

Modulares Power-HIL-Konzept: Flexibles Testen und Validieren bei voller Leistung

AutoTest Technical Conference

Dr.-Ing. Manuel Fischer ··· 17. Oktober 2024

Agenda

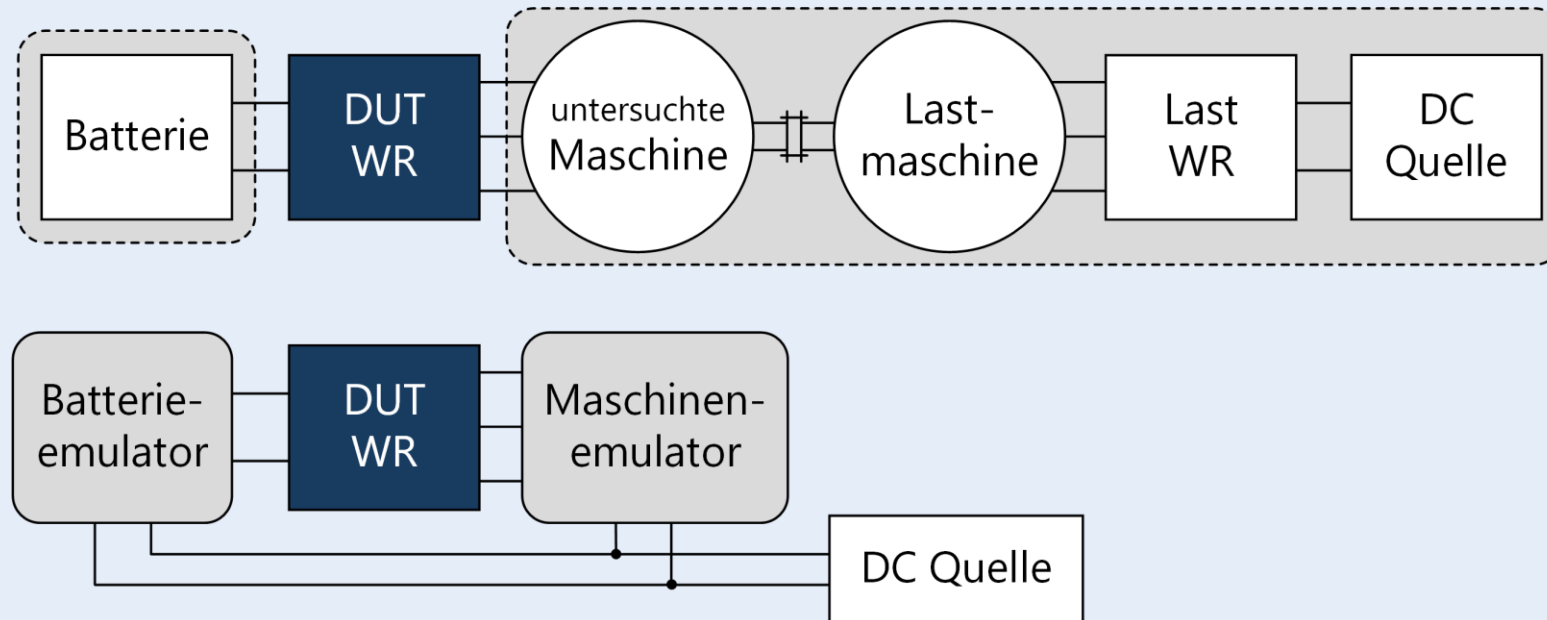
1. Motivation
2. Modulares Power-HIL-Konzept
3. Hochvoltlastmodule
4. Echtzeitmodelle
5. Hardware-Aufbau und Messergebnisse
6. Zusammenfassung



