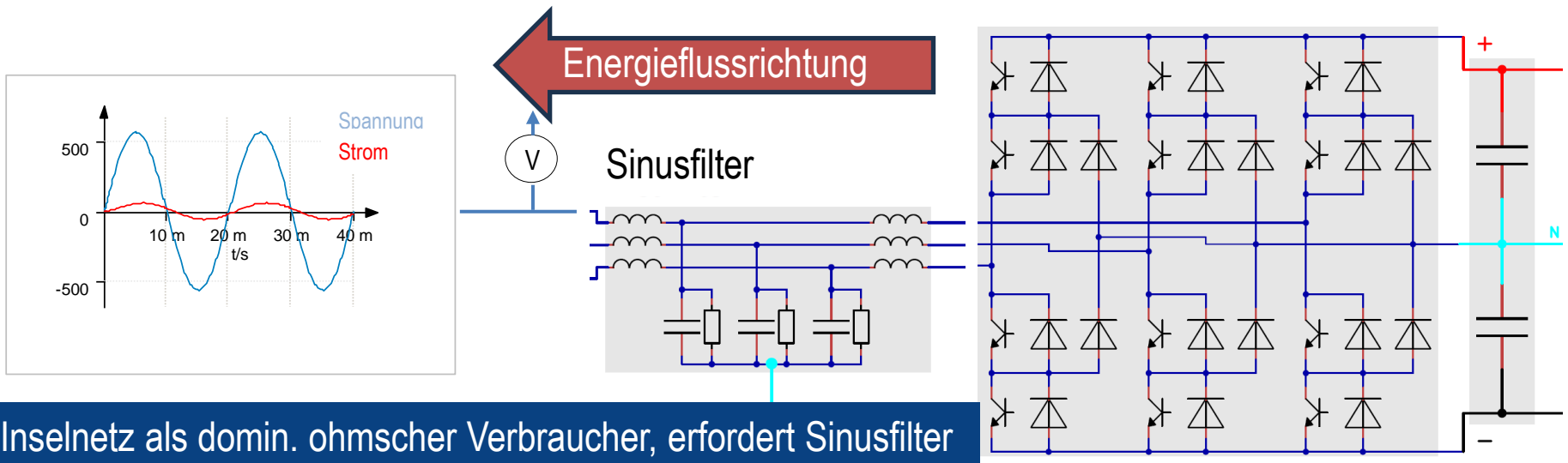
3-Level → doppelte Schalterzahl → DC/2 möglich → bessere Stromqualität

