

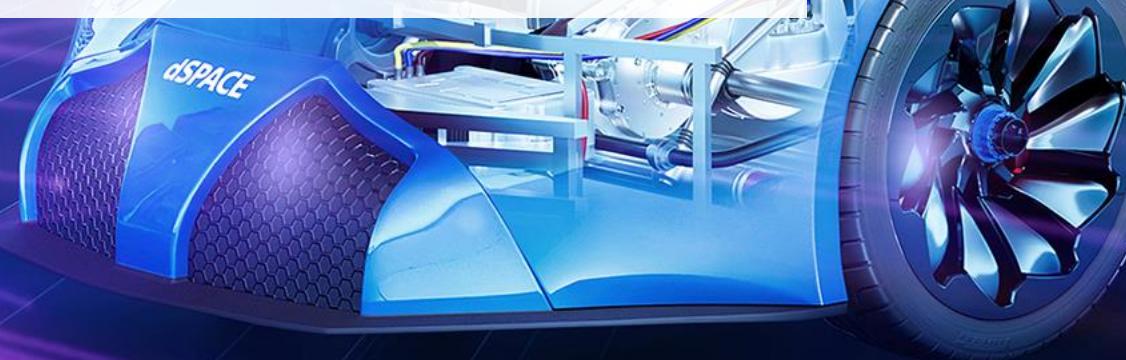
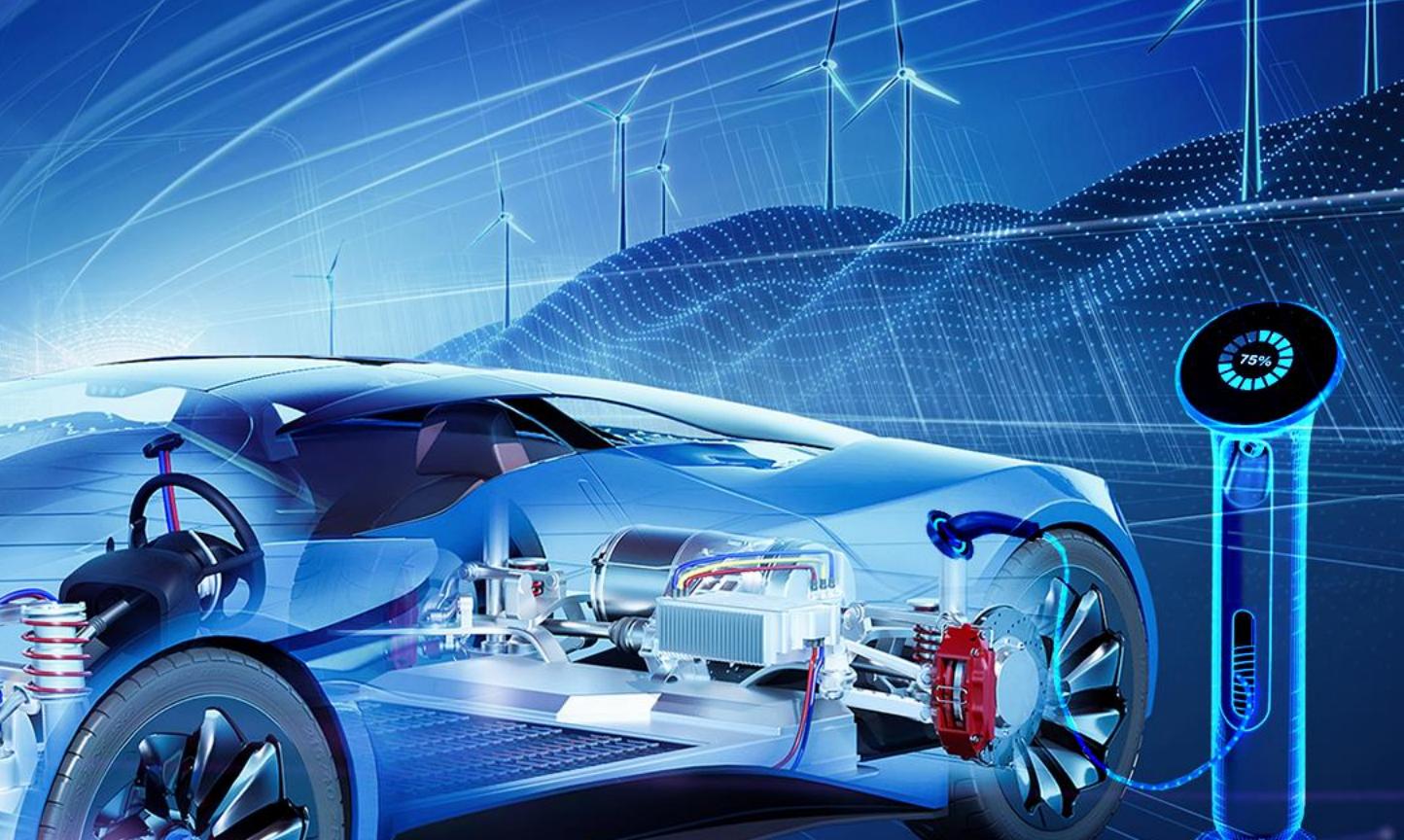
# Modulares Power-HIL-Konzept: Flexibles Testen und Validieren bei voller Leistung

