

R. Singer<sup>1</sup>, R. Denninger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

## Ziele

Übergeordnetes Ziel der Laborvermessung ist die Risikominimierung während der Feldversuche. Daraus ergeben sich folgende Ziele:

1. **Charakterisierung** des im Projekt verwendeten **netzbildenden Wechselrichters**.
2. **Validierung** der verwendeten Simulationsmodelle.
3. **Untersuchung des Verhaltens** während im Feld nicht geplant nachstellbaren **Fehlerfällen**.
4. Untersuchung möglicher **Interaktionen** des netzbildenden Wechselrichters mit anderen Erzeugern bzw. Netzbetriebsmitteln.
5. Nachstellung möglicher **kritischer Szenarien**, welche während der Feldversuche eintreten können.

## Durchgeführte Versuche

### 1. Nachweis der Netzbildenden Eigenschaften

- Spannungsquellenverhalten
- Bereitstellung Trägheit und Dämpfung
- Überlastverhalten (Phasensprünge, Schnelle Frequenzänderungen, Unter-/Überspannungsevents)
- Kleinsignalstabilität (Asymmetrien, Harmonische, Impedanzspektroskopie)

### 2. Parallelbetrieb

- Last und Erzeugungssprünge
- Änderungen der Netzimpedanz
- Frequenzänderung
- Unter- und Überspannungsevents

### 3. Teilnetzbildung

- Unterschiedliche Lastflüsse am Netzanschlusspunkt und in der Insel
- Nachstellung realistischer System-Split-Szenarien
- Hohe Kabelkapazitäten im Inselnetz
- Kleinsignalstabilität im Inselnetz (Last-/Einspeisungsänderungen, ...)