Bei der Maschinenspeisung wird der Inverter als **Stromquelle** geregelt



Spannung vom 3L-Inverter liegt näher an der Sinusform, weniger Filtern

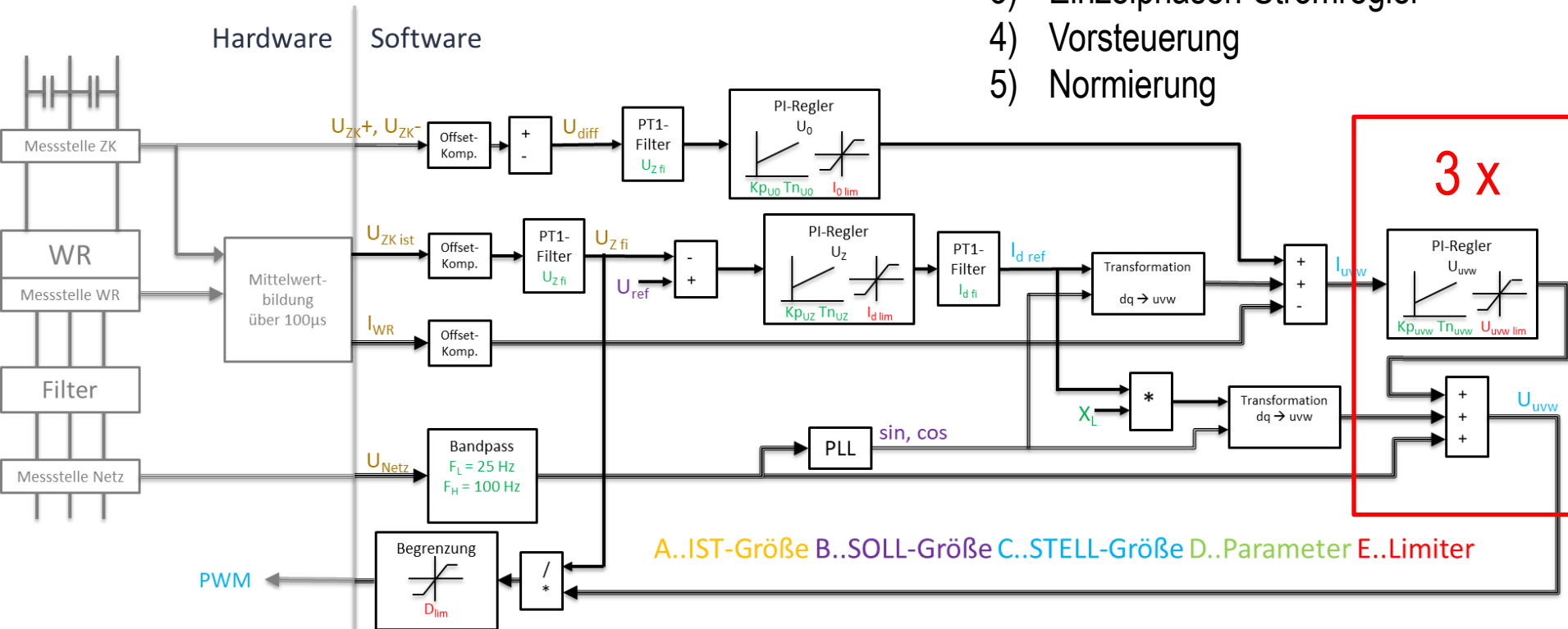
Bei der Netzbildung wird der Inverter als **Spannungsquelle** geregelt



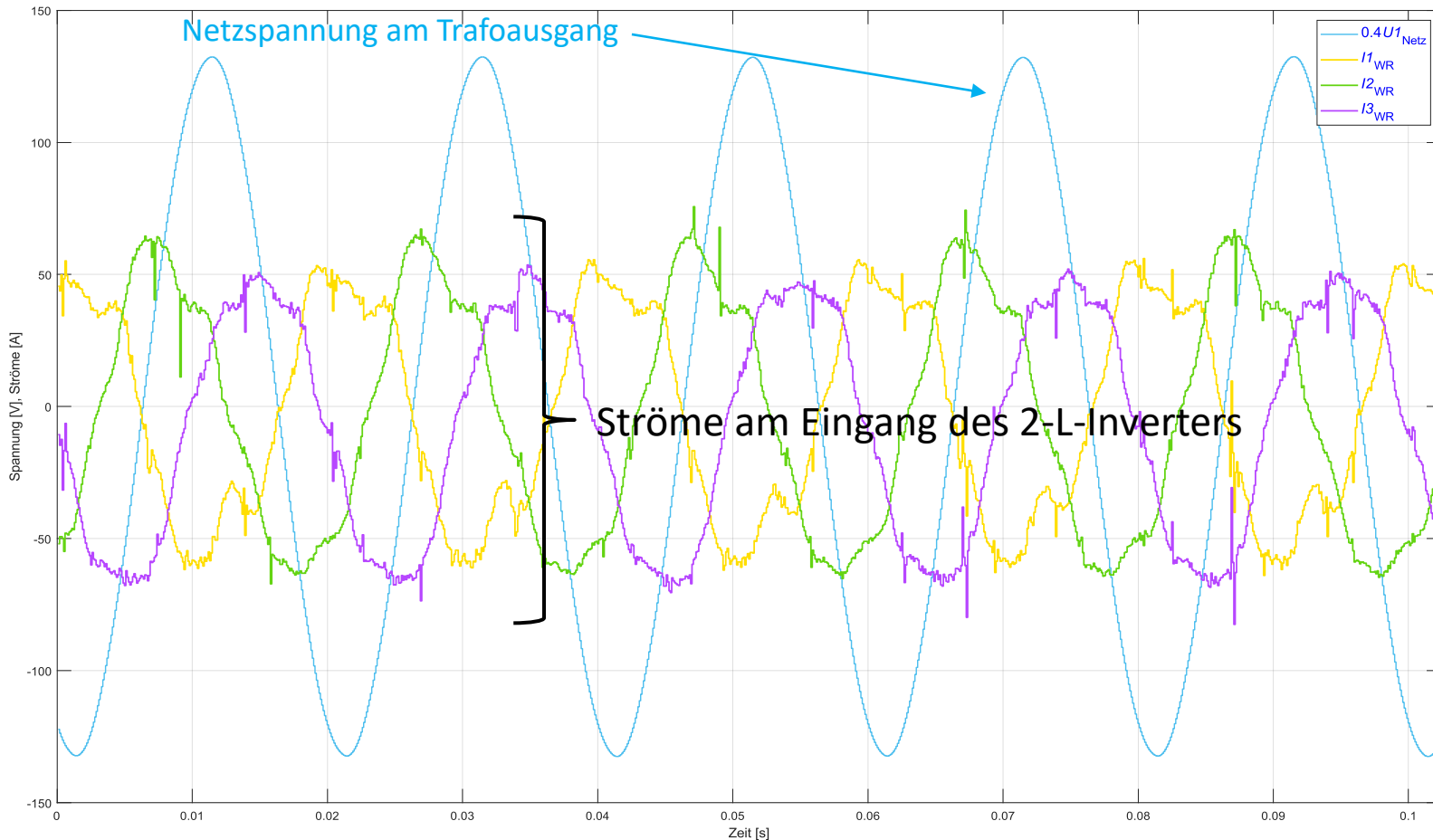
Inselnetz als domin. ohmscher Verbraucher, erfordert Sinusfilter

