
FRAUNHOFER IEE – SYSTEC

TESTZENTRUM FÜR INTELLIGENTE NETZE UND E-MOBILITÄT

Abschlussworkshop zum Projekt ZuPrüVal, 22.04.2021

Nils Schäfer, Dr. Gunter Arnold, Fraunhofer IEE, Kassel



INHALT

- Film → „[Stromnetze – Stabile und sichere Stromnetze mit Erneuerbaren Energien](#)“
- Überblick zum Testzentrum „SysTec“
- Außenbereich mit PV-Anlagen, Windturbine und Hybridsystem-Testfeld
- Prüflabor Netzintegration (PNI)
 - Leitwarte, RLC-Lasten, PV-Simulatoren / DC-Quellen
 - verschiedene Netzsimulatoren
 - UVRT- und OVRT-Testcontainer
- TPE-Laborbereich
 - ScienLab (Virtuelle Batterie)
 - HiL-Umgebung (Echtzeitrechnersystem und Hochleistungs-AC-Quelle)
 - Triphase (konfigurierbare Stromrichter)

Fraunhofer IEE – SysTec Hauptgebäude



Fraunhofer IEE – SysTec, Hauptgebäude

Quelle: Fraunhofer IEE

Fraunhofer IEE – SysTec

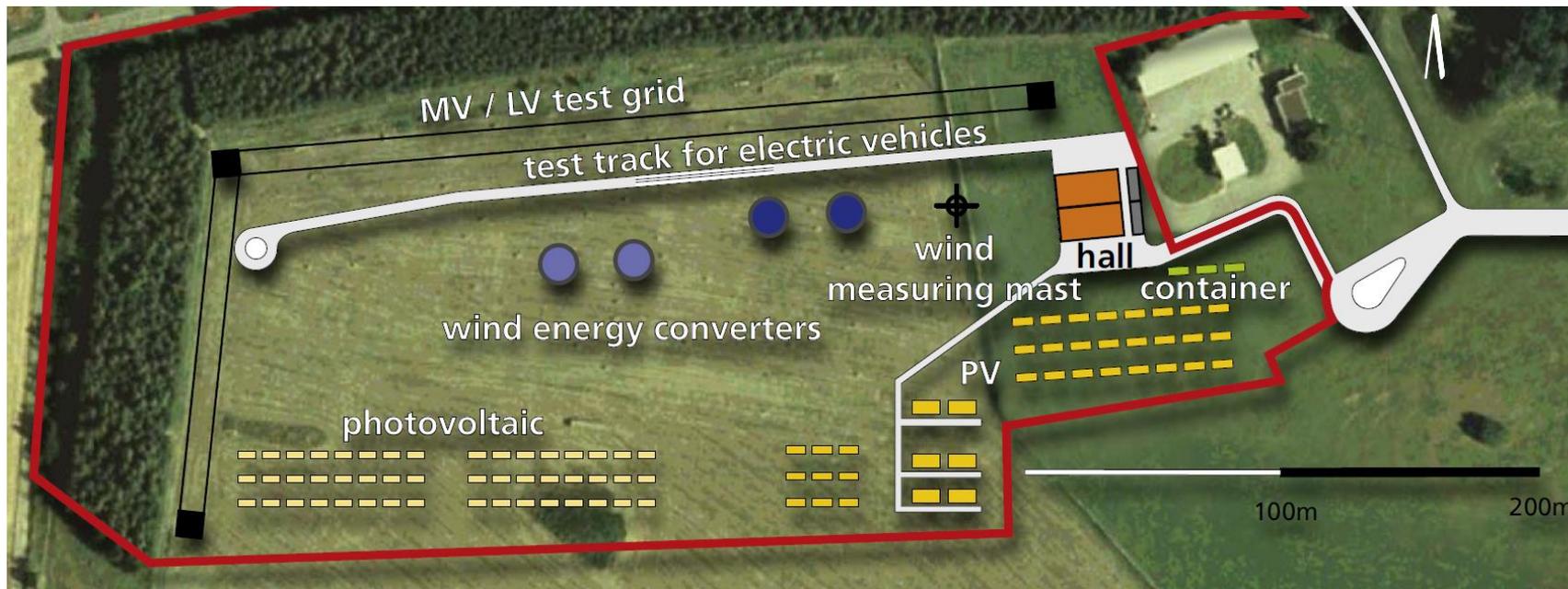
Luftansicht (mit benachbarter PV-Anlage)



Fraunhofer IEE – SysTec

Außenanlagen

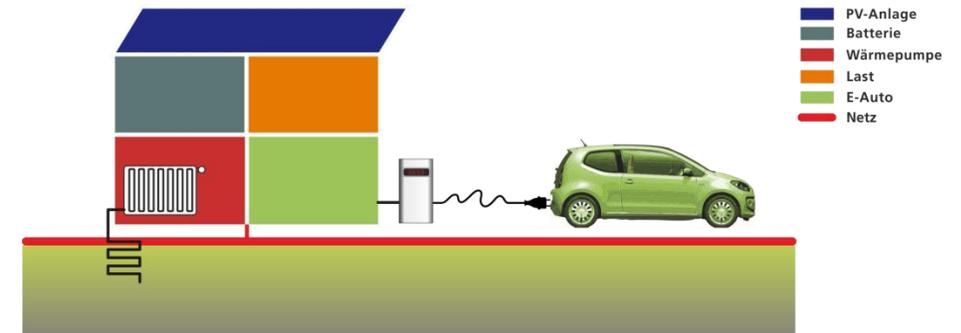
- Testfeld für photovoltaische Systeme
- Hybrid-Testfeld mit Diesel-Generator, Lasten etc.
- konfigurierbares Testnetz (MS, NS)
- Windenergieanlage (bislang 1 Anlage)
- Ladeinfrastruktur für E-Mobilität, Teststrecke
- BHKW-Prüfplatz



Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

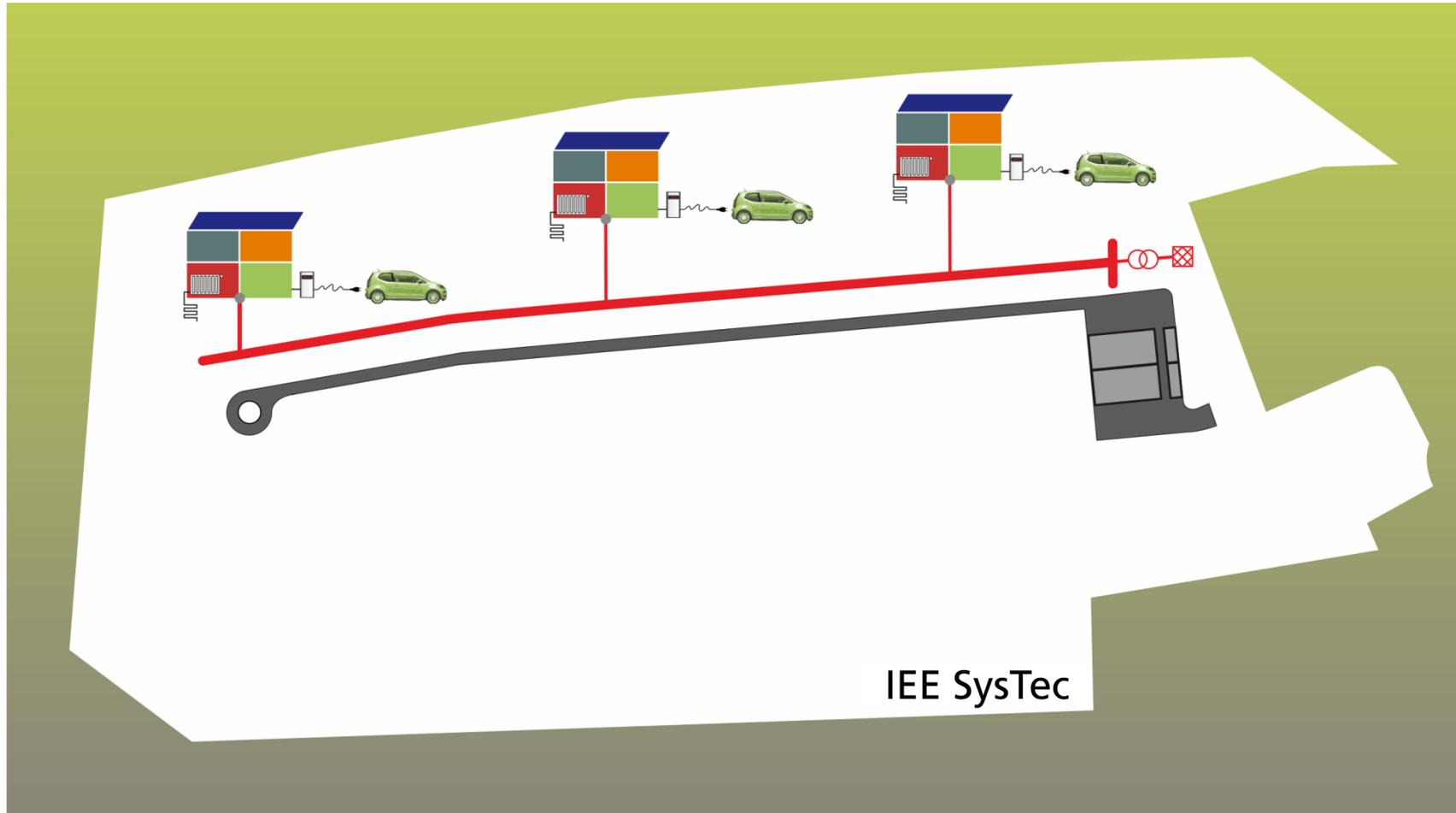
Testen der Integration in Haushalte (Smart Home)

- Haushaltsnachbildungen (Muster- / Testhäuser)
 - 3 kleine Gebäude mit dachintegrierter PV
 - elektrischer Speicher, Wärmepumpe, verschiedene Haushaltslasten, Ladesäule für Elektrofahrzeuge
 - Energiemanagementsystem
 - 1 flexibler Test-Container
- Messtechnik
- konfigurierbare NS-Netztopologie mit verschiedenen Kabelquerschnitten



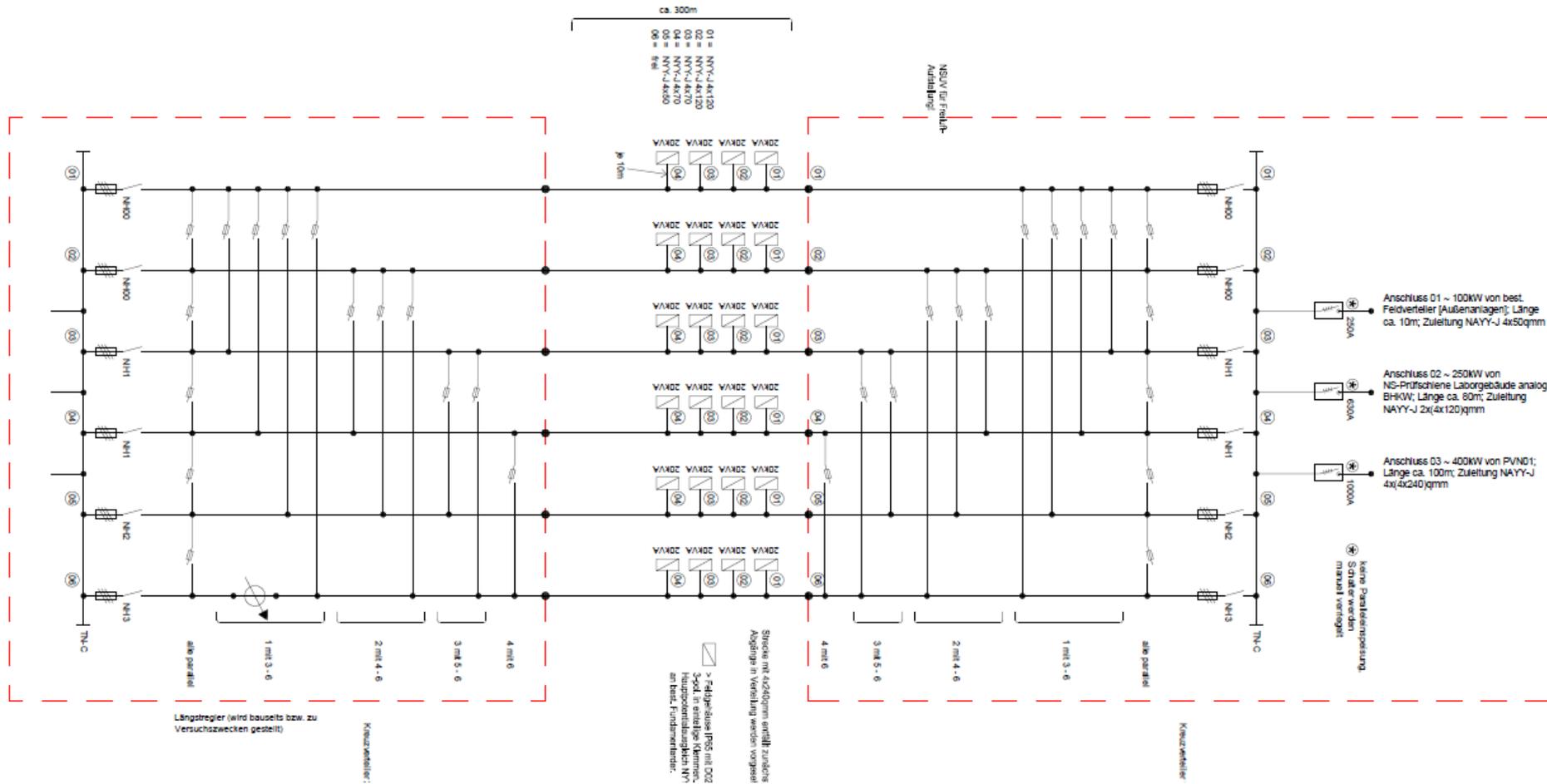
Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