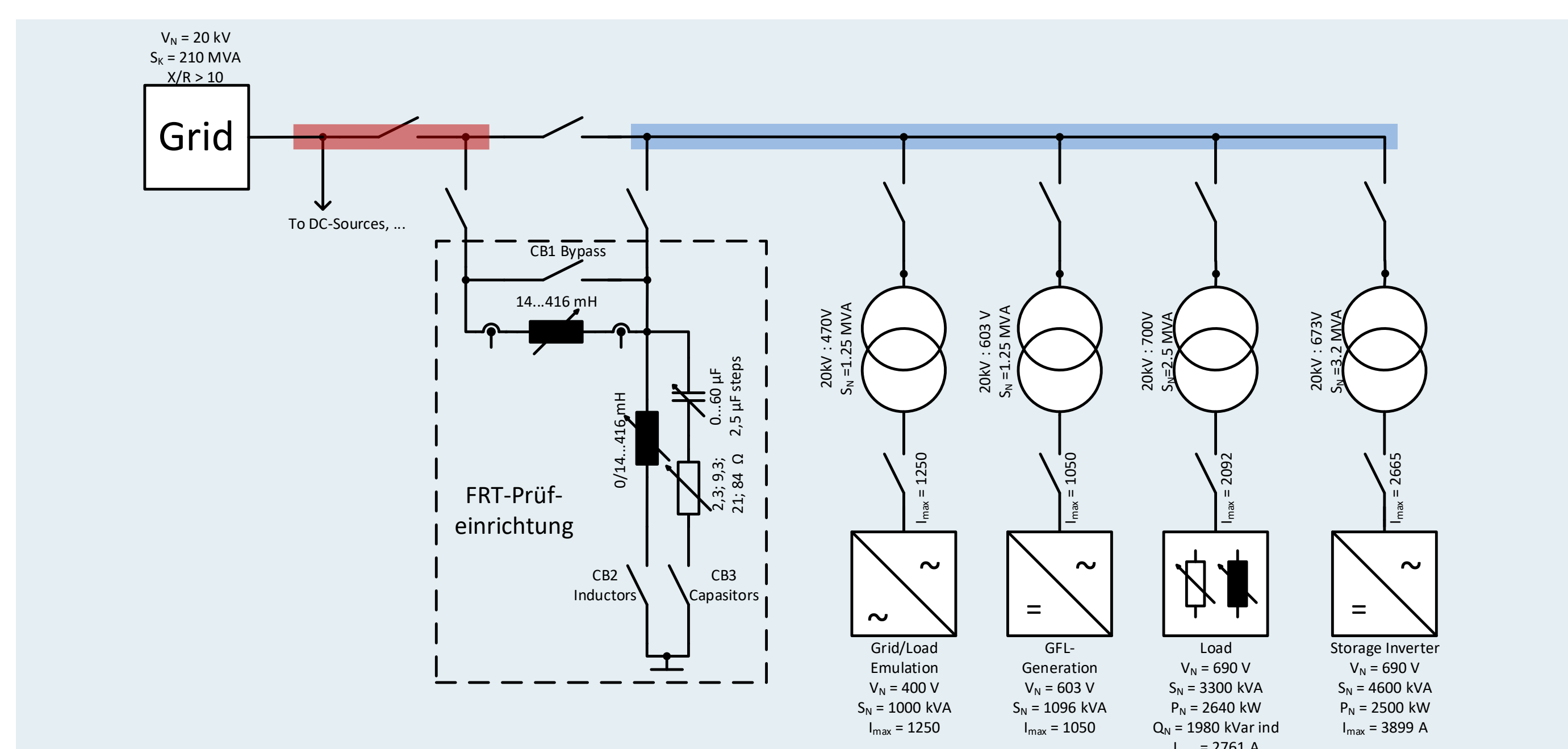
## Messaufbau

### Geräte

- **SMA-Wechselrichter (netzbildend) + Speicher:**  
 $S_{N,WR} = 4,6 \text{ MVA}$ ,  $P_{N,Bat} = 2,5 \text{ MW}$
- **Netz/Last Emulator:**  $S_N = 1 \text{ MVA}$   
 Netzemulation, Symmetrische / Asymmetrische Impedanz Emulation
- **PV-Wechselrichter (netzfolgend):**  $S_N = 1,096 \text{ MVA}$   
 MPP-Tracking,  $P(f)$ ,  $Q(U)$ ,  $\cos(\phi)$
- **Lastbank:**  $S_N = 3,3 \text{ MVA}$ ,  $P_N = 2,64 \text{ MVA}$ ,  $Q_N = 1,98 \text{ kVar (ind.)}$