HERAUSFORDERUNG FÜR DIE REGELUNG DER
NETZKUPPLUNG
(SICHERUNGEN NOCH SINNVOLL?)

- 1) Zwischenkreisspannungsregler
- 2) Symmetrie-Regler
- 3) Einzelphasen-Stromregler
- 4) Vorsteuerung
- 5) Normierung

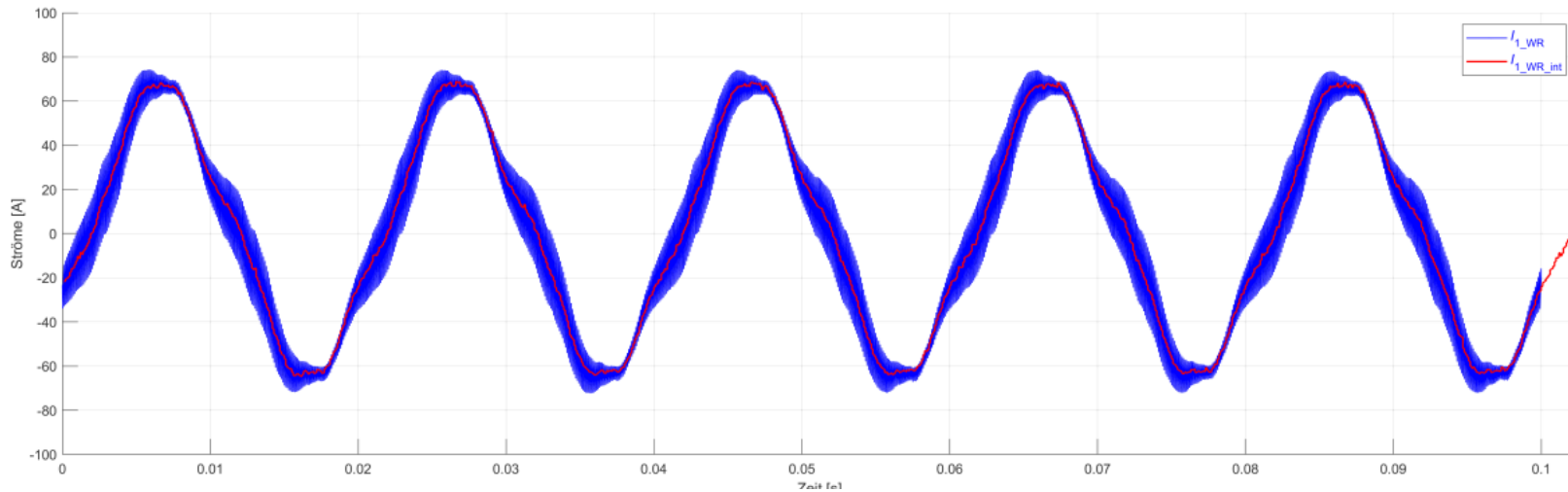


Komplexe Regelstruktur wegen belastbarem PE-Leiter → Raumzeigermodulation nicht möglich!