Testen des Betriebes intelligenter Niederspannungsnetze



Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

Konfigurierbares Niederspannungs-Testnetz (Ausschnitt)



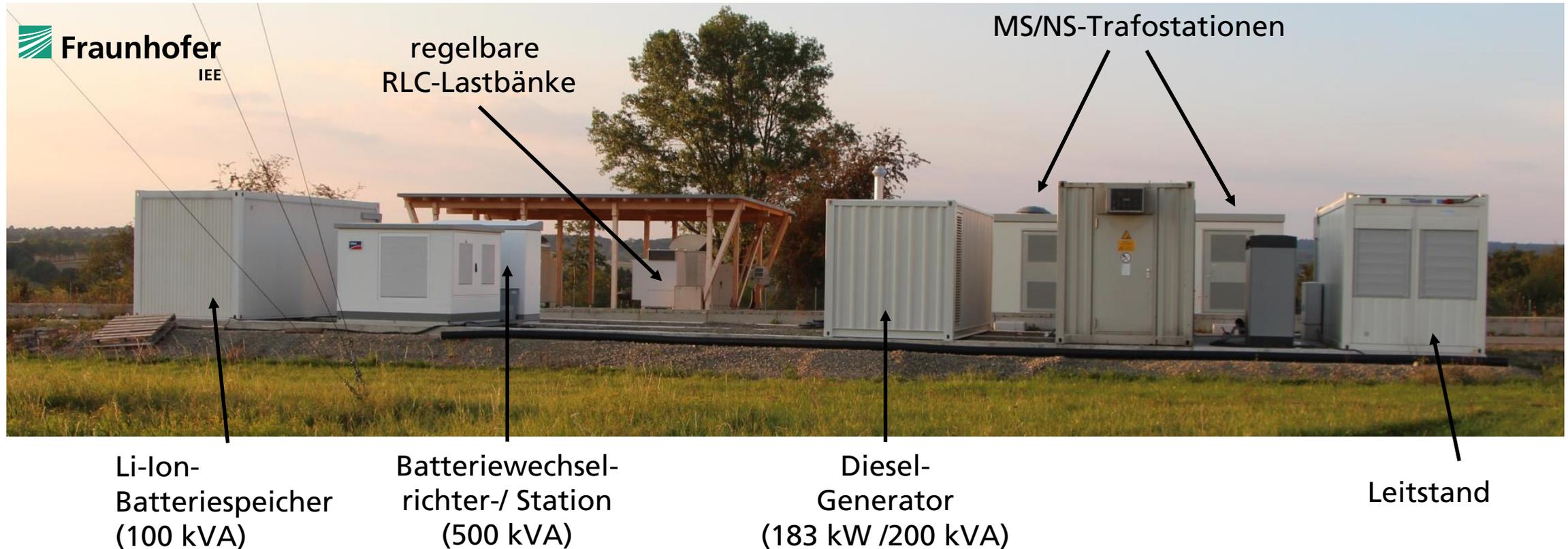
Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