### Anlagen

- **FRT-Anlage:**
  - Netzimpedanzänderung, Unter- und Überspannungseignisse



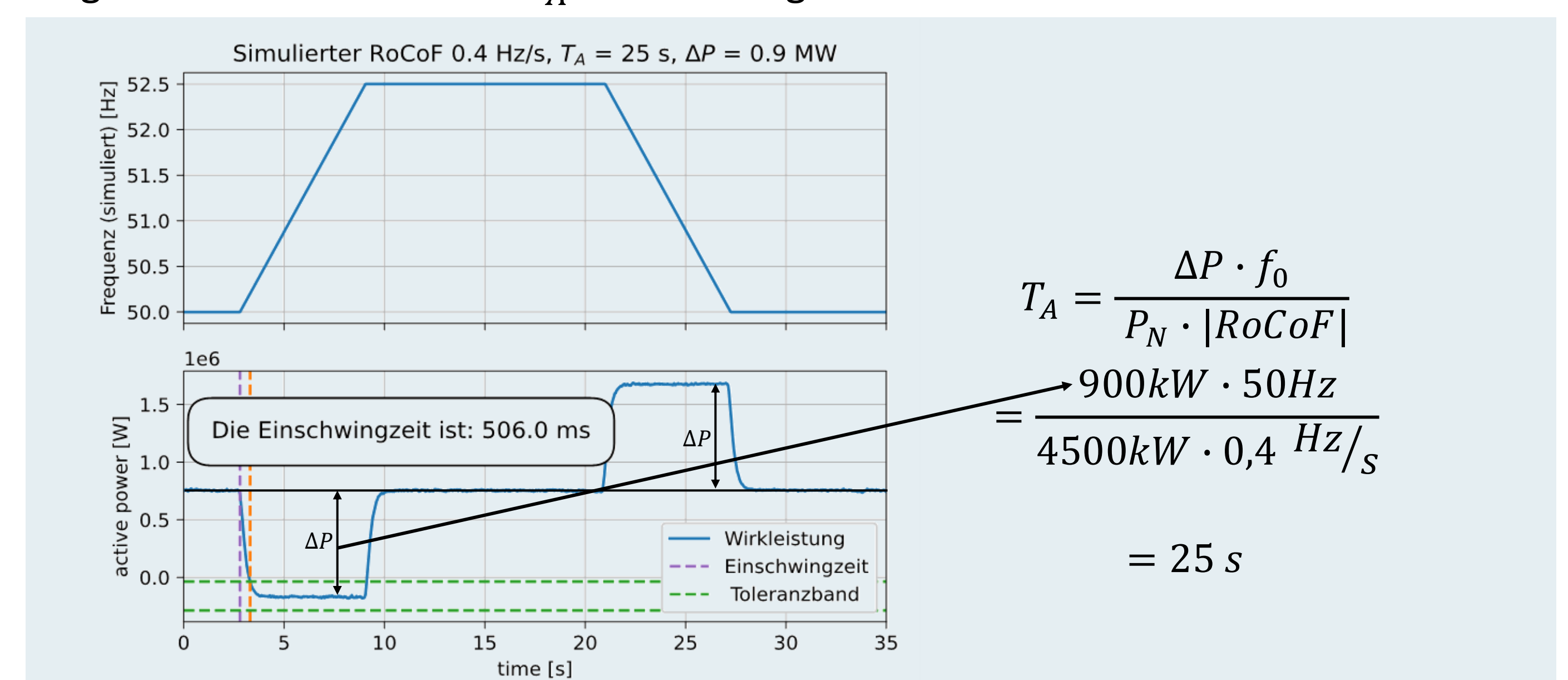
## Exemplarische Ergebnisse

### Nachweis Momentanreserve Bereitstellung

Eine der grundlegenden Eigenschaften netzbildender Stromrichter ist die Möglichkeit zur Bereitstellung von Momentanreserve.

Zum Nachweis der Trägheitskonstante  $T_A$  wurde der Wechselrichter mit einem simulierten Frequenzgradienten (Rate of Change of Frequency, RoCoF) beaufschlagt. Mit der folgenden Formel kann, durch Messung der resultierenden Leistungsänderung, die Trägheitskonstante bestimmt werden.

Im Bild unten sind exemplarisch die Ergebnisse der Messung mit einem simulierten RoCoF von  $0,4 \text{ Hz/s}$  für eine Dauer von  $\Delta T = 6,25 \text{ s}$ , also bis zu einer maximalen Frequenzabweichung von  $\Delta f = 2,5 \text{ Hz}$  und wieder zurück dargestellt. Der Arbeitspunkt des netzbildenden Umrichters war auf  $P = 750 \text{ kW}$  eingestellt. Die Trägheitskonstante war auf  $T_A = 25 \text{ s}$  eingestellt.