Motivation

Power-HIL (PHIL) Maschinen- & Batterieemulation

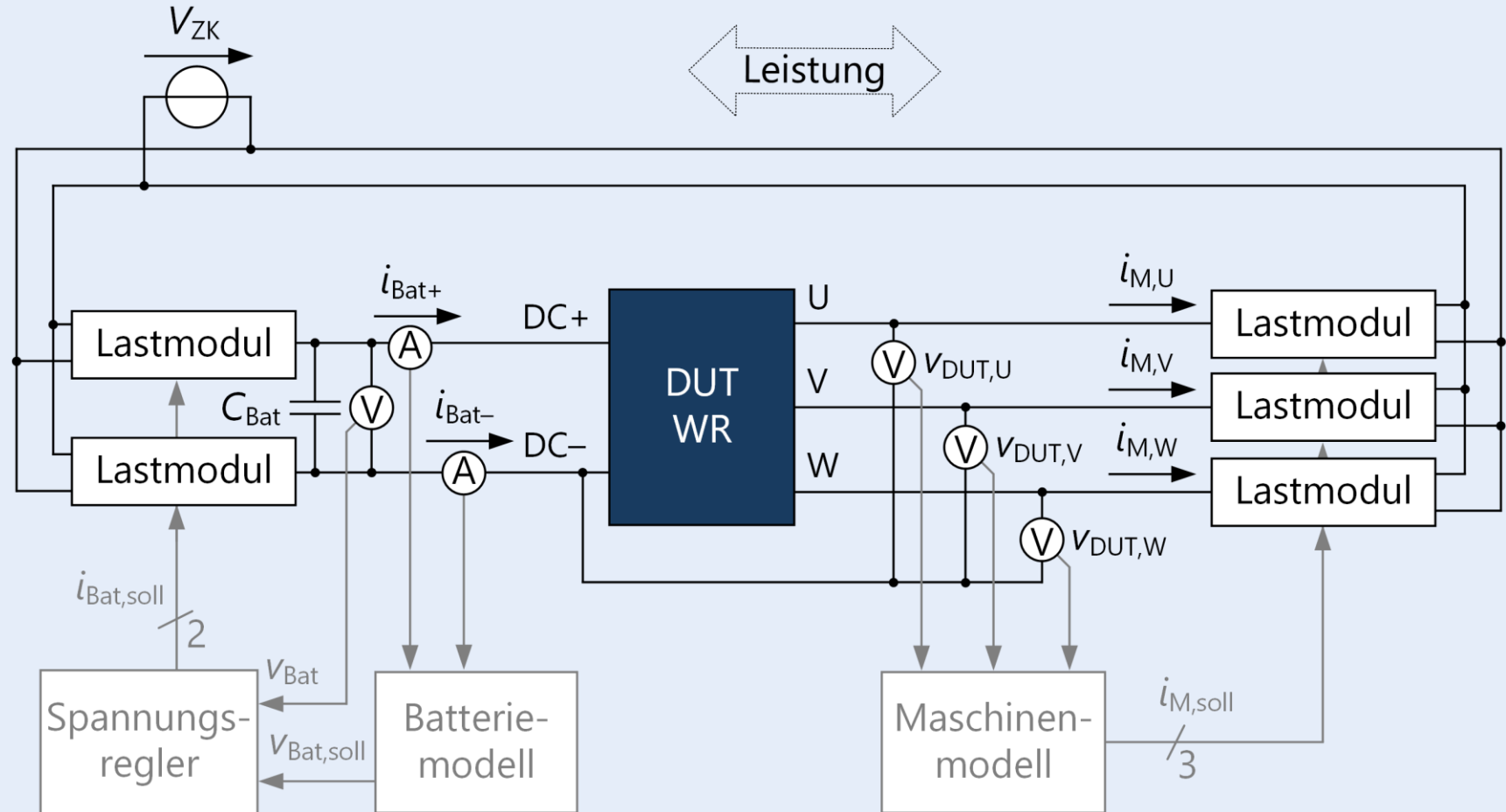
- Testen bzw. Validieren spielt eine wichtige Rolle im Entwicklungsprozess
- Maschinenprüfstand: teuer, nicht flexibel
- PHIL: Testen auf Leistungsebene, flexible Modellparameter