Mittelspannungs-Testnetz und Hybridsystem-Testfeld



Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

Mittelspannungs-Testnetz und Hybridsystem-Testfeld

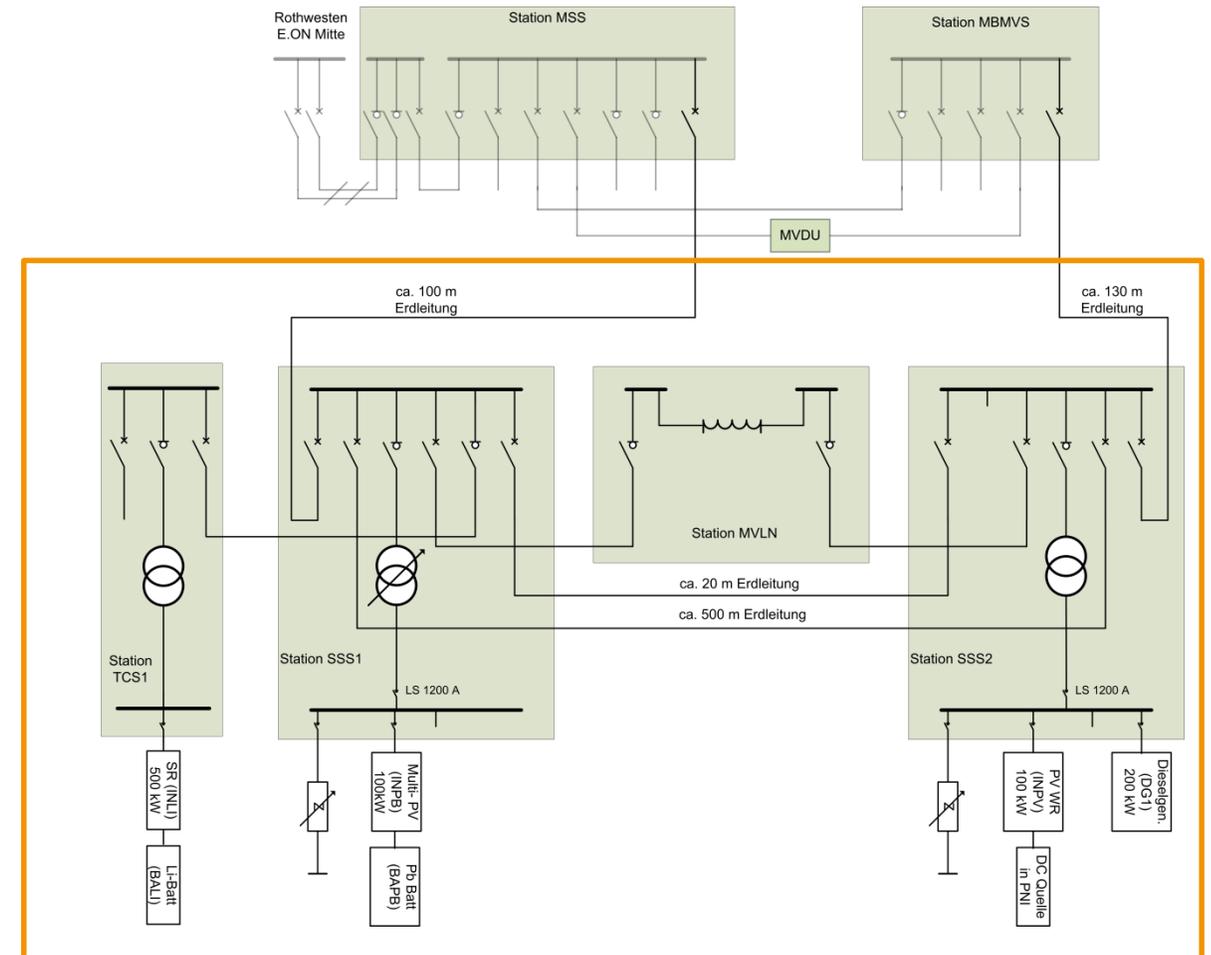


Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

Mittelspannungs-Testnetz (20 kV)

Ausstattung:

- Betrieb im Inselnetz oder Verbundbetrieb
- Zwei Haupt-Trafostationen
 - Kopplung mit unterschiedl. Leitungen
 - physikalische Leitungsemulation zur Nachbildung unterschiedlicher Erdkabel/Freileitungen (bis zu 20 km)
- Steuerbare RLC-Lasten, Dieselaggregat, PV-Wechselrichter, Li-Ion-Speichersystem
- Platz für zusätzliche Kundensysteme
- Verbindung zum akkreditierten Laborbereich (Prüfung von Netzanschlussbedingungen) möglich



Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme

Anwendungsfall: MicroGrid Controller Assessment

- Validierung und Leistungsfähigkeit von MicroGrid-Controller-Anwendungen

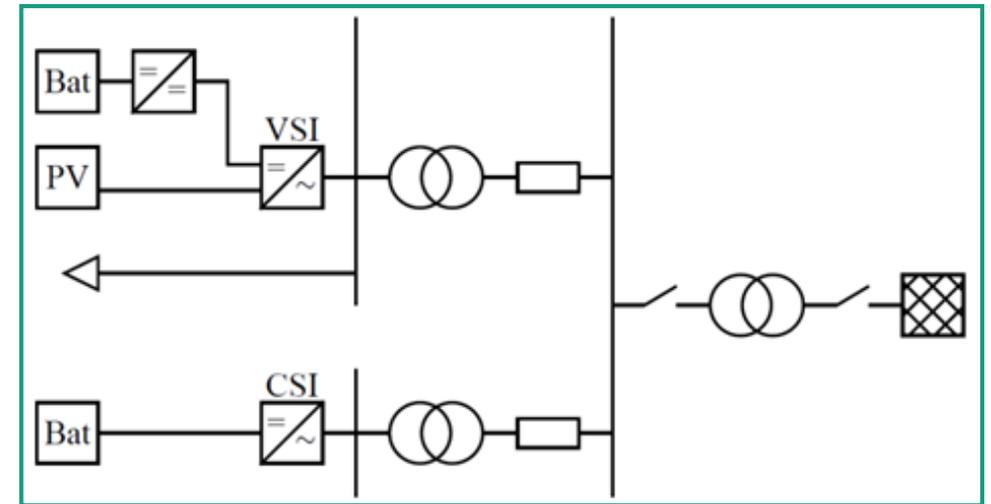


Testfeld für photovoltaische und hybride Systeme ehem. Projekt „Netz:Kraft“ – MicroGrid-Regelung



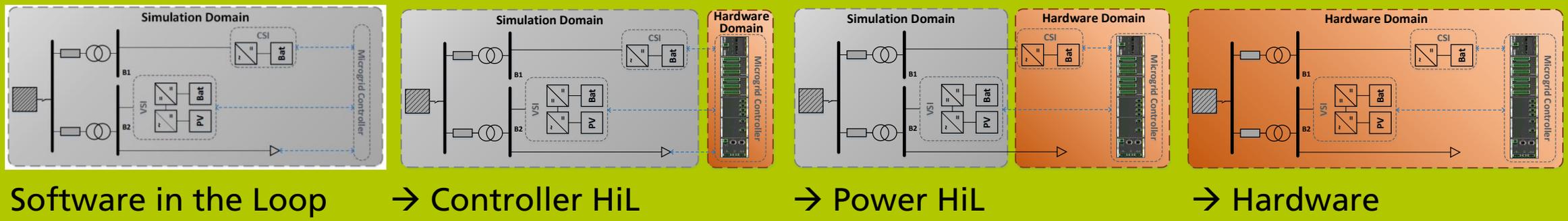
- Demonstration einer MicroGrid-Regelung
 - Zwei NS-Netze gekoppelt über MS-Sammelschiene
 - Multifunktionaler PV-Batterie-Wechselrichter mit Regelung von Netzspannung und Frequenz (netzbildend, VSI)
 - Regelbare RLC-Lastbank
 - Konventioneller Batterie-Wechselrichter (netzstützend, CSI)

Single-Line-Diagramm des Labornetzes



Entwicklungspfad

Source: M. Nuschke, 2017



Prüflabor Netzintegration (PNI) Überblick

Vermessung der statischen und dynamischen Eigenschaften der Netzschnittstelle von Erzeugungseinheiten und -anlagen

- Niederspannung bis zu 1,25 MVA
- Mittelspannung bis 6 MVA



Prüflabor Netzintegration (PNI)

Anwendung: Netzanschlussrichtlinien

- Statische Anforderungen (eingeschwungener Zustand)
 - Begrenzung von Netzqualitätsparametern (Oberschwingungen, Zwischenharmonische, höherfrequente Anteile, Flicker, Schaltvorgänge)
 - Wirkleistungsregelung (Leistungsreduzierung / -steigerung)
 - Blindleistungsregelung
 - Schutzeinstellungen ($U \ll$, $U <$, $U >$, $f <$, $f >$)
- Dynamische Anforderungen (transient)
 - FRT- / Fault-Ride-Through-Fähigkeit bei Netzfehlern (UVRT, OVRT)
 - Einspeisung eines Blindstromes während des Fehlers
 - Rückkehr zur Vorfehler-Leistungseinspeisung nach dem Fehler

		November 2018
	VDE-AR-N 4110	VDE
	<small>Dies ist eine VDE-Anwendungsregel im Sinne von VDE 0022 unter gleichzeitiger Einhaltung des in der VDE-AR-N 100 (VDE-AR-N 4000) beschriebenen Verfahrens. Sie ist nach der Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etw. Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.</small>	FNN
Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.		
ICS 29.240.01		
Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)		
<small>Technical requirements for the connection and operation of customer installations to the medium voltage network (TAR medium voltage)</small>		
<small>Exigences techniques pour la connexion et l'opération des installations des clients au réseau à moyenne tension (TAR moyenne tension)</small>		
Gesamtumfang 257 Seiten		
VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.		

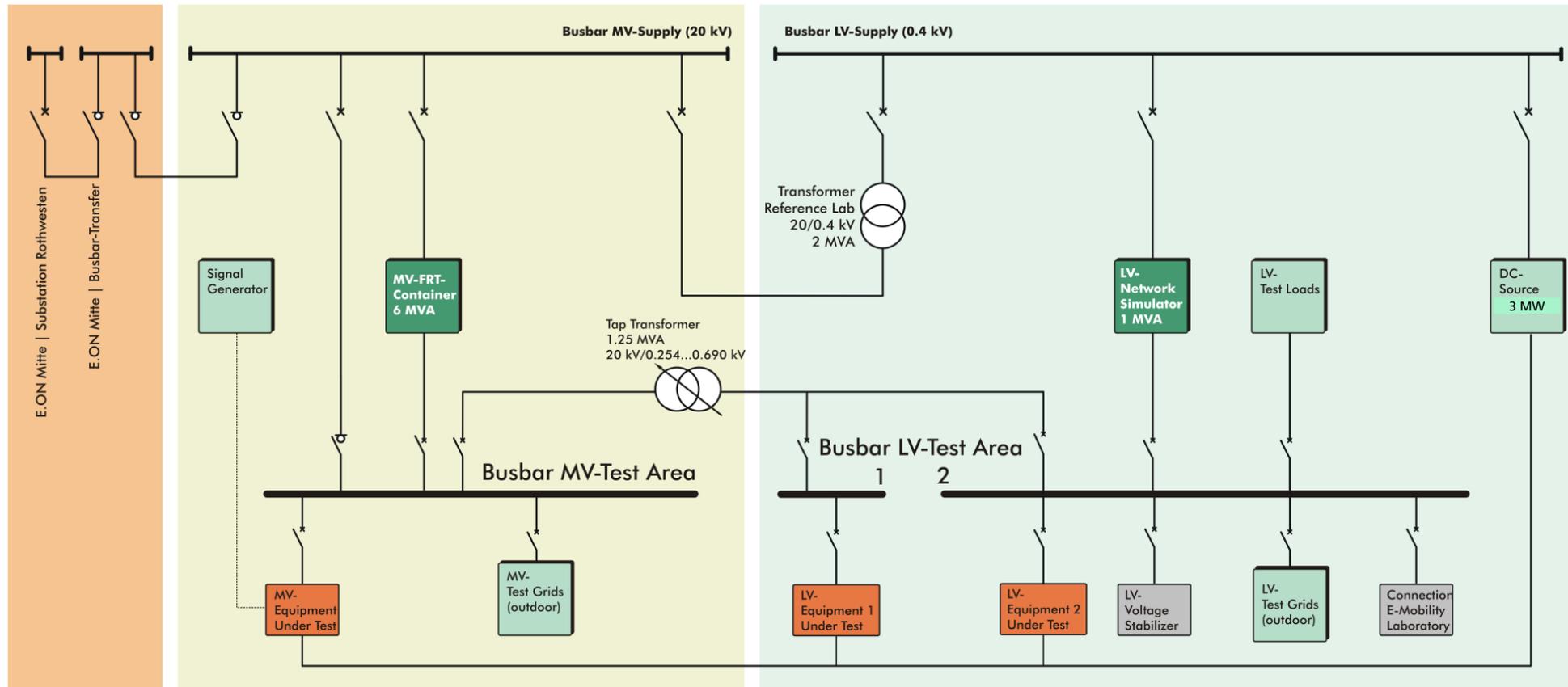
Beispiel: VDE-AR-N 4110: 2018-11

Quelle: VDE FNN

Prüflabor Netzintegration (PNI)

Elektrischer Aufbau

- Entwicklungs- und Testlabor für quasistationäre und dynamische Tests der Netzchnittstelle von Erzeugungseinheiten und -anlagen (Nieder- und Mittelspannung)



Prüflabor Netzintegration (PNI) Leitwarte

- Fernsteuerung der Leistungsschalter der Niederspannungs-Prüfschiene
- Überwachung der Mittelspannung
- Parametrierung und Steuerung von:
 - PV-Simulatoren / DC-Quellen
 - Netzsimulatoren
 - RLC-Prüflasten
 - UVRT-Container, OVRT-Container
- Messdatenerfassung



Film-Ausschnitt → „PNI / Leitwarte“

Prüflabor Netzintegration (PNI)

RLC-Prüflasten

- Einstellbare Prüflasten
 - 1 ... 600 kW ohmsche Last
 - 1 ... 600 kvar induktive Last
 - 1 ... 600 kvar kapazitive Last
- Prüfung unter unsymmetrischen Bedingungen
 - ohmsche Last phasenweise einstellbar



Prüflasten

Prüflabor Netzintegration (PNI)

DC-Quellen zur Versorgung von Prüflingen

- DC-Versorgung für Prüflinge (EUT)
 - PV-Wechselrichter
 - Batterien
 - Brennstoffzellen
- Steuerbare DC-Quelle
 - Magna Power Electronics MT Series V
 - Modularer Aufbau
 - 5 Einheiten à 150 kW (1000V @ 750A)
 - 9 Einheiten à 250 kW (1000V @ 250A)
 - Gesamtkapazität 1000V @ 3000 A
- Variable Parallel- und Reihenschaltung möglich (bis zu 2 kV)



Prüflabor Netzintegration (PNI)

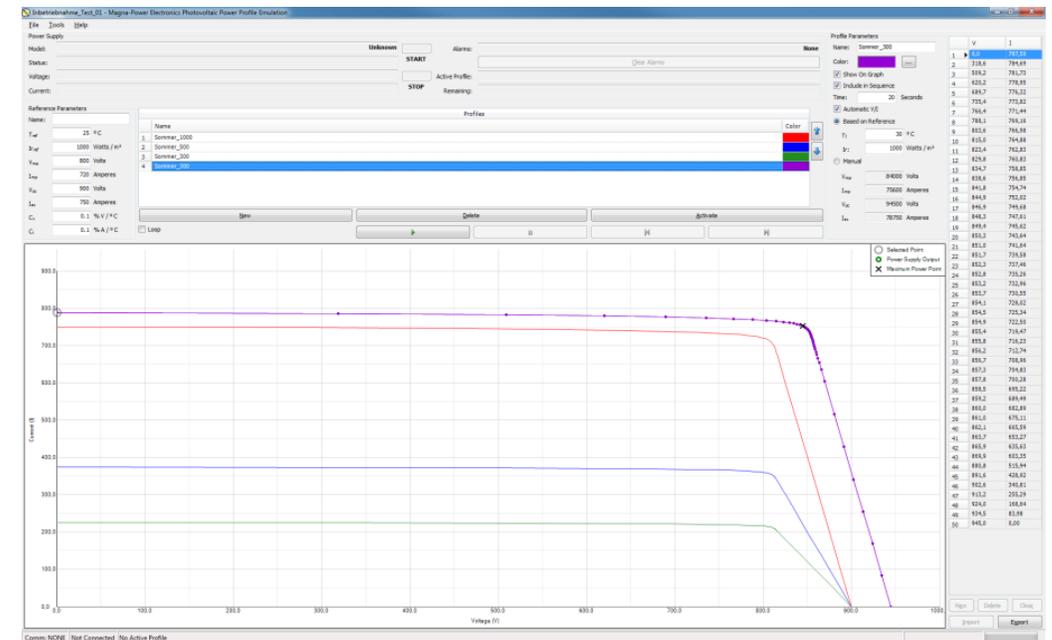
DC-Quellen zur Versorgung von Prüflingen

- Definition benutzerdefinierter I-U-Kennlinien
 - Speicherung von bis zu 50 Werten der Kennlinie

■ Hohe Genauigkeit

- Leitungsregelung
 - Spannungsmodus: $\pm 0,004\%$ vom Skalenendwert
 - Strommodus: $\pm 0,02\%$ vom Skalenendwert
- Lastregelung
 - Spannungsmodus: $\pm 0,01\%$ des Skalenendwerts
 - Strommodus: $\pm 0,04\%$ des Skalenendwerts

- Sehr schnelle Einstellung der gewünschten Sollwerte (High Slew Rate Option)
 - 6 ms für Änderung der Ausgangsspannung von 0 bis 63%
 - 12 ms für Änderung des Ausgangsstromes von 0 bis 63%



Prüflabor Netzintegration (PNI)

AC-Netzsimulatoren

- Bidirektionale AC-Versorgung, 1 MVA (Gustav Klein)
 - 100 – 900 V @ 650 A
 - 100 – 450 V @ 1300 A
 - Frequenzbereich 45 – 65 Hz
 - nur symmetrisch / dreiphasig einstellbar
- Netzsimulator, Leistung 270 kVA (Ametek)
 - 3 dreiphasige Systeme à 90 kVA
 - flexibel einstellbar, dynamisch (für FRT geeignet)
- Netzsimulator (Spitzenberger + Spies)
 - Leistungsbereich ≤ 30 kVA, mit Rückspeiseeinheit ≤ 90 kVA
 - Impedanznetzwerk mit u.a. Flicker-Normimpedanz
 - flexibel einstellbar, dynamisch (für FRT geeignet)

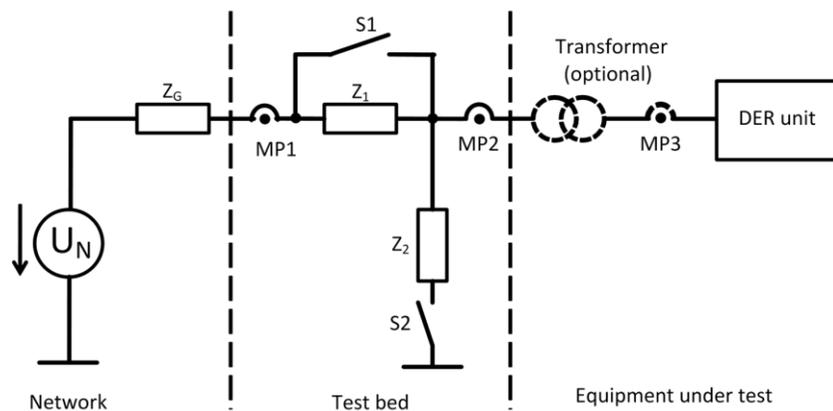


AC-Versorgung, 1 MVA (2 Einheiten à 500 kVA)

Prüflabor Netzintegration (PNI)

Mobile Under-Voltage-Ride-Through-Prüfeinrichtung (UVRT-Prüfcontainer)

- Kennzahlen des mobilen Testsystems (40-Fuß-Seecontainer)
 - Leistungsbereich: 0,25 MVA bis 6 MVA
 - Spannungsebenen: 10 kV, 20 kV
 - Frequenz: 50 Hz
 - Kurzschlussleistungsbereich: 80 MVA bis 350 MVA
 - Umgebungstemperatur: -25 bis +60 °C
 - Betriebstemperatur: 0 bis +50 °C



Film-Ausschnitt → „Reaktanzen-Raum“

Prüflabor Netzintegration (PNI)

Mobile Over-Voltage-Ride-Through- Prüfeinrichtung (OVRT-Prüfcontainer)

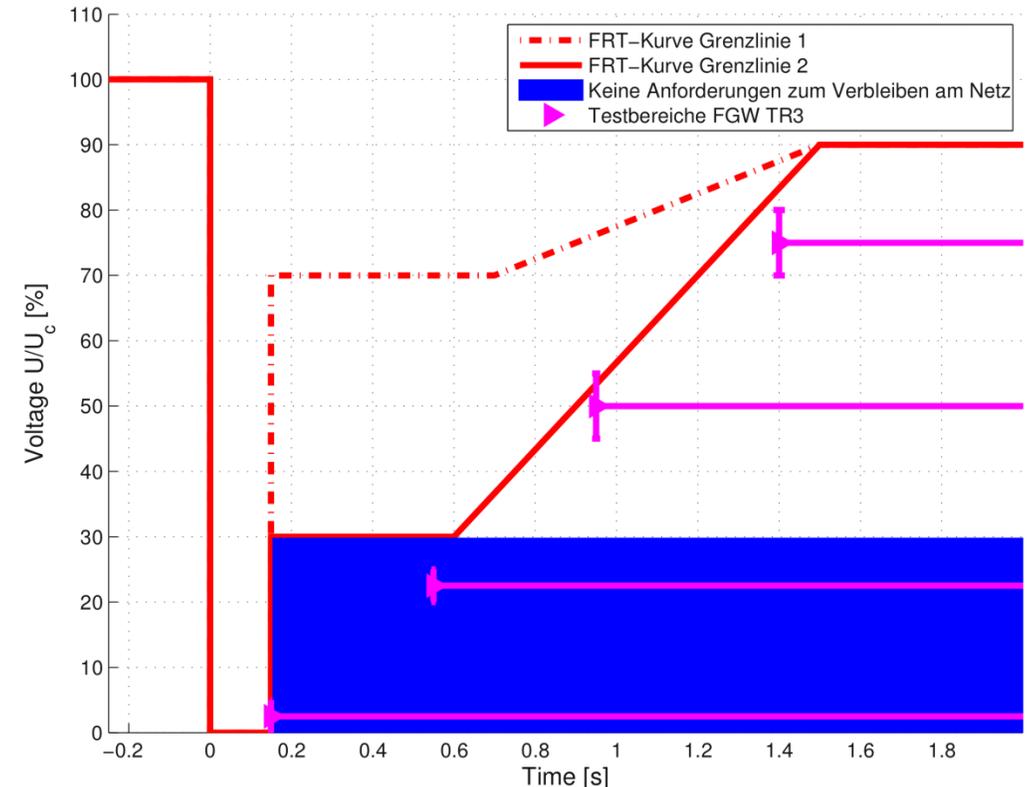
- Kennzahlen des mobilen Testsystems (40-Fuß-Seecontainer)
 - Leistungsbereich: 0,25 MVA bis 6 MVA
 - Spannungsebenen: 10 kV, 20 kV
 - Frequenz: 50 Hz
 - Kurzschlussleistungsbereich: 80 MVA bis 350 MVA
 - Umgebungstemperatur: -25 bis +60 °C
 - Betriebstemperatur: 0 bis +50 °C
- Erzeugung von Überspannungen von bis zu 1,4 p.u.



Prüflabor Netzintegration (PNI)

Anwendung: Test des FRT-Verhaltens (Beispiel UVRT)

- Diagramm für Typ-2-EZE
- erforderliches Verhalten der Erzeugungseinheit hängt hauptsächlich von zwei Kriterien ab:
 - Spannungseinbruchstiefe
 - Fehlerdauer
- erforderliches Verhalten:
 - Erzeugungsanlage bleibt am Netz, oder kurzzeitige Abschaltung (< 2 s)
 - Definierte Einspeisung eines Blindstroms (nach spezifischer Kennlinie)
 - Schnelle Rückkehr zu Vorfehlerwerten von Wirk- und Blindleistung nach Fehlerende



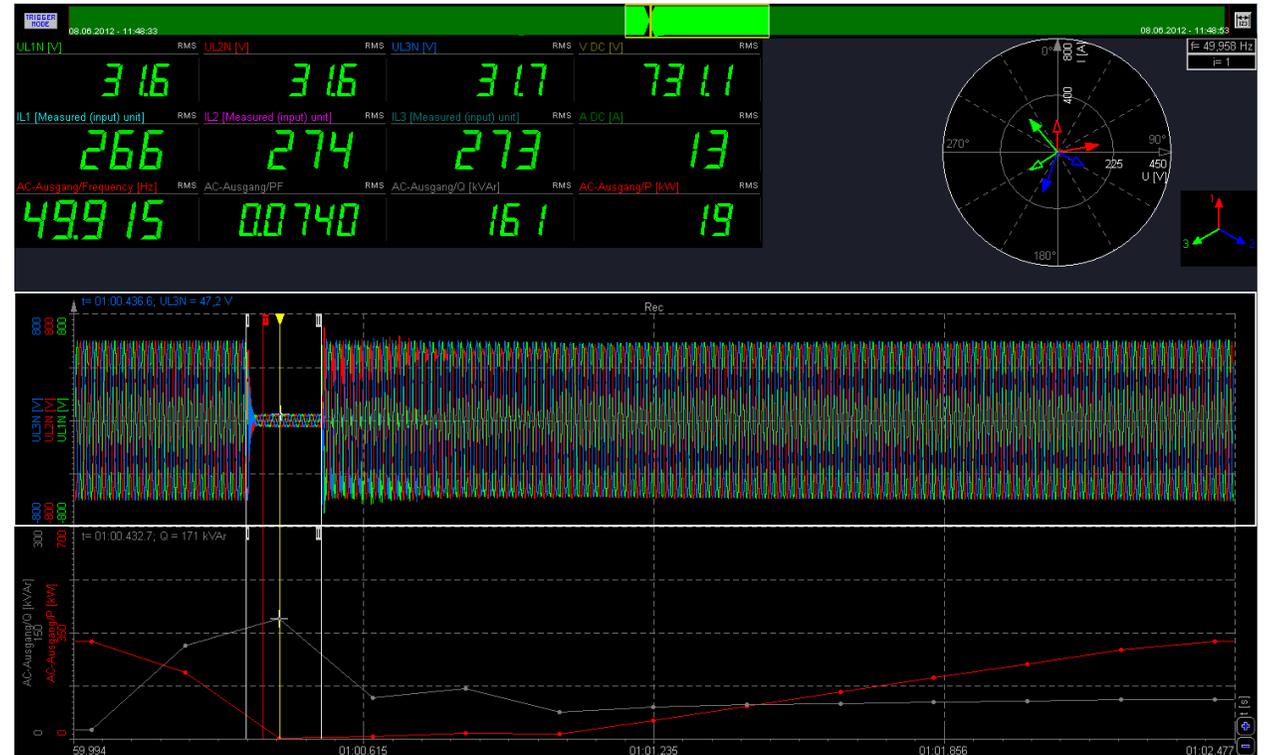
UVRT-Grenzkennlinie und Prüfbereiche nach deutscher MS-Richtlinie / FGW-TR3

Quelle: Fraunhofer IEE, eigene Darstellung nach MS-Richtlinie / FGW TR3

Prüflabor Netzintegration (PNI)

Anwendung: Test des FRT-Verhaltens (Beispiel UVRT)

- Prüfung der UVRT-Fähigkeit ist große Herausforderung während des Zertifizierungsprozesses
- Hoher Aufwand für Prüfmittel (Fehlererzeugung auf MS-Ebene)
- Notwendigkeit der nachträglichen Verarbeitung der Messdaten zur Auswertung aller geforderten Parameter
- Bei kleinen Generatoren ist Fehlererzeugung auf NS-Ebene zulässig



Messaufzeichnung aus Test eines PV-Wechselrichters (> 300 kW)

Quelle: Fraunhofer IEE, eigene Messung, Projekt „Erprobung Neuer Netze“

Prüflabor Netzintegration (PNI)

Anwendung: Regelbare Ortsnetzstationen

- Anwendung und Tests von Anlagenkonzepten mit verschiedenen Komponenten
 - Regelbare MS/NS-Transformatoren
 - Regelbare PV-Wechselrichter
 - Lokaler Spannungskonstanthalter
 - Steuerbare Lasten und Speicher
- Gut abgestimmtes System zur dynamischen Spannungsregelung
- Konzeptnachweis und Umsetzung durch Labor- und Pilotversuche



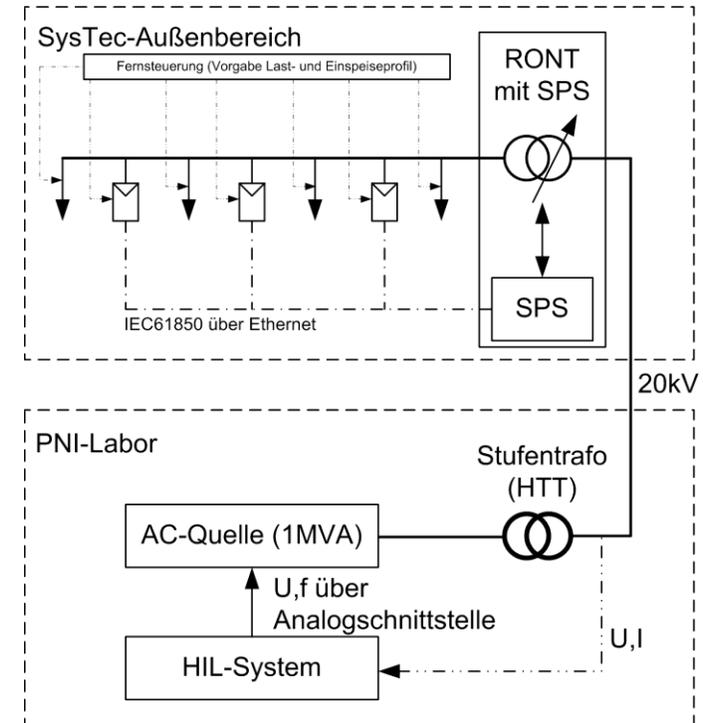
Prototyp eines steuerbaren MS-NS-Transformators der Firma J. Schneider Elektrotechnik GmbH. Tests im SysTec für das Projekt „Aktives, intelligentes Niederspannungsnetz“

Quelle: Fraunhofer IEE

Prüflabor Netzintegration (PNI)

Anwendung: Aktives, intelligentes Niederspannungsnetz

- Kritische Netzzustände können selektiv und reproduzierbar getestet werden
 - Konfigurierbares NS-Testnetz
 - Topologie
 - Kabelquerschnitt
 - Steuerbare Lasten
 - Einstellbare PV
- Validierung von Komponenten und Methoden, vor dem Betrieb in einem realen Netz mit realen Kunden
- Optimierung der Regelalgorithmen
- Einsatz von HiL-Methoden



Experimenteller Aufbau aus dem Projekt „Aktives, intelligentes Niederspannungsnetz“

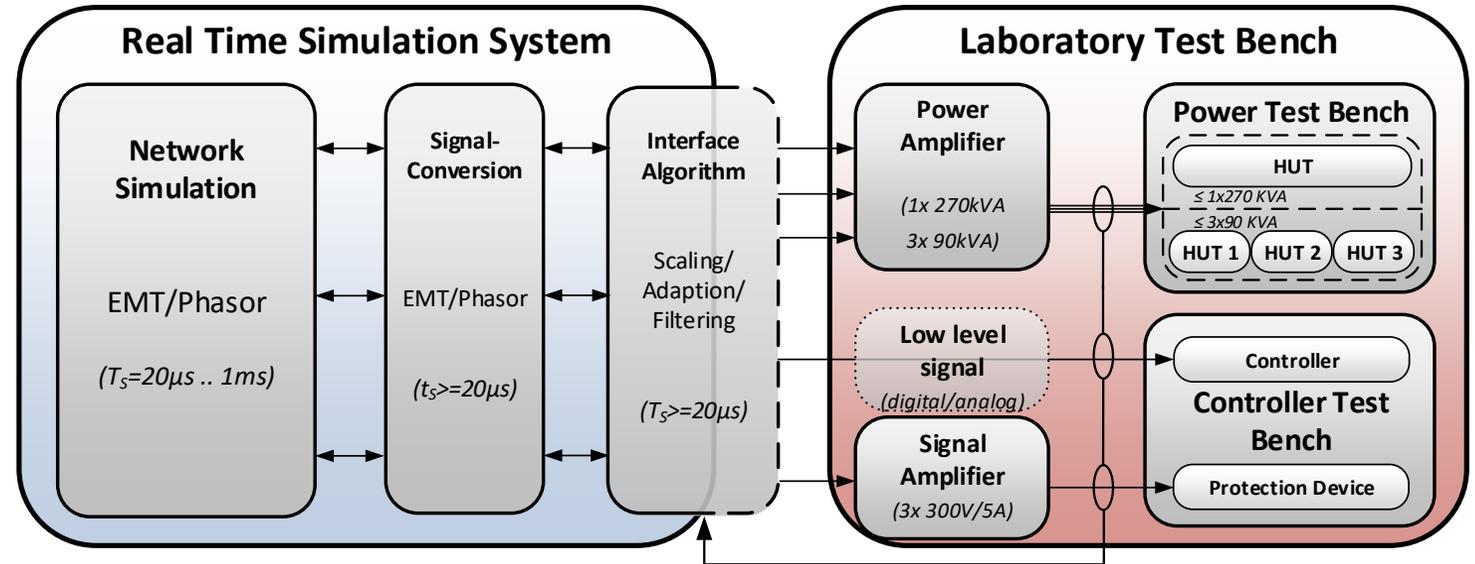
Quelle: Fraunhofer IEE

TPE-Laborbereich

E-Mobilität, HiL-Umgebung, Stromrichter-Regelung

Ausstattung:

- Rollenprüfstand zur Simulation der Fahrzyklen von E-Fahrzeugen
- ScienLab (Virtuelle Batterie)
- HiL- / Hardware-in-the-Loop-Umgebung
 - Echtzeitsimulator (OPAL-RT)
 - Leistungsfähige AC-Quelle/-Senke (Ametek)
- Konfigurierbare DER / Stromrichter (Triphase Entwicklungsumgebung)



IEE – SYSTEC – TESTZENTRUM FÜR INTELLIGENTE NETZE UND E-MOBILITÄT

Vielen Dank!
Haben Sie Fragen?



Smart Grid / Hybridsystem Labor, Fraunhofer IEE | www.iee.fraunhofer.de/mess

Nils Schäfer, Dr. Gunter Arnold
Abteilung Systemstabilität
und Netzintegration
Fraunhofer IEE, Kassel
nils.schaefer@iee.fraunhofer.de
gunter.arnold@iee.fraunhofer.de

Die dieser Präsentation zugrundeliegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur, des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