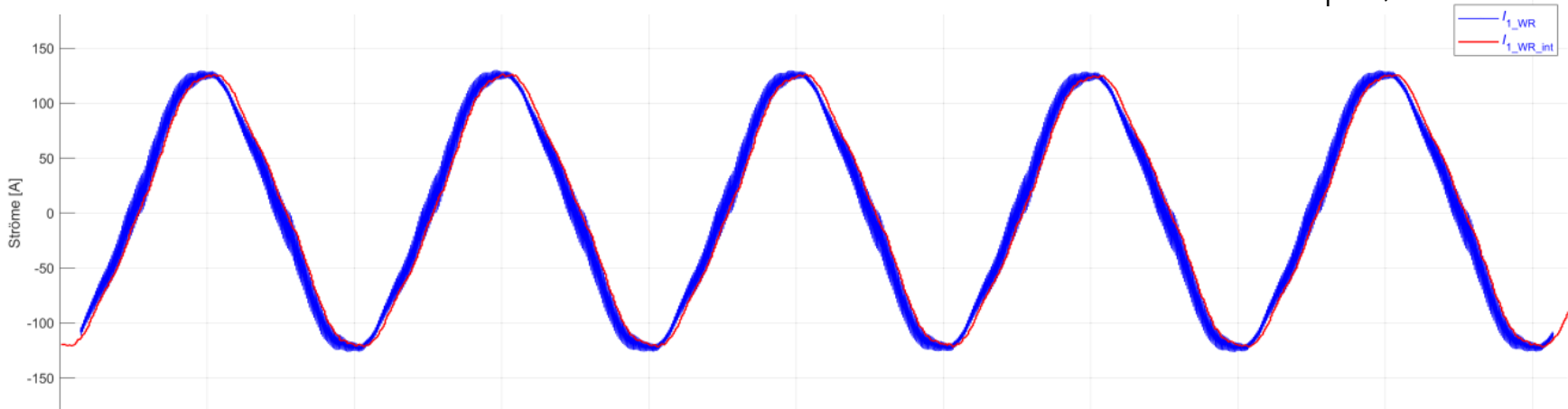
2-Level-Inverter lädt als Stromsenke den Zwischenkreis der Netzkupplung $K_p=5$


3 x Einzelphasenregelung, sinusförmige Sollwerte, nur P-Regler → schrittweise Verringerung der Verstärkung

2-Level-Inverter lädt als Stromsenke den Zwischenkreis der Netzkupplung $K_p=1$

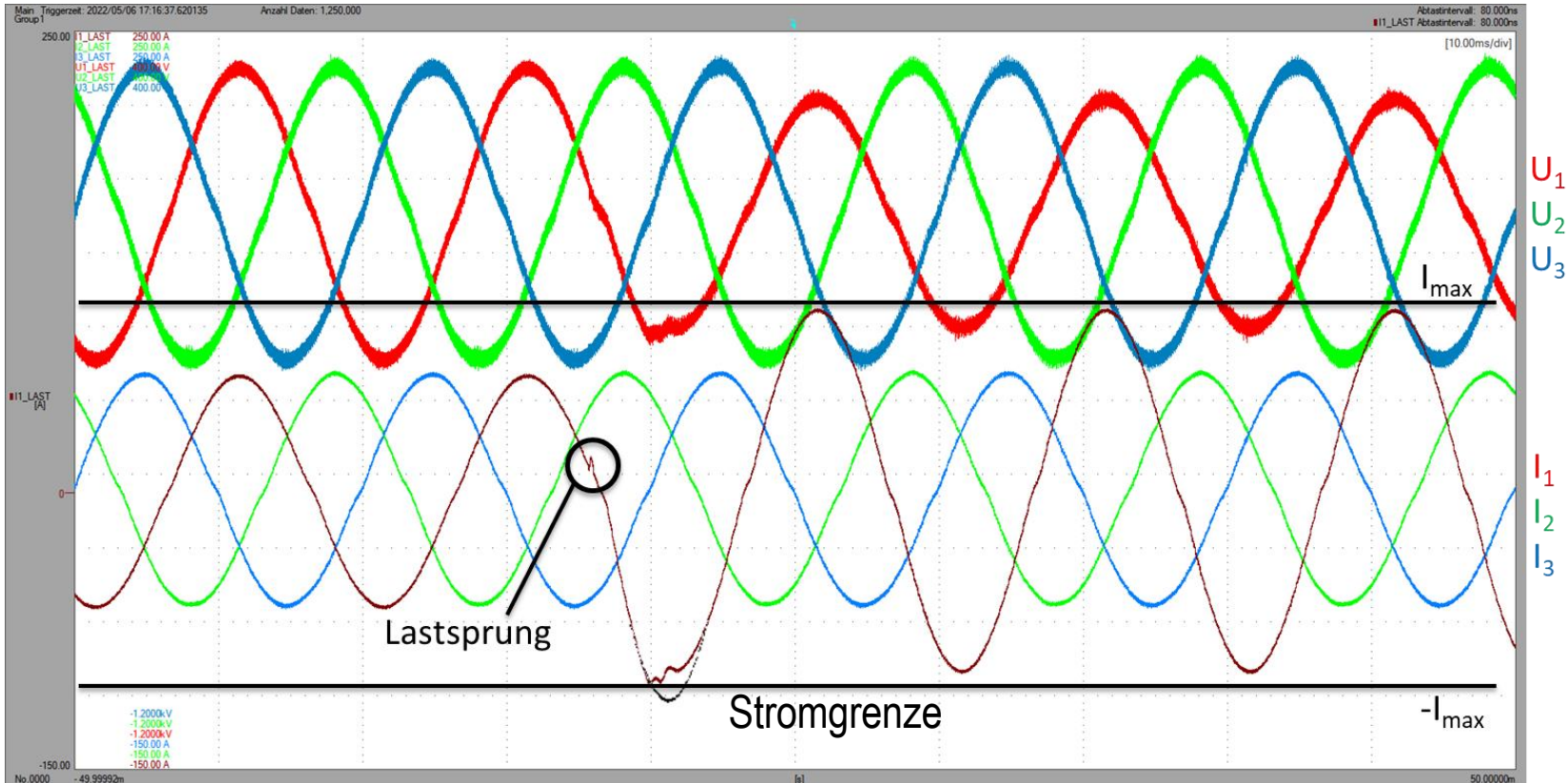


$K_p=0,5$



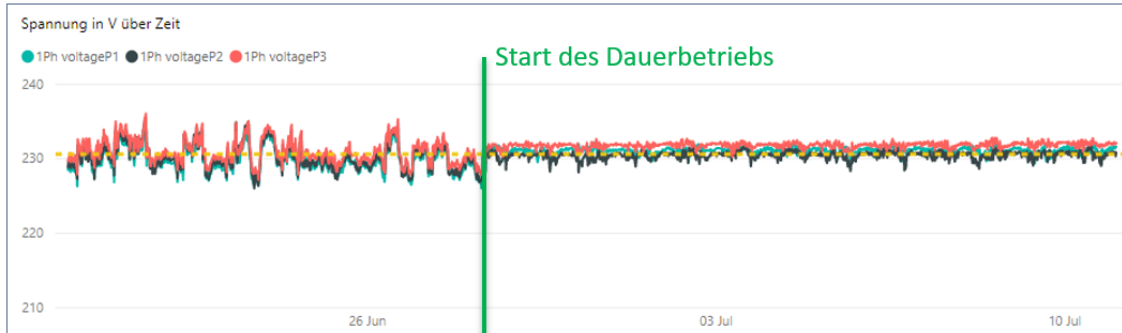
Moderate Reglerauslegung läßt langsames Ausregeln bei Störungen erwarten!

3-Level-Inverter ist Spannungsquelle des Inselnetzes

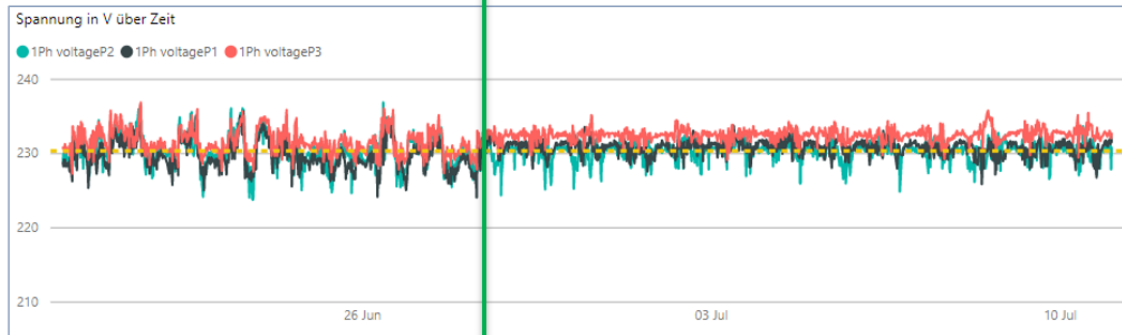


1-phasiger Lastsprung von 46A → 92A kann problemlos ausgeregelt werden!
Die Amplitude der einen Phasenspannung wird an der Stromgrenze reduziert!

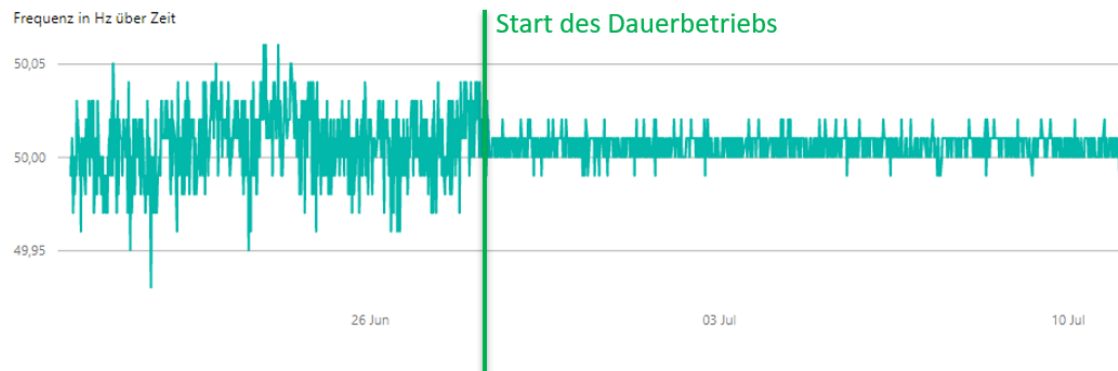
Ergebnis vor und nach der Umschaltung auf die Netzkupplung



a) Sammelschiene Ortsnetzstation



b) Messpunkt Netzausläufer (600 m Kabel/Freileitung)



Aufzeichnungen einer PQ-Box

FAZIT

FAZIT

- Netz in Niederboritzsch wurde ein halbes Jahr von der Netzkupplung gespeist, ohne Stromausfall
- Schnelle Ausregelung von Lastsprüngen
- Frequenz im Inselnetz wurde als Kommunikationskanal genutzt, um Lasten und Einspeiser schalten zu können
- Sicherung unnötig! → Inverter-Regelung an der Stromgrenze ist schneller → Spannungsamplitude
- Auswahl 2-Level oder 3-Level-Inverter für Aufbau einer Spannung im Inselnetz
 - Reduktion des Strom- und Spannungsrippels (3L)
 - geringere Filterverluste (3L)
 - Minderung der EMV-Belastung (3L)
- Filterauslegung: Phasenverschiebung vs. Glättung (3L)
- Die Simulation in PORTUNUS ließ sich uneingeschränkt zur Vorentwicklung der Inverter-Software nutzen!