Modulares Power-HIL-Konzept

Systemkonzept

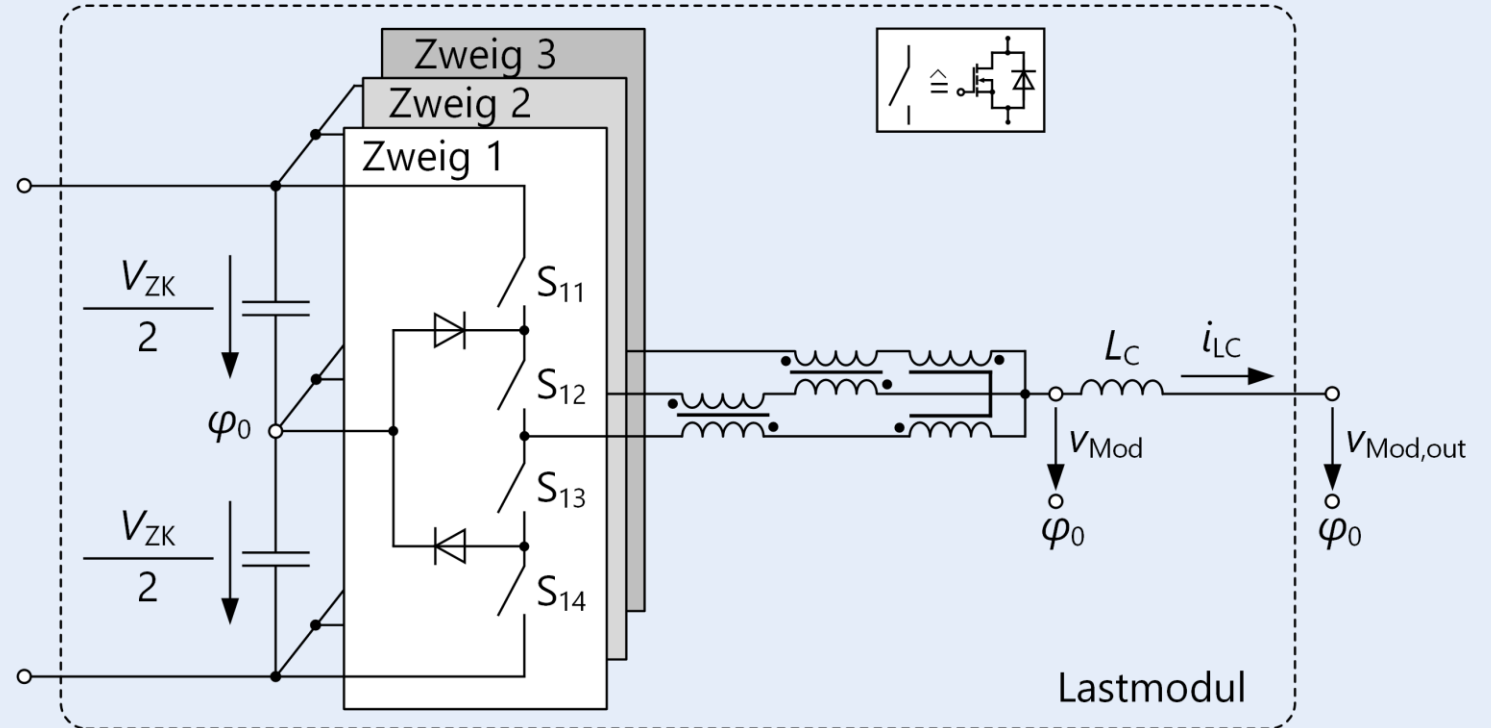
- Hochdynamische, bidirektional betreibbare Lastmodule
- Echtzeitmodelle
- Gemeinsamer Zwischenkreis



Hochvoltlastmodule

Lastmodule

- Herausforderungen:
 - HV Spannungen über 1000 V
 - Kein Derating (Leistungshyperbel)
 - Hohe Bandbreite im Ausgangsstrom
 - Bidirektionaler Leistungsfluss
 - Möglichst geringer zusätzlicher Stromrippel



- Mehrzweigiger Mehrpunktwechselrichter

- $V_{Mod} = \pm \frac{k}{6} \cdot V_{ZK}$ mit $k = \{0, 1, 2, 3\}$

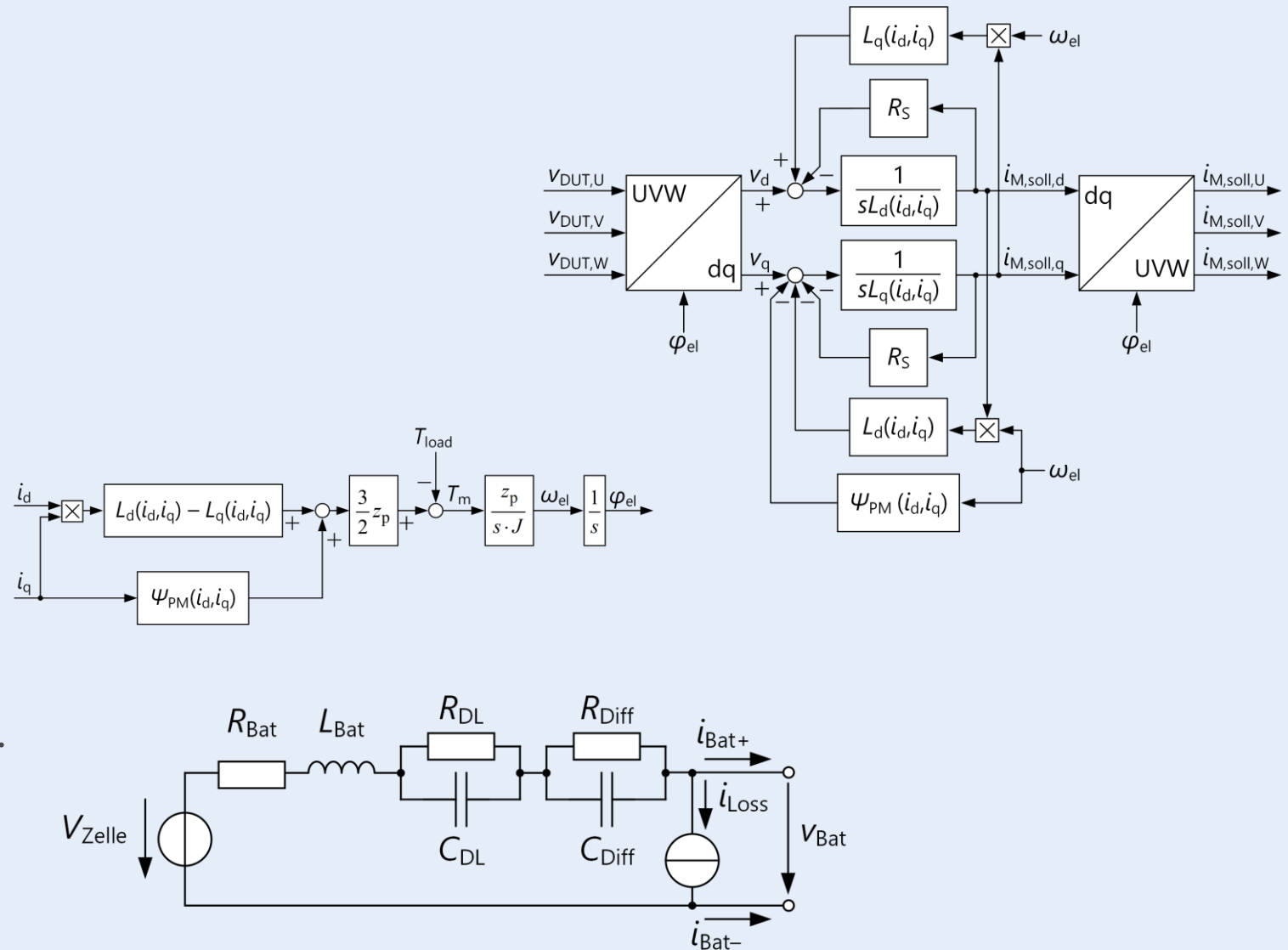
Echtzeitmodelle

Maschinenmodell

- Hier: Dreiphasige PMSM
 - Andere Maschinentypen
 - Beliebige Phasenanzahl
 - Verschiedene Modellarten
- Nichtlinearitäten in Wertetabellen