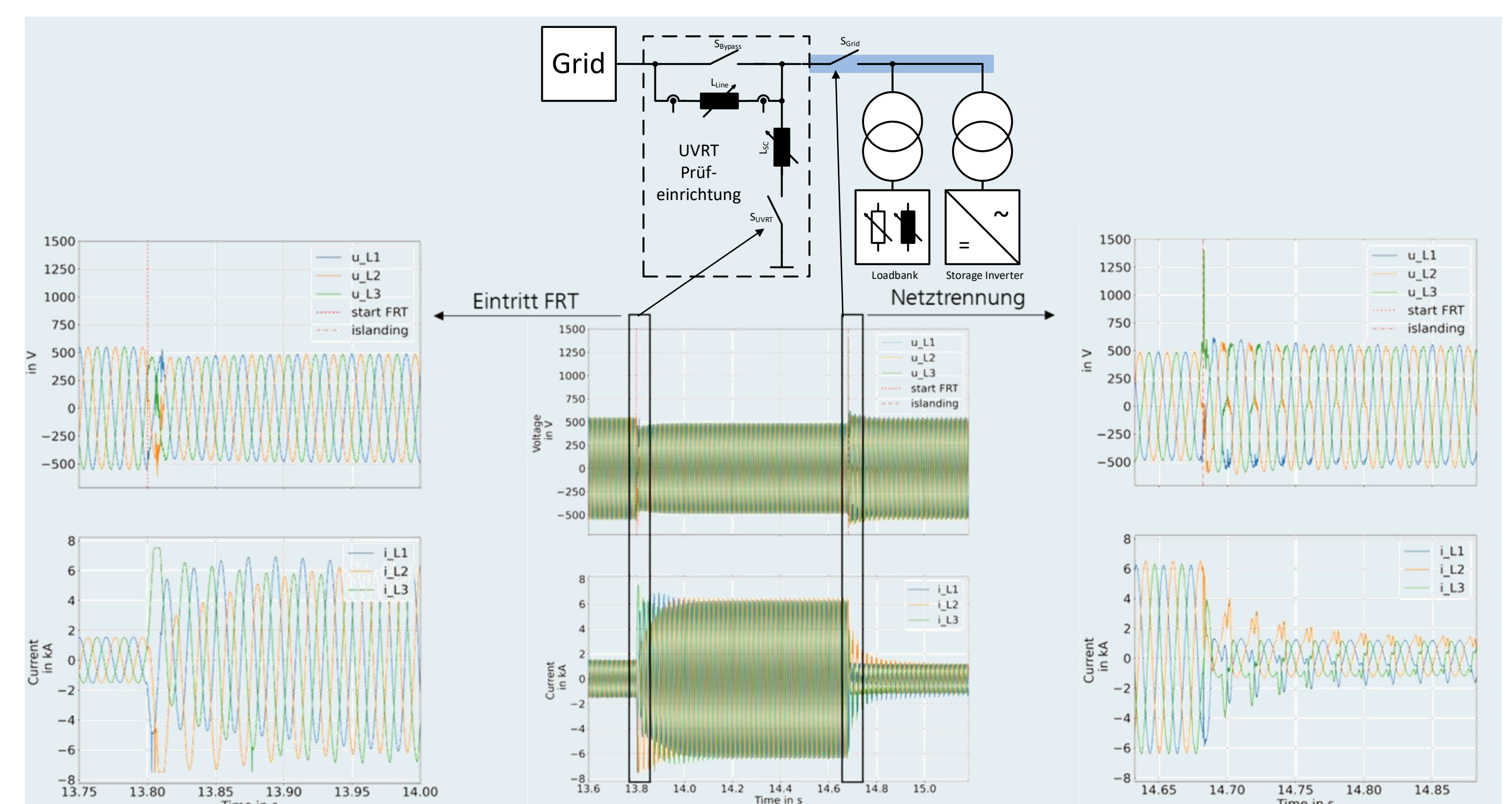


### Nachweis des Spannungsquellenverhaltens während Strombegrenzung

Das Spannungsquellen Verhalten ist das grundlegende Verhalten netzbildender Stromrichter. Dieses muss auch während kritischen Netzzuständen, welche zu einer Begrenzung des Stromes führen aufrecht erhalten bleiben.

Zum Nachweis wurde der Umrichter gemeinsam mit einer parallelen Last am Netz betrieben und durch einen Spannungseinbruch in den Zustand der Strombegrenzung gebracht. Der Zustand wird aber nicht wie üblich durch die Wiederkehr der Spannung geklärt, sondern durch die Trennung der Last und des Prüflings vom Netz. Anschließend muss der Prüfling die Spannung in der entstandenen Netzinsel wieder herstellen und damit die Last versorgen.

Im Bild unten sind Ergebnisse dieses Tests dargestellt. Der Prüfling wurde mit einer Leistung von  $P_{ist} = 1250 \text{ kW}$  am Netz betreiben mit einer parallelen Last von  $P_{last} = 1000 \text{ kW}$ . Anschließend wurde ein Spannungseinbruch auf 50% Restspannung initiiert und durch Öffnung des Schalters  $S_{Grid}$  geklärt. Im Bild ist zu erkennen dass der Prüfling die Spannung und somit die Netzinsel stabilisiert.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages