
Intelligente Energiesysteme

Modulare Multilevel Umrichter für ein Mittelspannungsprüffeld

Dr. Thomas Heckel
Benjamin Ruccius
Erlangen, 08.07.2019



Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Motivation



Energie aus regenerativen
Energiequellen in Deutschland:

1990: 4 %

2019: 35 %

Intelligente Energiesysteme

MMC für ein Mittelspannungsprüffeld

– Anwendung Netzemulator

Dr. Thomas Heckel
Benjamin Ruccius
Erlangen, 08.07.2019

Gefördert durch

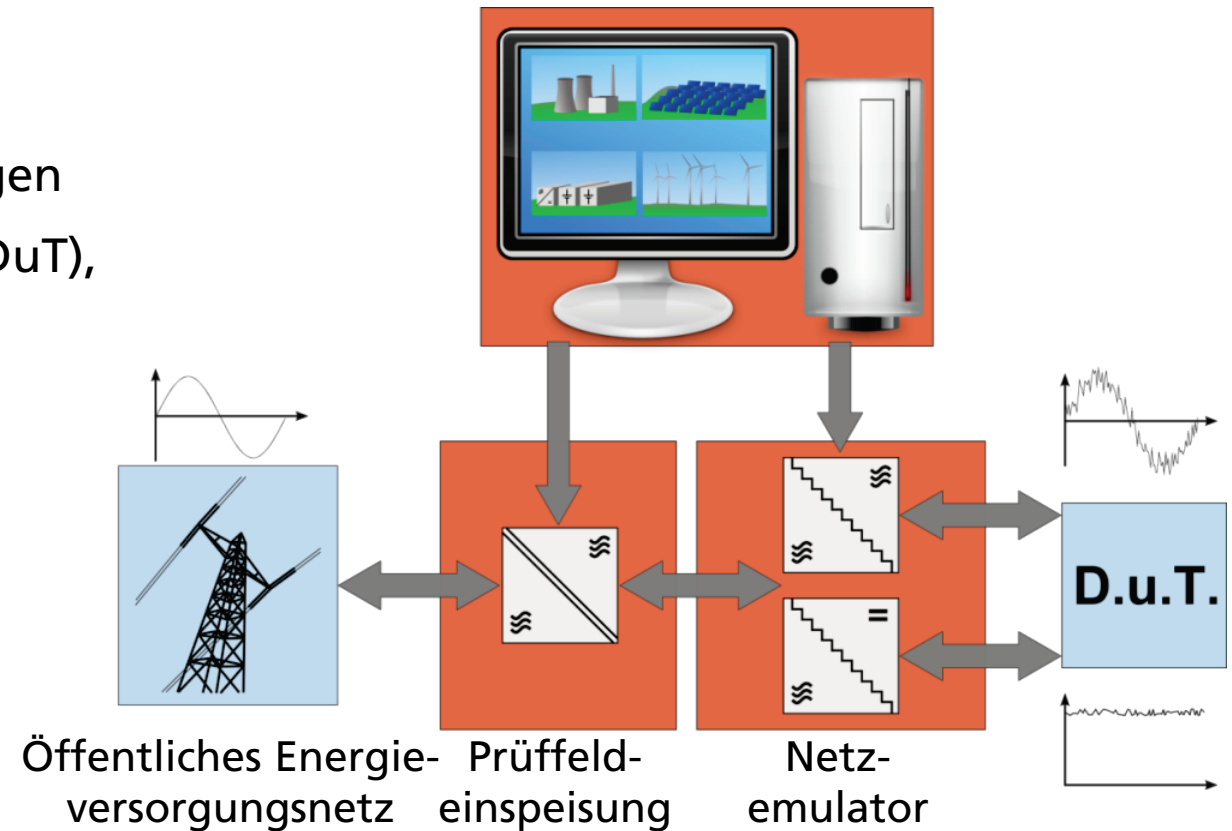


Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Netzemulator

Idee

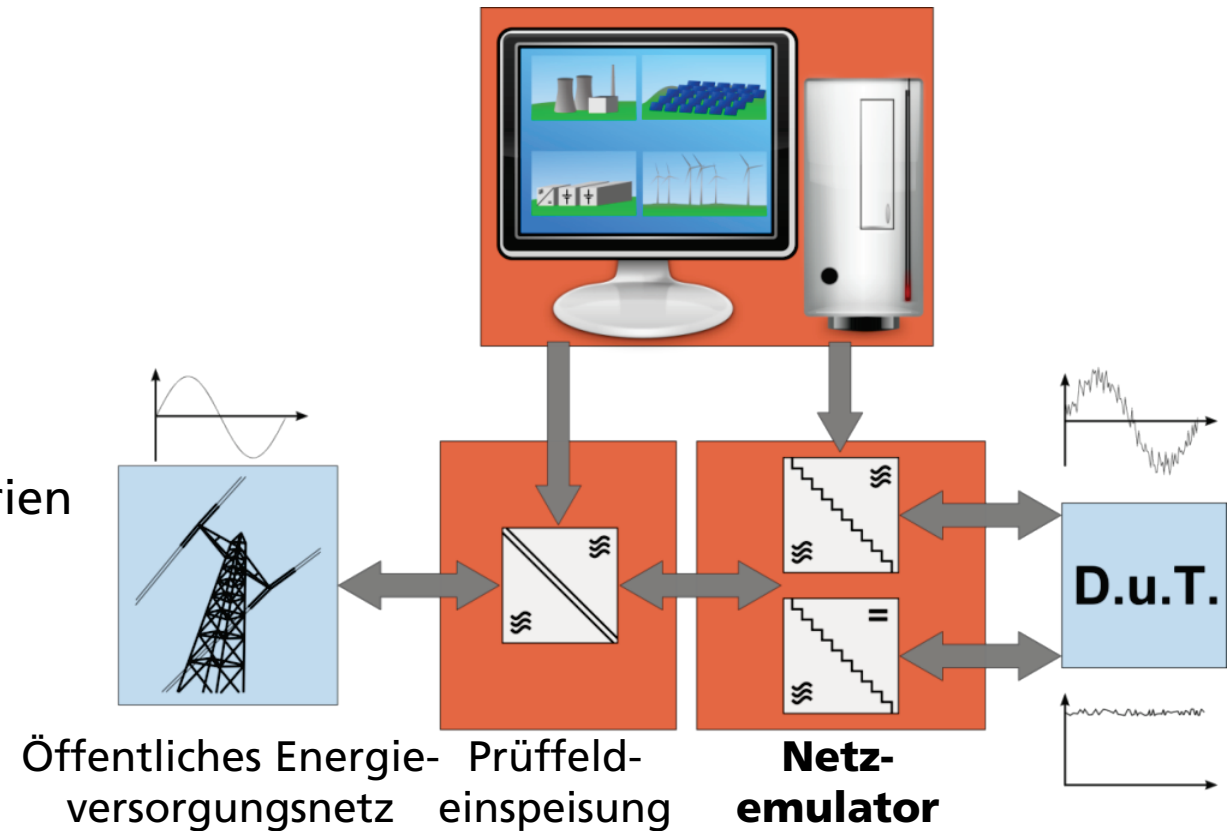
- Veränderungen im Energieversorgungsnetz
- Erhöhter Testbedarf der Betriebsmittel unter unterschiedlichen Betriebsmodi, insb. Störungen
- Test von Betriebsmitteln (Device under Test/ DuT), z.B.:
 - Umrichter
 - Solarwechselrichter
 - DC-Schnellladesäulen
 - Active Filter
 - STATCOM
 - Active Front Ends (AFE)
 - Passive Betriebsmittel, z.B.



Netzemulator

Anforderungen

- Bereitstellung der Spannungen zum Test der Betriebsmittel
- Abbildung verschiedener Prüfzenarien
- Gute Nachbildung der Netzspannung
- Gute Nachbildung von Störungen, z.B.
 - Abweichung Netzfrequenz
 - Variation Netzspannung – Asymmetrien
 - Netzharmonische



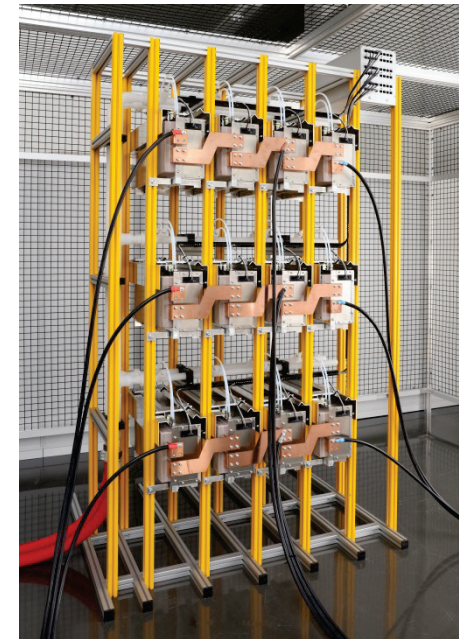
Netzemulator

Modularer Multilevel Umrichter

- Bereitstellung der Spannungen zum Test der Betriebsmittel
- Abbildung verschiedener Prüfzenarien
- Gute Nachbildung der Netzspannung
- Gute Nachbildung von Störungen, z.B.
 - Abweichung Netzfrequenz
 - Variation Netzspannung – Asymmetrien
 - Netzharmonische

Modularer Multilevel Umrichter (MMC)

- Flexibler Aufbau
 - Skalierbare Spannungshöhe
 - Skalierbare Stromhöhe
- Hohe Anzahl an Ausgangsspannungsstufen
- Relativ hohe Schaltfrequenz



Modulare Multilevel Umrichter

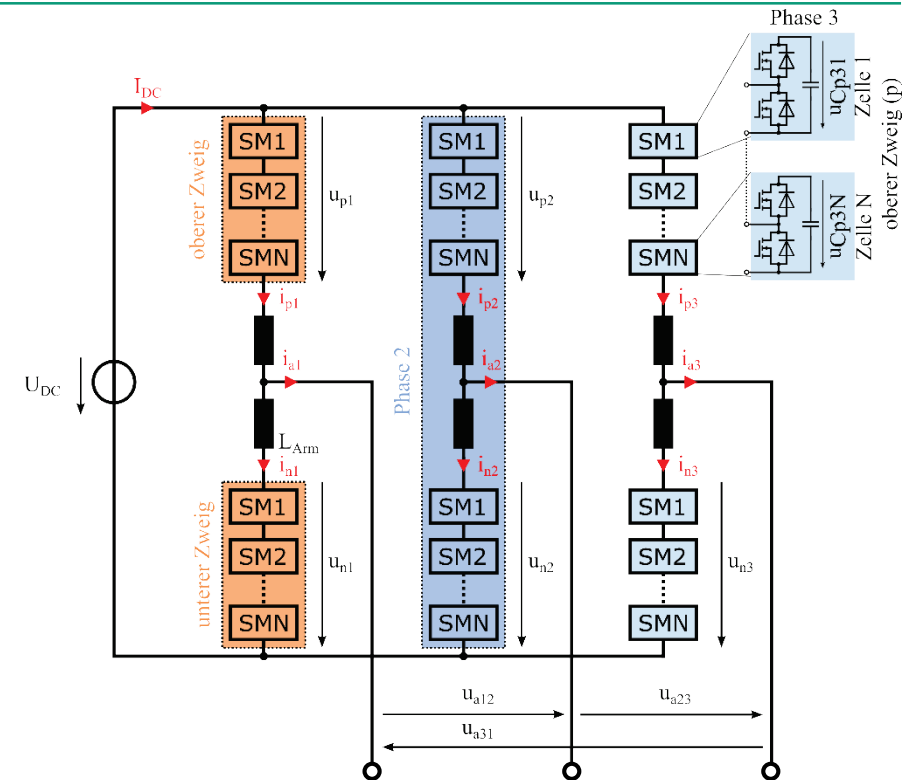
Topologie

Topologie mit Halbbrückenzellen oder Vollbrückenzellen

- DC ↔ 3x AC Umrichter
- DC ↔ 1x AC Umrichter (2-phasig)

Mit Vollbrückenzellen

- 1x AC ↔ 3x AC Umrichter

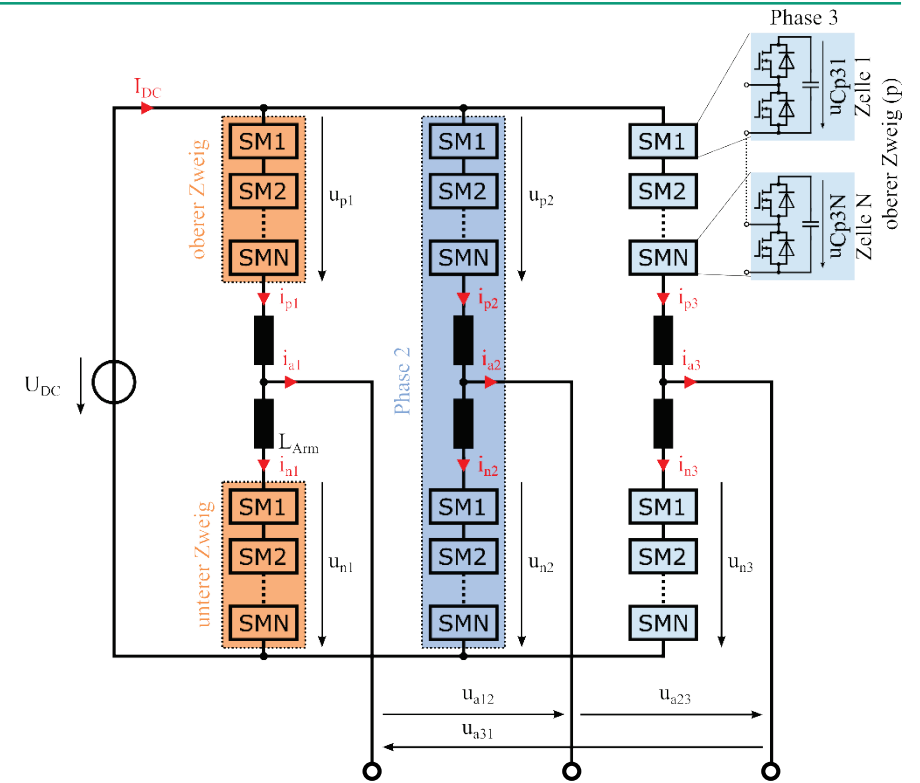


Modulare Multilevel Umrichter

Struktur

Hier: Topologie mit Halbbrückenzenellen

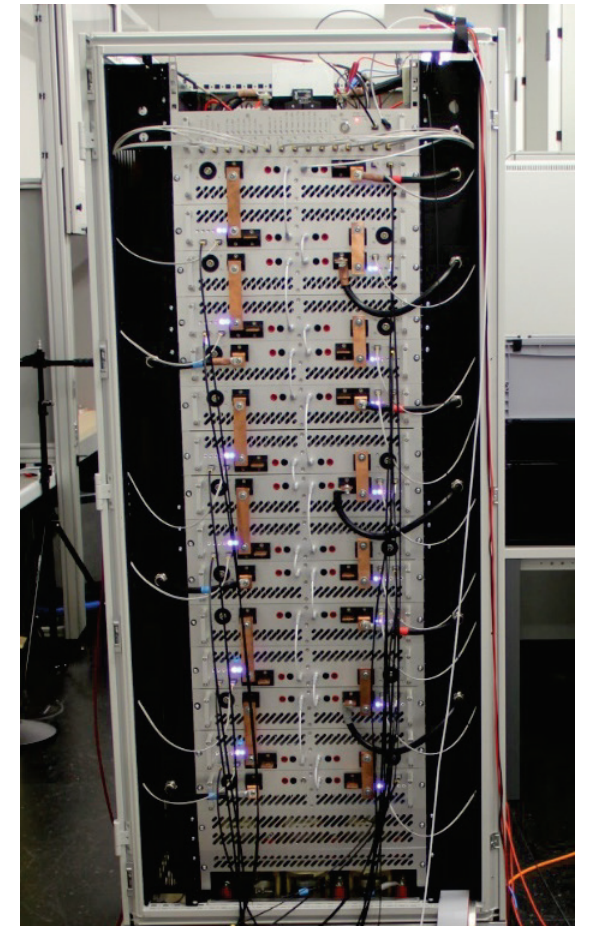
- DC ↔ 3x AC Umrichter
- Drei Phasen
- Oberer und unterer Arm/ Zweig
- Zelle/ Submodule (SM) im Zweig
- Anzahl der Ausgangsspannungsstufen
 - Halbbrücke (hier MosFETs)
 - Kondensator
- Energiespeicher wird während $T_{AC}=1/f_{AC}$ geladen und entladen



Entwicklung Modularer Multilevel Umrichter

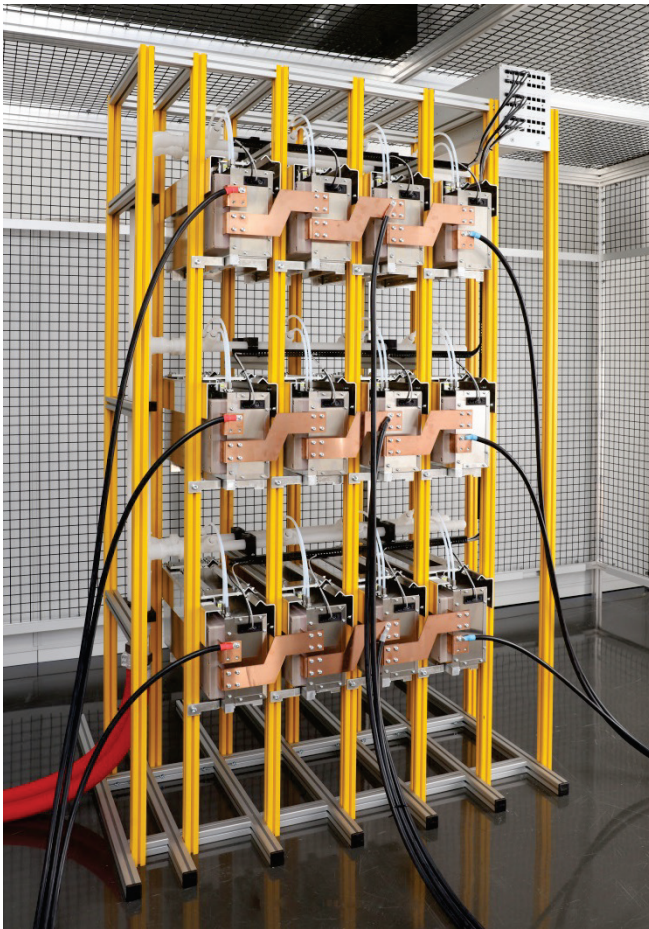
Niederspannungs-MMC

- Halbbrückenzenellen
- P_{AC} = 150 kW
- $U_{DC,max}$ = 900 V
- N = 5 (Submodule/ Zweig)
- Test der Ansteuerungs-/ Kommunikationshardware
- Entwicklung/ Erprobung der Regelung
 - + Verringerung der umrichterinternen Kreisströme
 - Geringere Verluste/ höhere Effizienz des Umrichters
 - + Verringerung des Mess- und Kommunikationsaufwands durch Einsatz eines Kalman Filter
- Übertragung Erfahrungen auf Mittelspannungs-MMC



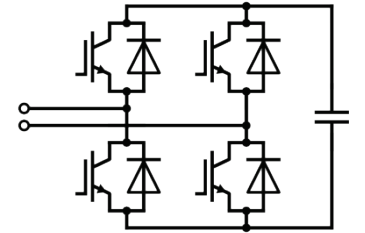
Entwicklung Modularer Multilevel Umrichter

Mittelspannungs-MMC



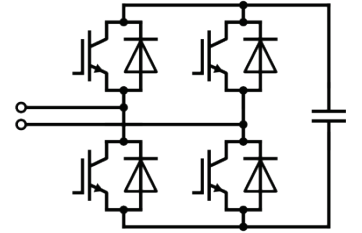
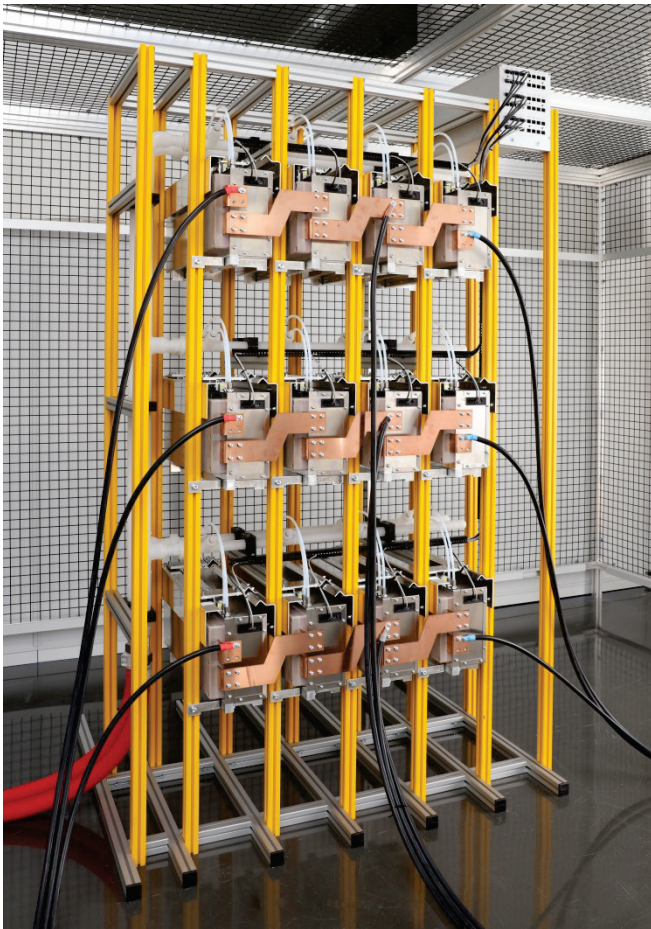
Mittelspannungs-MMC

- 96 Submodule/ Zellen
- Maximal $N=16$ Submodule/ Zweig
- Vollbrückenzelle



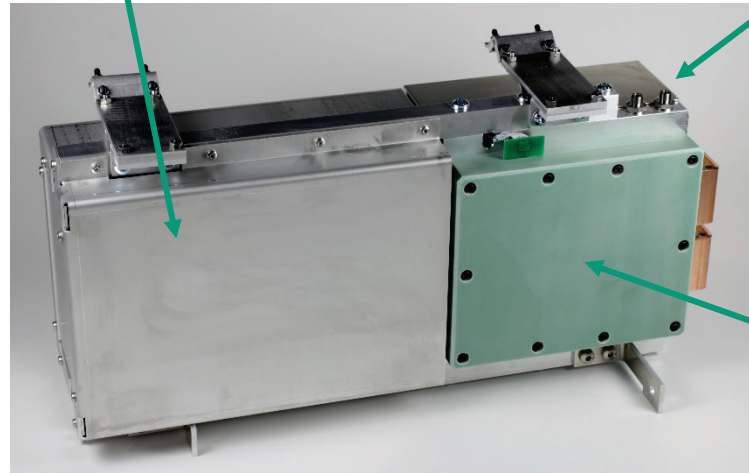
Entwicklung Modularer Multilevel Umrichter

Mittelspannungs-MMC



Folienkondensator (5,5 mF)

Mess- und Kommunikationshardware
(FPGA basiert)

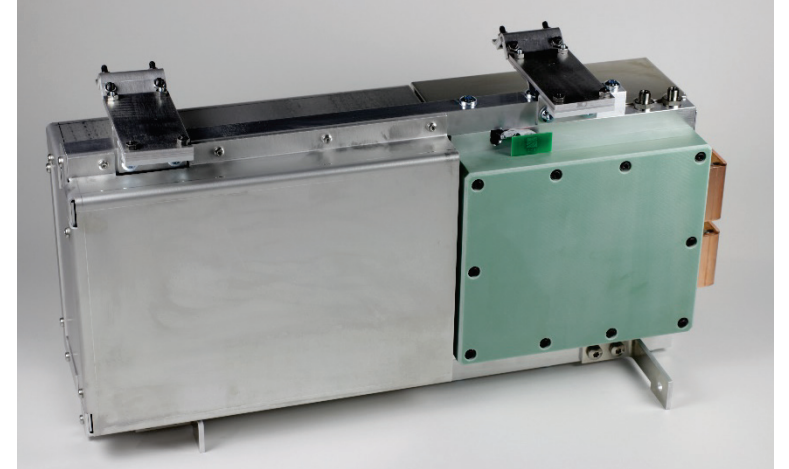


1200V IGBTs
2 Halbbrücken → Vollbrücke

Entwicklung Modularer Multilevel Umrichter

Mittelspannungs-MMC

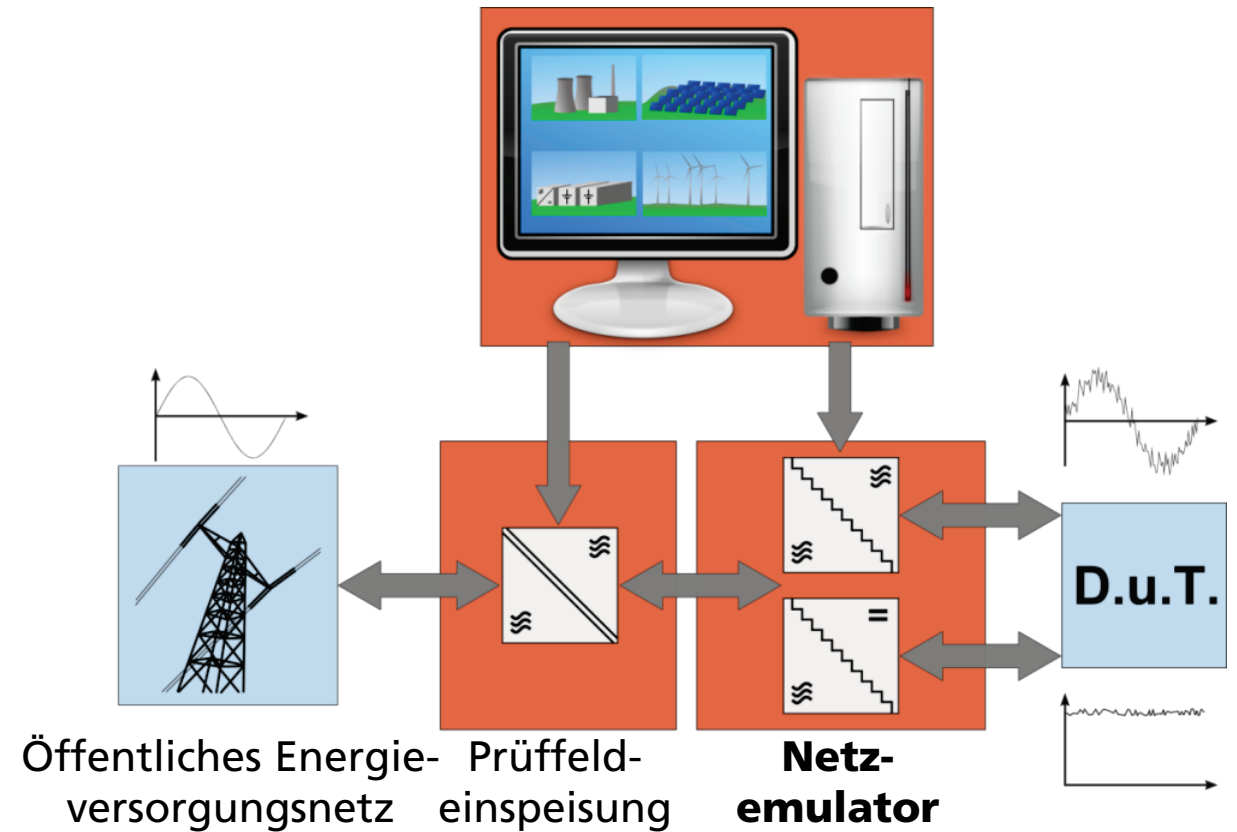
- Auslegung, Design, Entwicklung und Aufbau von z.B.:
 - 120 Zellen aufgebaut
 - Kommunikationshardware/ -software
 - Regelungskonzept
 - Kühlkonzept
- $S_{AC,max} > 10 \text{ MVA}$
- $u_{AC,max} = 20 \text{ kV}$
- Prüffeldsystem: Flexible Nutzung durch:
 - Umkonfiguration der Zellverbindungen möglich
 - Flexible/ leistungsfähige Regelungshardware (SoC basiert)
 - Schnittstelle zu automatischer Codegenerierung (PLECS)
 - Hochgeschwindigkeits-LWL-Kommunikation (250 MBaud)



Mittelspannungsprüffeld

MMC als Netzemulator

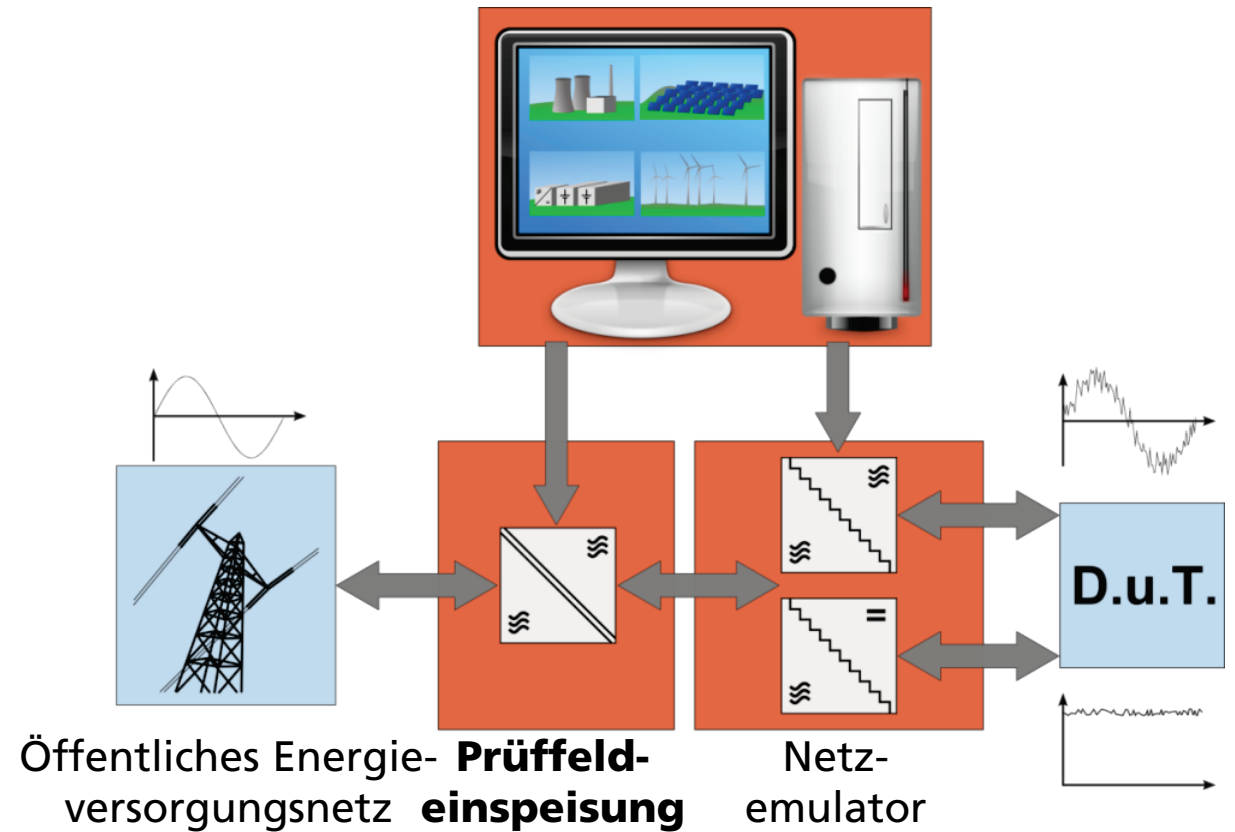
- Netzemulator
 - MS-MMC



Mittelspannungsprüffeld

Prüffeldeinspeisung

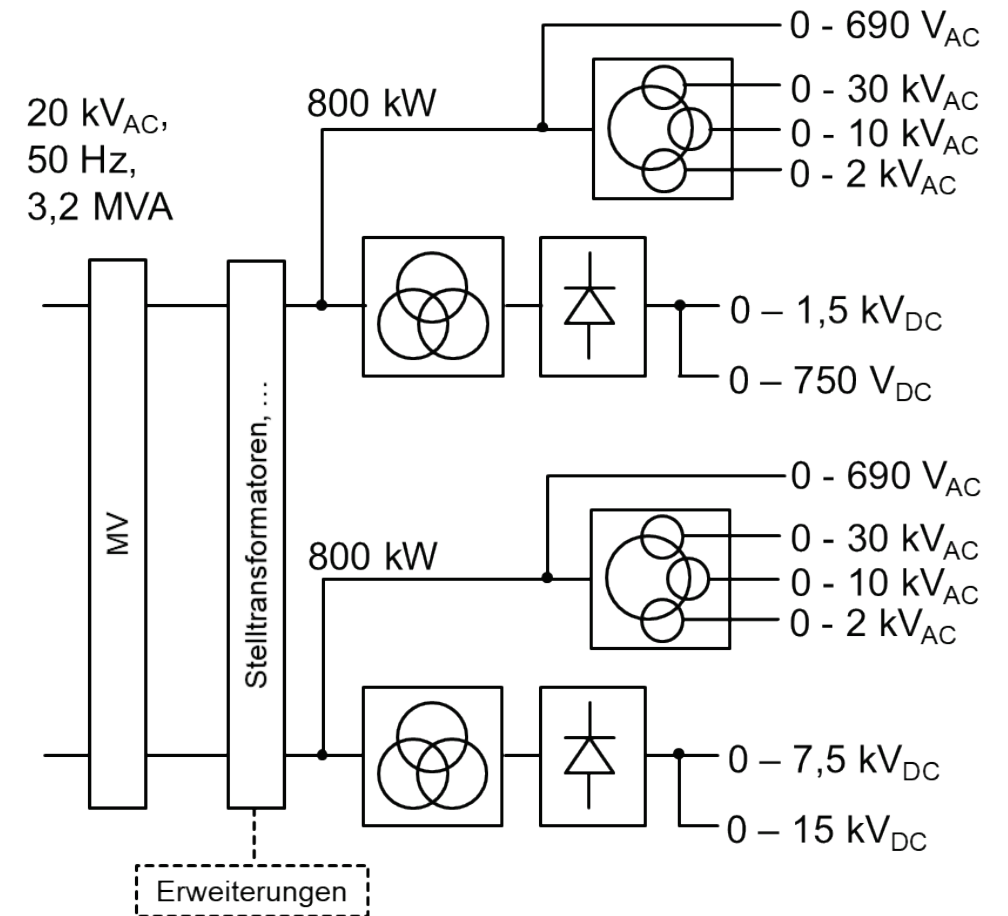
- Netzemulator
 - MS-MMC
- **Prüffeldeinspeisung** (im UG)
 - Robuste Technik basierend auf:
 - Stelltransformatoren
 - 12-puls Gleichrichter



Mittelspannungsprüffeld

Prüffeldeinspeisung

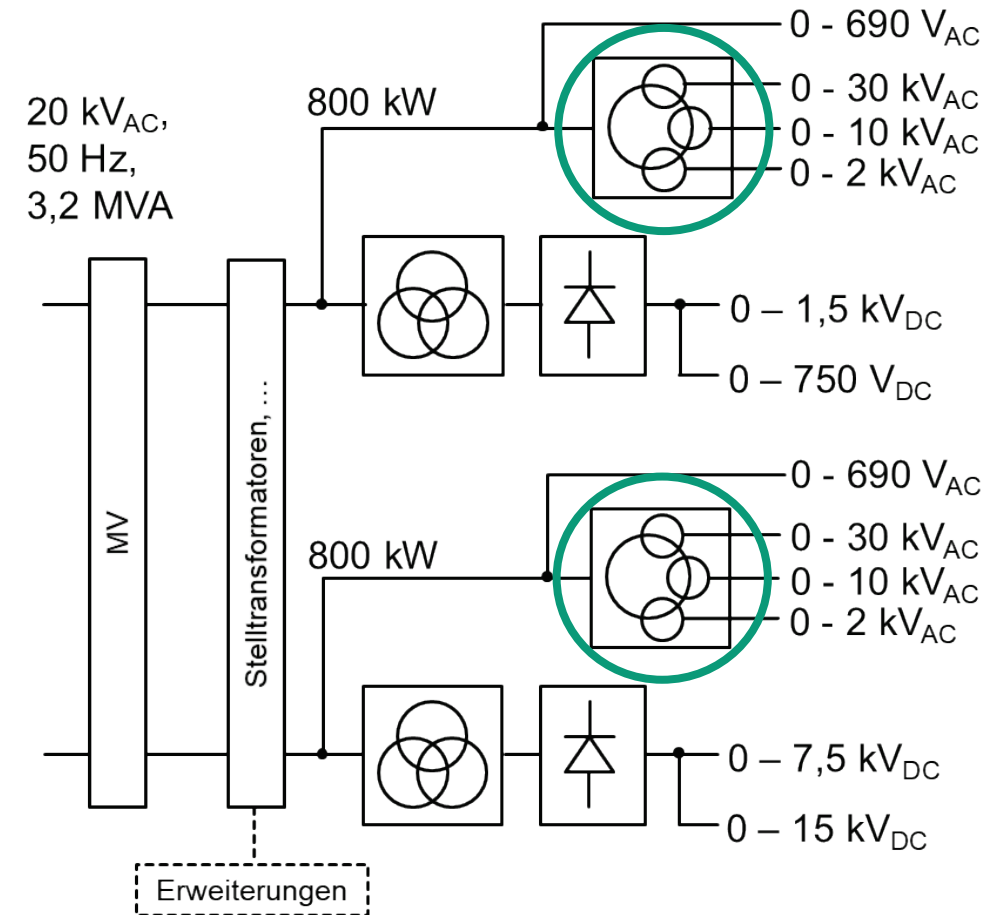
- Netzemulator
 - MS-MMC
- **Prüffeldeinspeisung** (im UG)
 - Robuste Technik basierend auf:
 - Stelltransformatoren
 - 12-puls Gleichrichter
 - Zwei Einspeisestränge (je 800 kW)
 - Viele variable Spannungsbereiche
 - $U_{DC,max} = 15 \text{ kV}$
 - $u_{AC,max} = 30 \text{ kV}$



Mittelspannungsprüffeld

Prüffeldeinspeisung

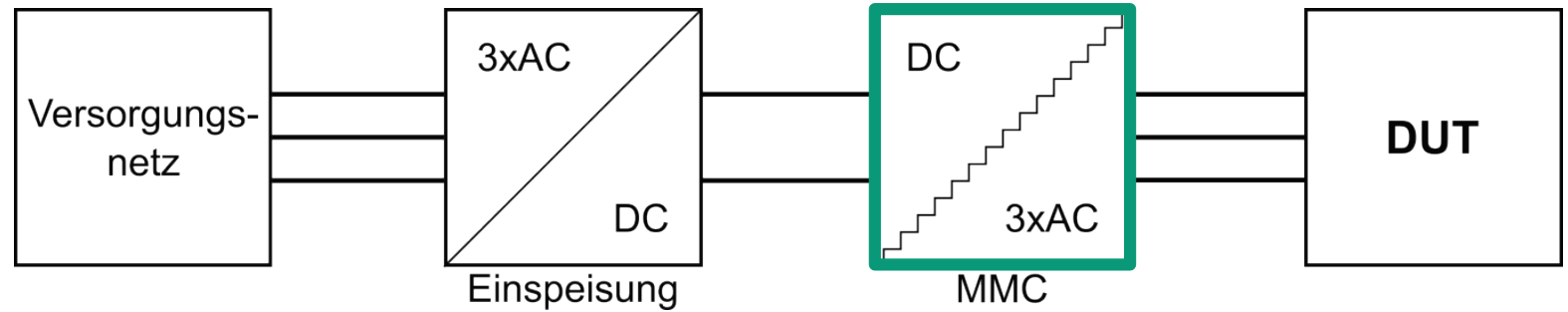
- Netzemulator
 - MS-MMC
- **Prüffeldeinspeisung** (im UG)
 - Robuste Technik basierend auf:
 - Stelltransformatoren
 - 12-puls Gleichrichter
 - Zwei Einspeisestränge (je 800 kW)
 - Viele variable Spannungsbereiche
 - $U_{DC,max} = 15 \text{ kV}$
 - $u_{AC,max} = 30 \text{ kV}$



Mögliche Prüfszenarien

Flexibilität durch Umkonfiguration des MMC

- Device under Test (DUT): z.B.
 - **Active Filter**

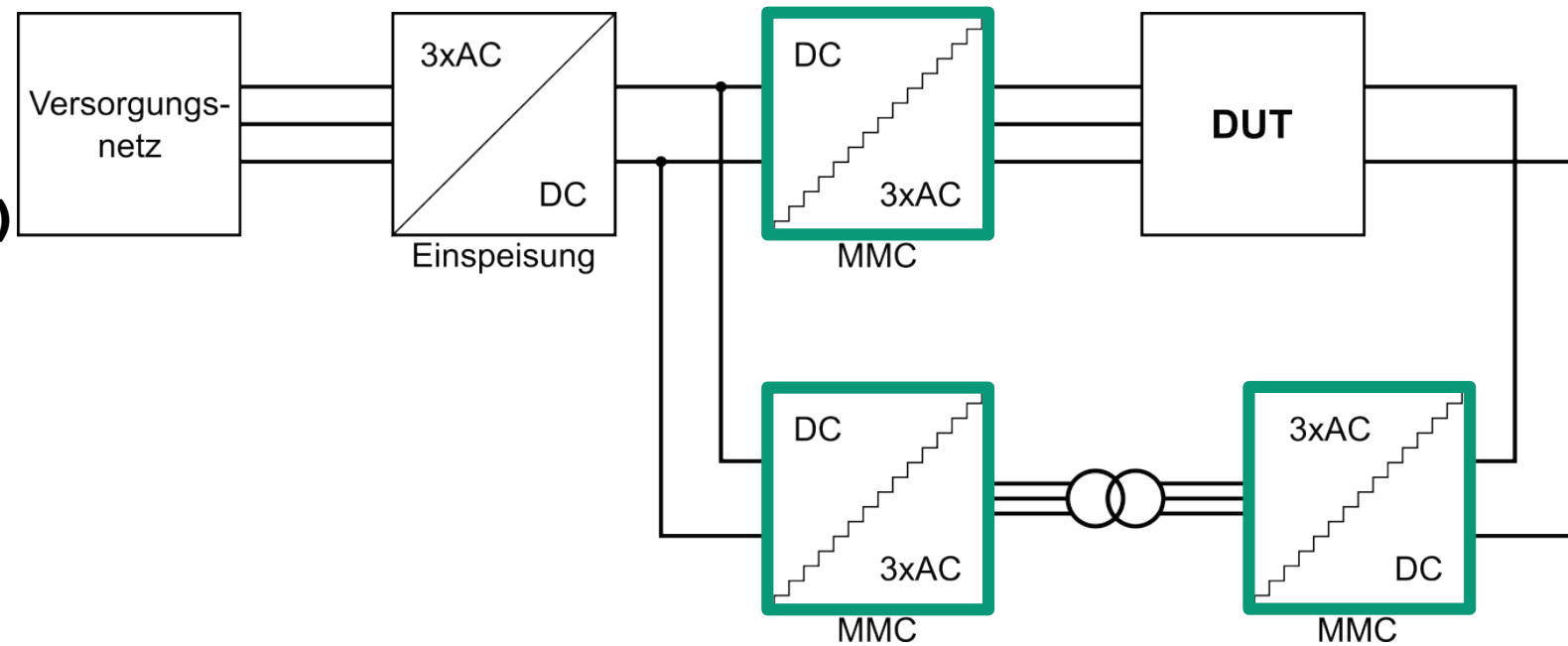


Mögliche Prüfszenarien

Flexibilität durch Umkonfiguration des MMC

■ Device under Test (DUT): z.B.

- Active Filter
- **Active Front End (AFE)**
- **Solarwechselrichter**
- **Antriebsumrichter**



Mögliche Prüfszenarien

Flexibilität durch Umkonfiguration des MMC

■ Device under Test (DUT): z.B.

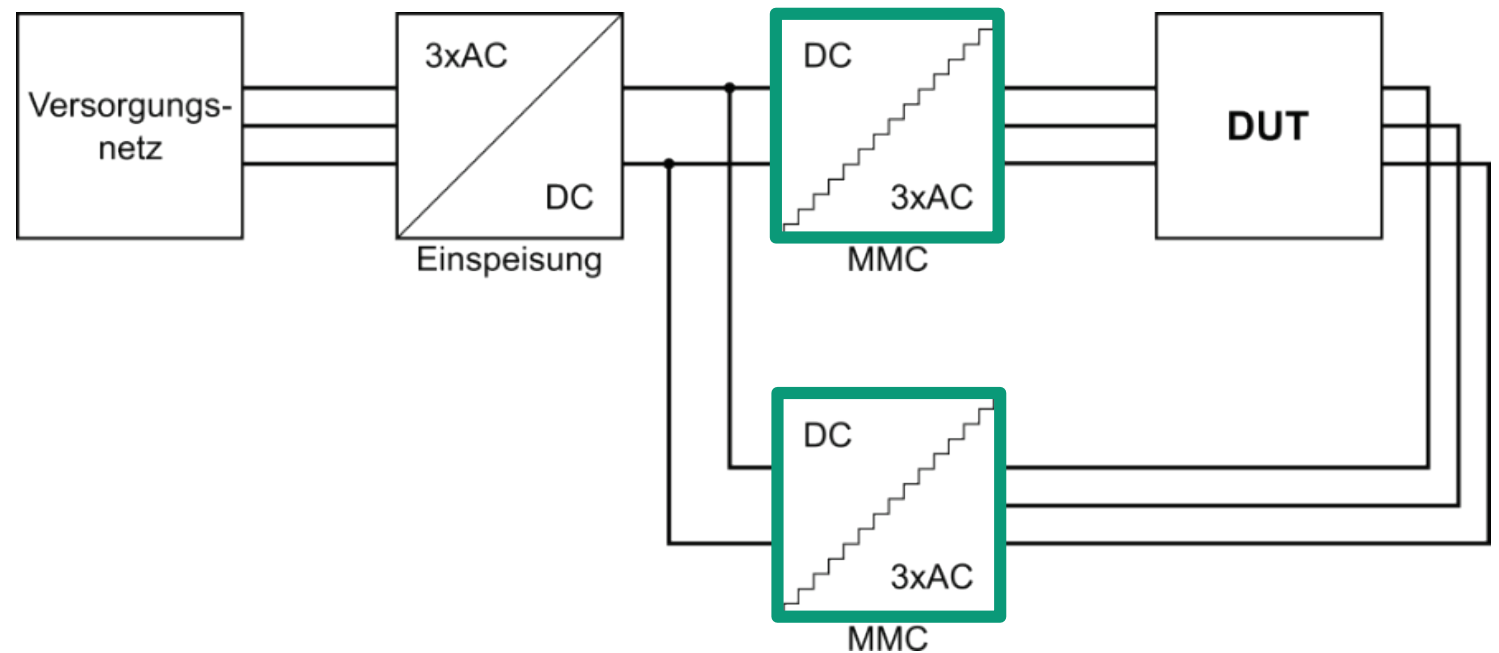
■ Active Filter

■ Active Front End (AFE)

■ Solarwechselrichter

■ Antriebsumrichter

■ **Direktumrichter**



Zusammenfassung + Ausblick

- Entwicklung, Aufbau und Test:
 - Niederspannungs-MMC
 - Mittelspannungs-MMC
- Entwicklung Konzept Prüffeldeinspeisung
- Diverse Masterarbeiten und Veröffentlichungen
 - EnCN Energiepreis (für Masterarbeit über Regelungskonzept)
 - Best Paper Award bei ECCE Asia 2019 (Veröffentlichung über Regelungskonzept → insbesondere Test am NS-MMC)
- Prüffeldinfrastruktur
 - Test von Betriebsmitteln für das Energienetz der Zukunft
 - Test von Umrichtern und elektrischen Motoren für die Mittelspannung