Batteriemodell

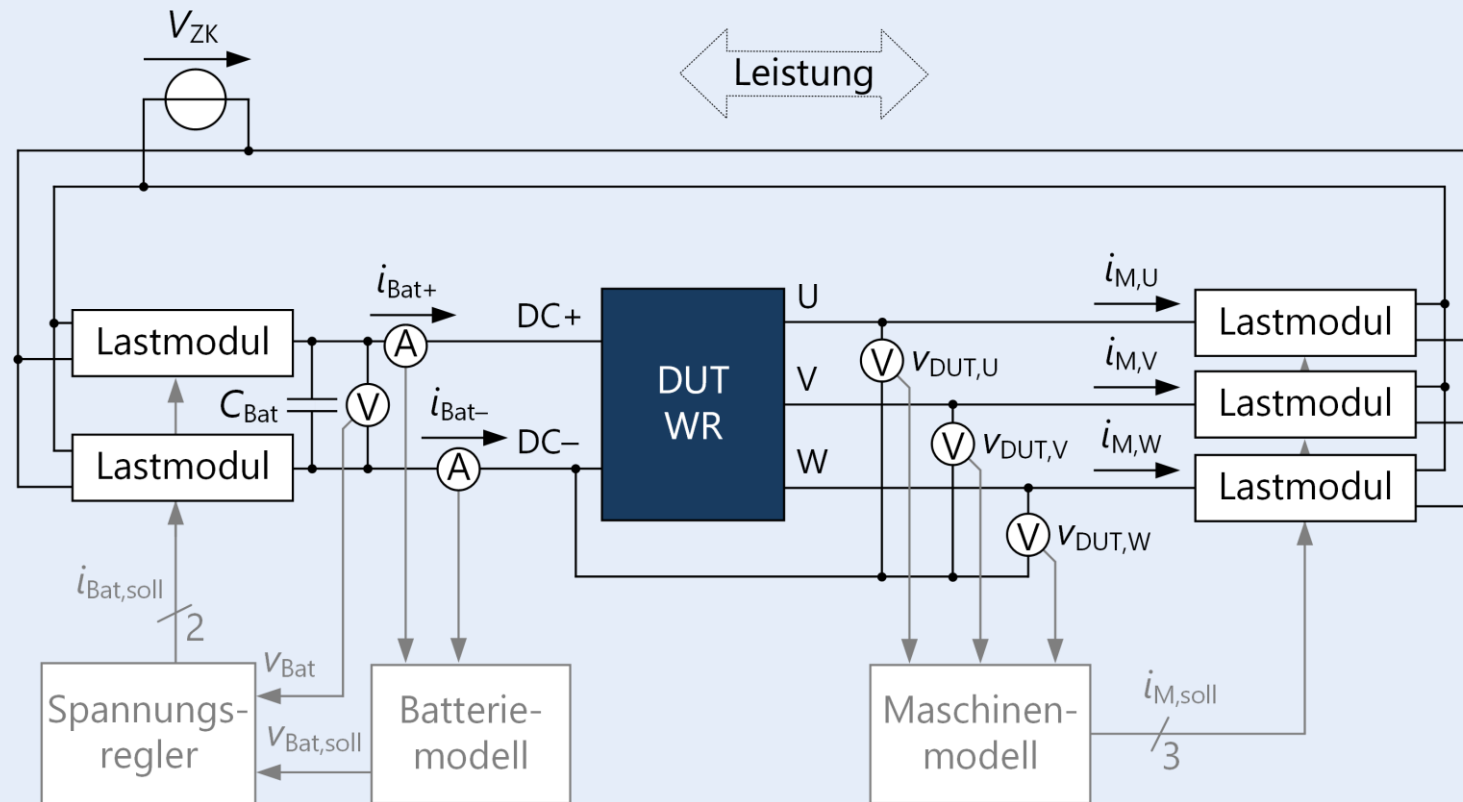
- Hier: Konstante Spannung
- Dynamische Modelle möglich, z.B.



Hardware-Aufbau und Messergebnisse

Hardware-Aufbau

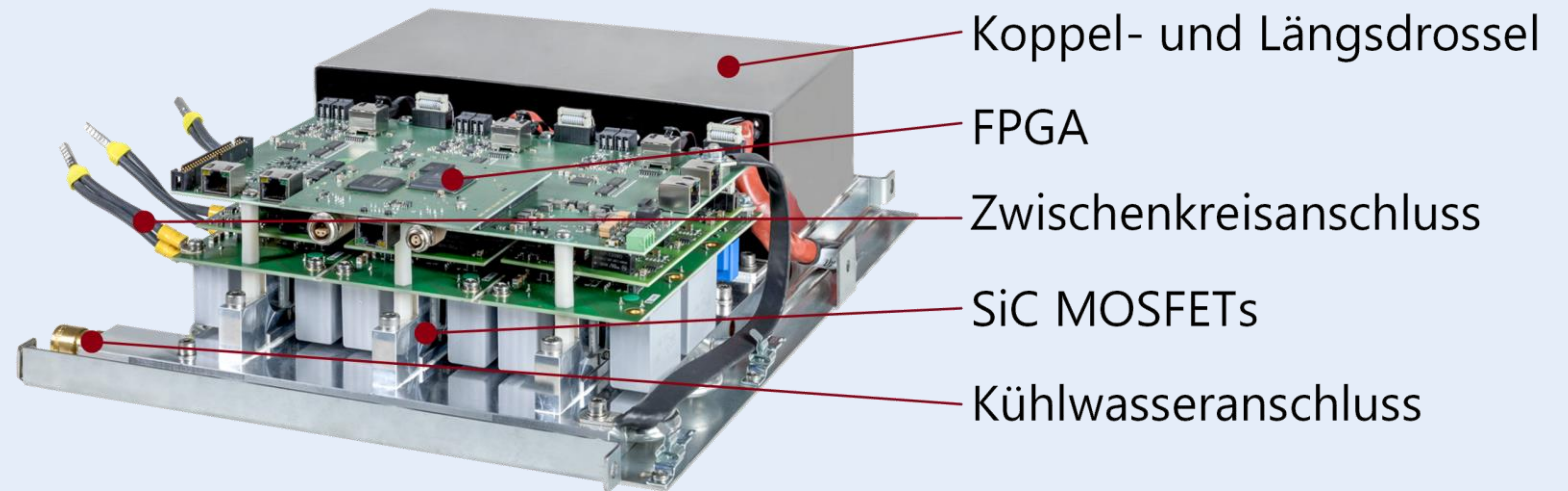
- Jeweils ein Modul pro Batteriepol und pro Maschinenphase



Hardware-Aufbau und Messergebnisse

Hardware-Aufbau

- Regeleinheit auf Lastmodul
- Spannungen über $V_{ZK} = 1000\text{ V}$
- Ströme bis 75 A_{RMS}
- Hochdynamisch



Hardware-Aufbau und Messergebnisse

Messergebnisse

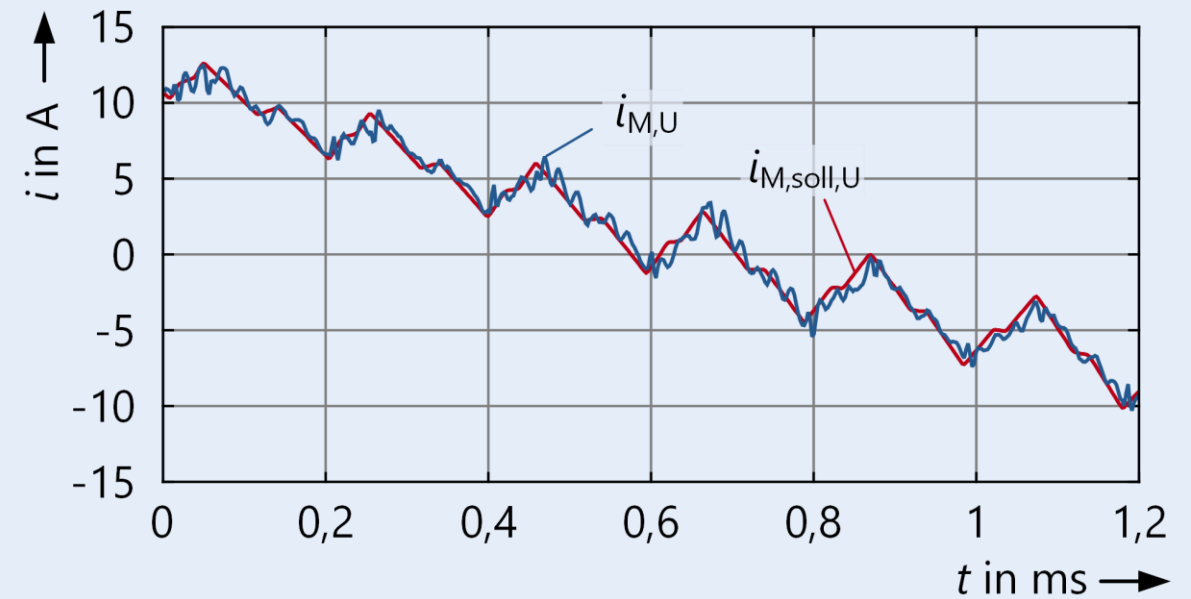
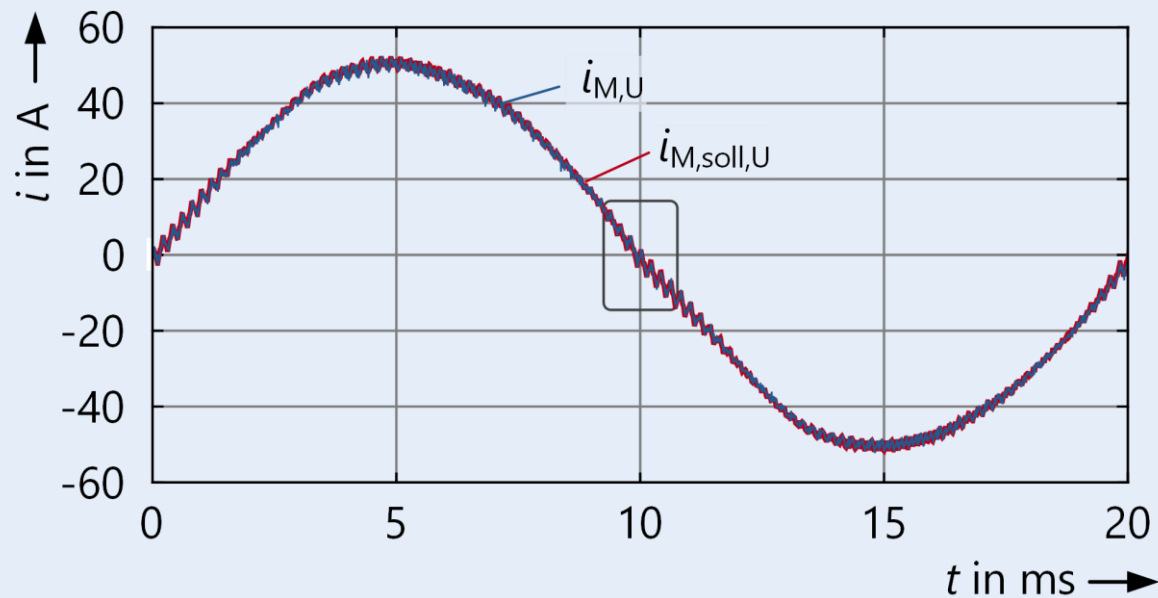
- Drehzahl $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ eingeprägt
- DUT-Wechselrichter stromgeregelt
- Sollströme:
 - $i_{\text{DUT,soll,d}} = 0$
 - $i_{\text{DUT,soll,q}} = 50 \text{ A}$

Parameter des PHIL-Systems	
Zwischenkreisspannung V_{ZK}	800 V
Schaltfrequenz der Halbbrücken im Lastmodul	$\leq 800 \text{ kHz}$
Parameter des DUT-Wechselrichters	
Batteriespannung v_{Bat} (konstant)	500 V
Schaltfrequenz	5,2 kHz
Parameter des Maschinenmodells	
Maschinentyp	PMSM
Polpaarzahl z_p	3
Wicklungswiderstand R_s	0,01 Ω
Induktivität in Längsrichtung L_d	2,7 mH
Induktivität in Querrichtung L_q	2,7 mH
Flussverkettung des Perm.magn. ψ_{PM}	0,87 Vs

Hardware-Aufbau und Messergebnisse

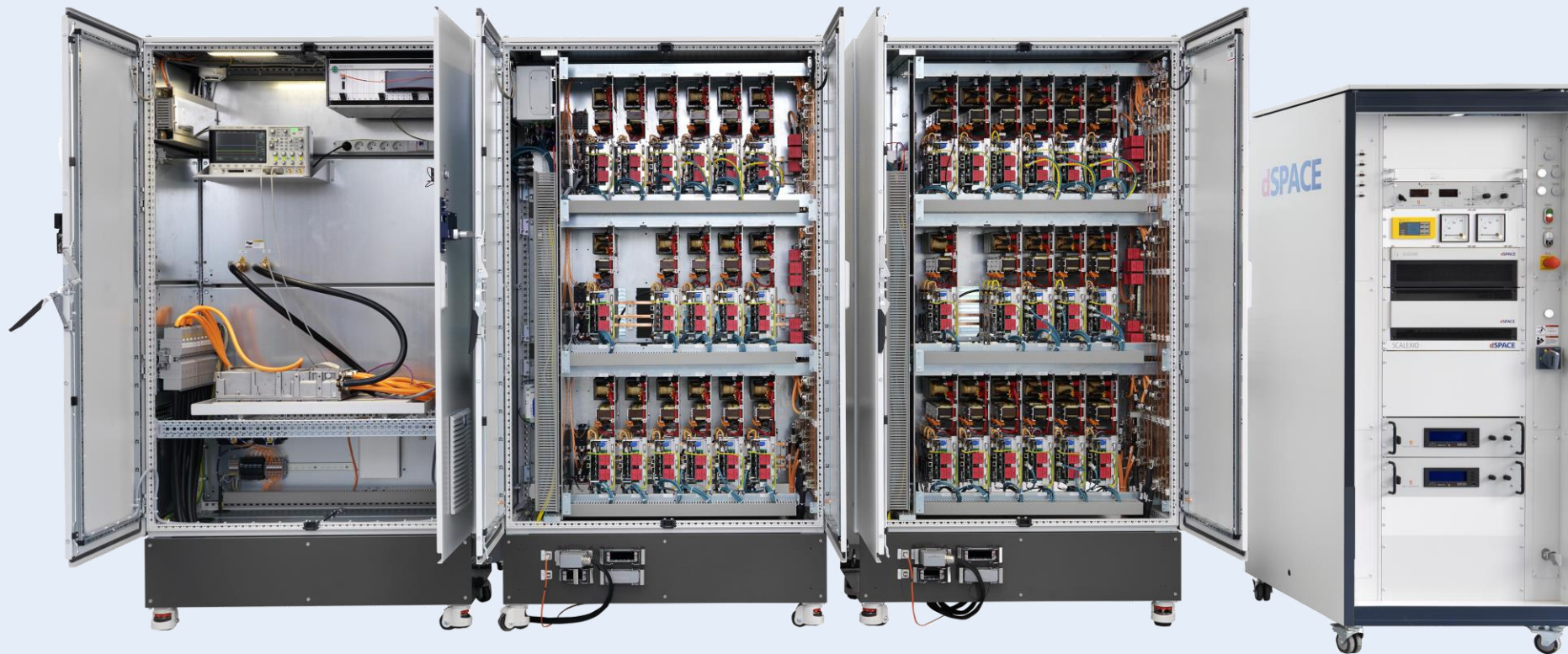
Messergebnisse

- Emulation ohne sichtbare Abweichung
- Nachbildung des Stromrippels möglich



Beispielhaftes Testsystem

- Motor- und Batterieemulation
- Ca. 500 kVA Ausgangsleistung möglich
- Zertifizierungstests nach ISO21498/LV123



Batterieemulation

$$V_{\text{Bat,max}} > 1000 \text{ V}$$

$$i_{\text{Bat,max}} = 520 \text{ A}_{\text{DC}}$$

Motoremulaton

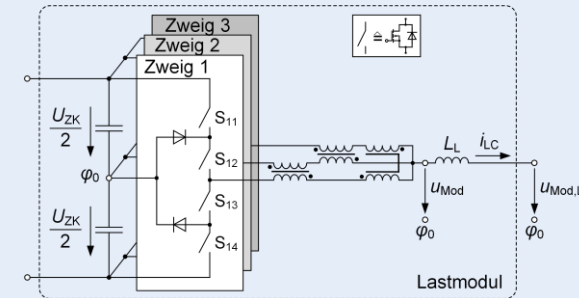
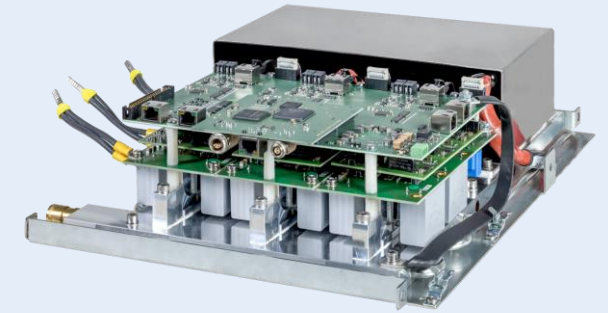
$$V_{\text{M,max}} > 1000 \text{ V}$$

$$i_{\text{M,max}} = 450 \text{ A}_{\text{RMS}}$$

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Hochvoltfähiges, hochdynamisches und modulares PHIL-Konzept zum Test von Antriebsumrichtern
- Leistungsfähige und flexible Lastmodule
- Ausgeklügeltes Regelkonzept
- Zertifizierungstests möglich



Weitere Anwendungen

- Netzemulation
- Smart Charging
- Microgrid
- DC/DC Steller



Vielen Dank!

Dr.-Ing. Manuel Fischer
MaFischer@dspace.de
www.dspace.de

LinkedIn