## AutoTest Technical Conference

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

# Agenda

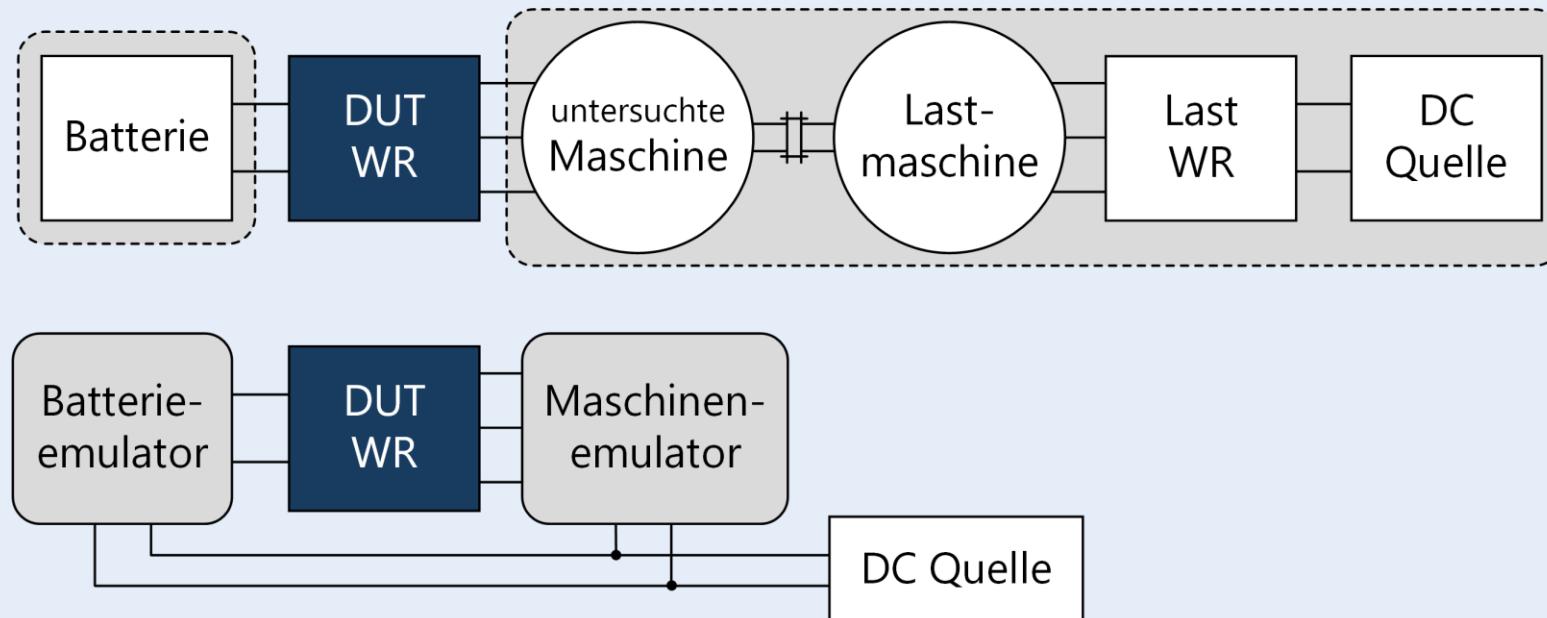
1. Motivation
2. Modulares Power-HIL-Konzept
3. Hochvoltlastmodule
4. Echtzeitmodelle
5. Hardware-Aufbau und Messergebnisse
6. Zusammenfassung



## Motivation

### Power-HIL (PHIL) Maschinen- & Batterieemulation

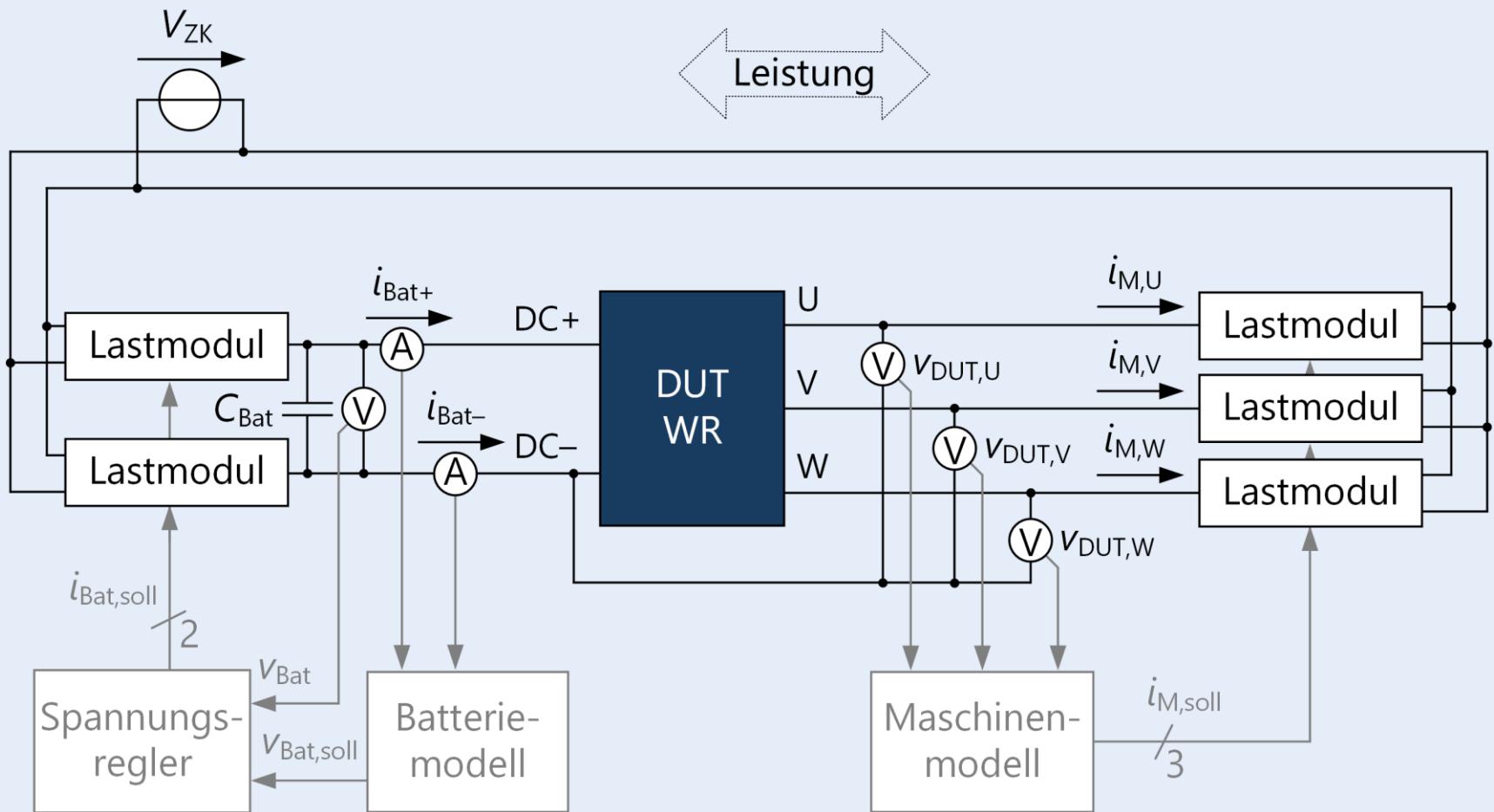
- Testen bzw. Validieren spielt eine wichtige Rolle im Entwicklungsprozess
- Maschinenprüfstand: teuer, nicht flexibel
- PHIL: Testen auf Leistungsebene, flexible Modellparameter



# Modulares Power-HIL-Konzept

## Systemkonzept

- Hochdynamische, bidirektional betreibbare Lastmodule
- Echtzeitmodelle
- Gemeinsamer Zwischenkreis



# Hochvoltlastmodule

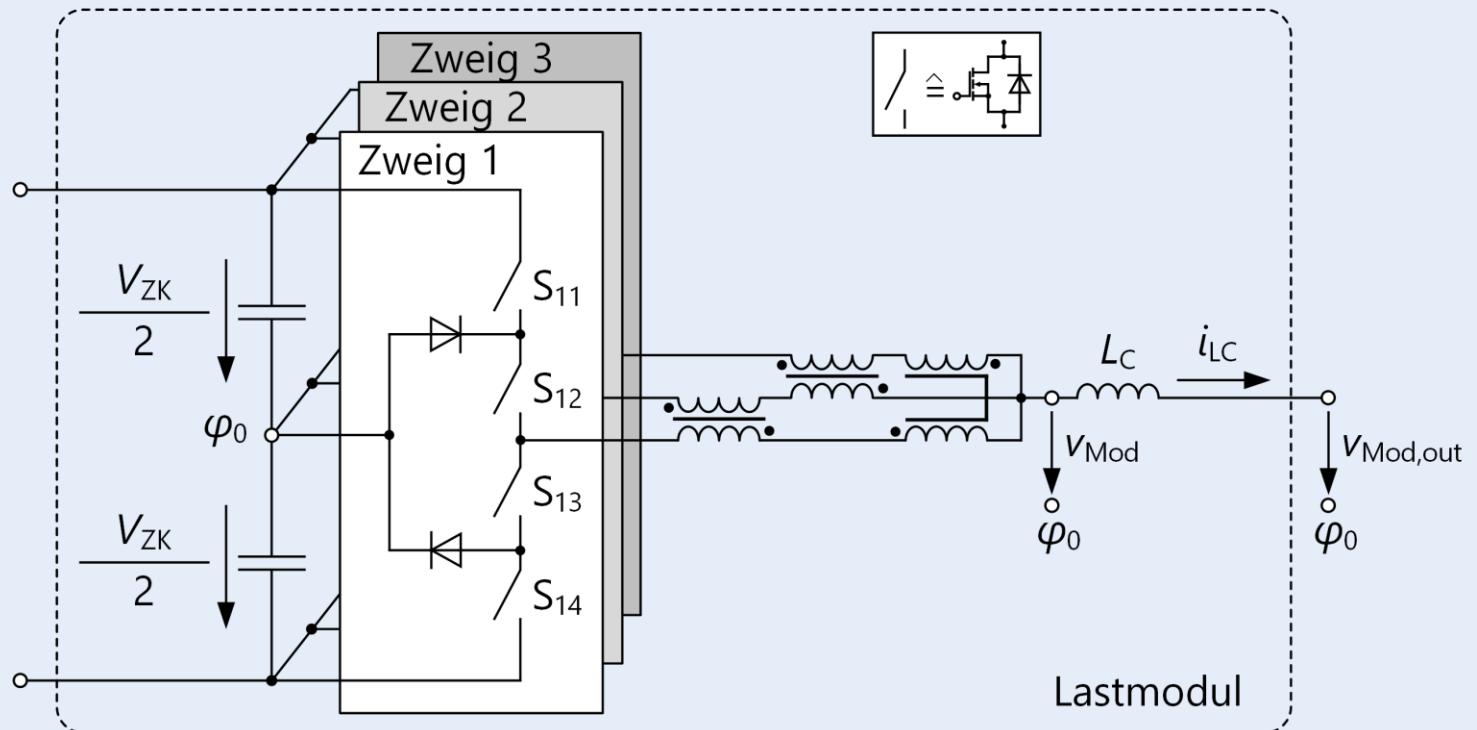
## Lastmodule

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

■ Möglichst geringer zusätzlicher Stromrippel

- Mehrzweigiger Mehrpunktwechselrichter

$$■ v_{\text{Mod}} = \pm \frac{k}{6} \cdot V_{\text{ZK}} \quad \text{mit } k = \{0, 1, 2, 3\}$$



# Echtzeitmodelle

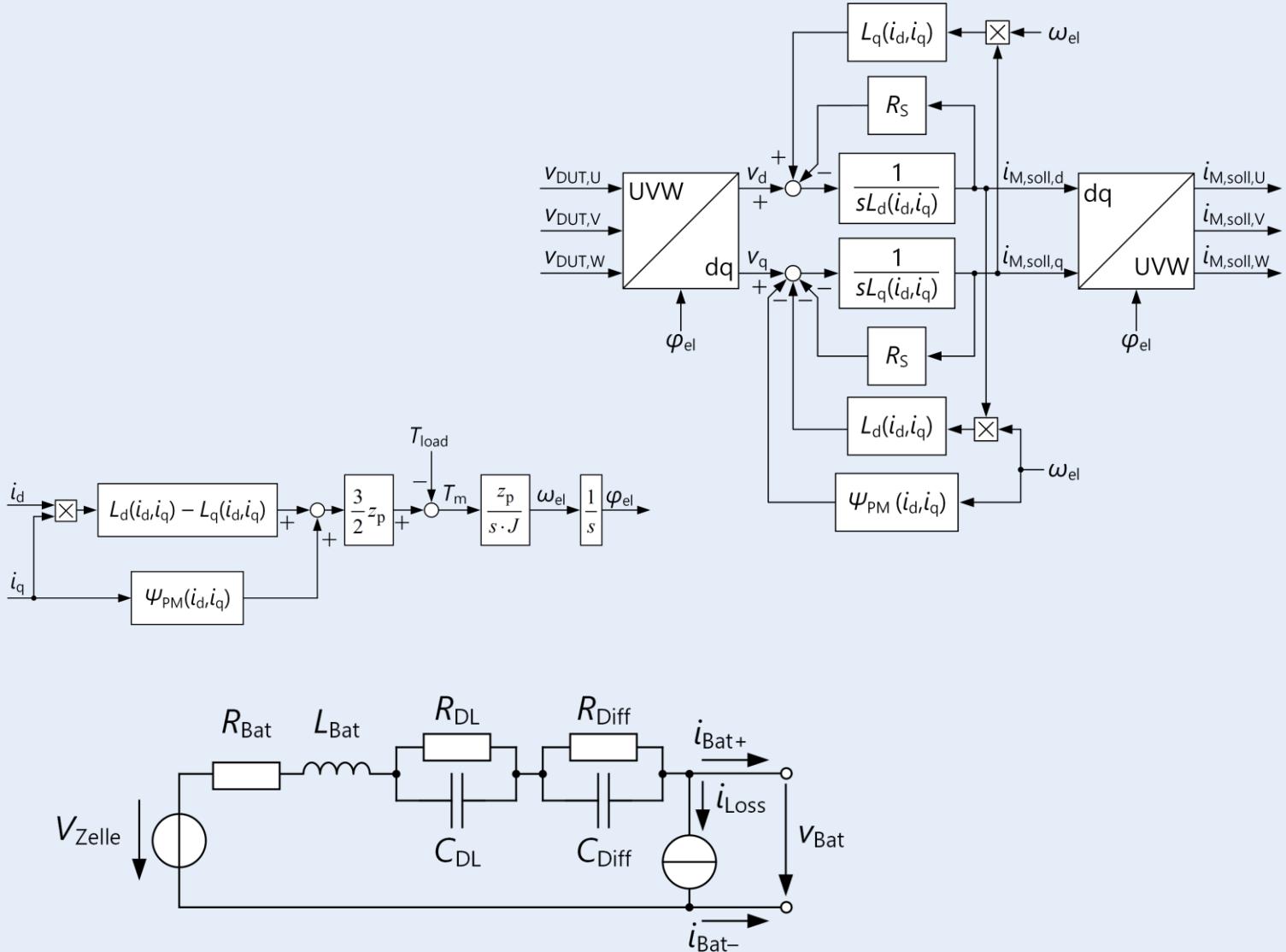
# Maschinenmodell

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

# Batteriemodell

- Hier: Konstante Spannung
  - Dynamische Modelle möglich

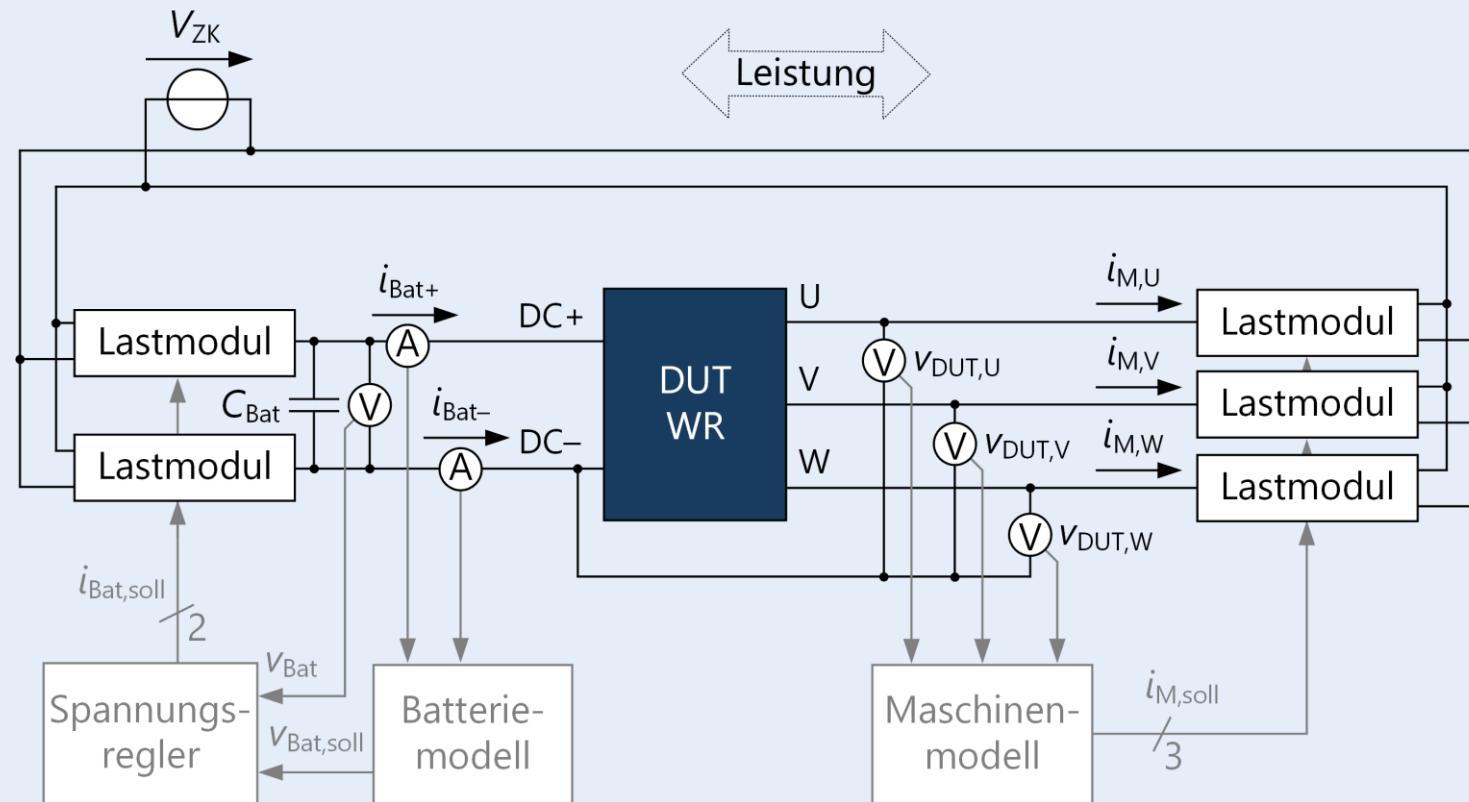
z.B.



# Hardware-Aufbau und Messergebnisse

## Hardware-Aufbau

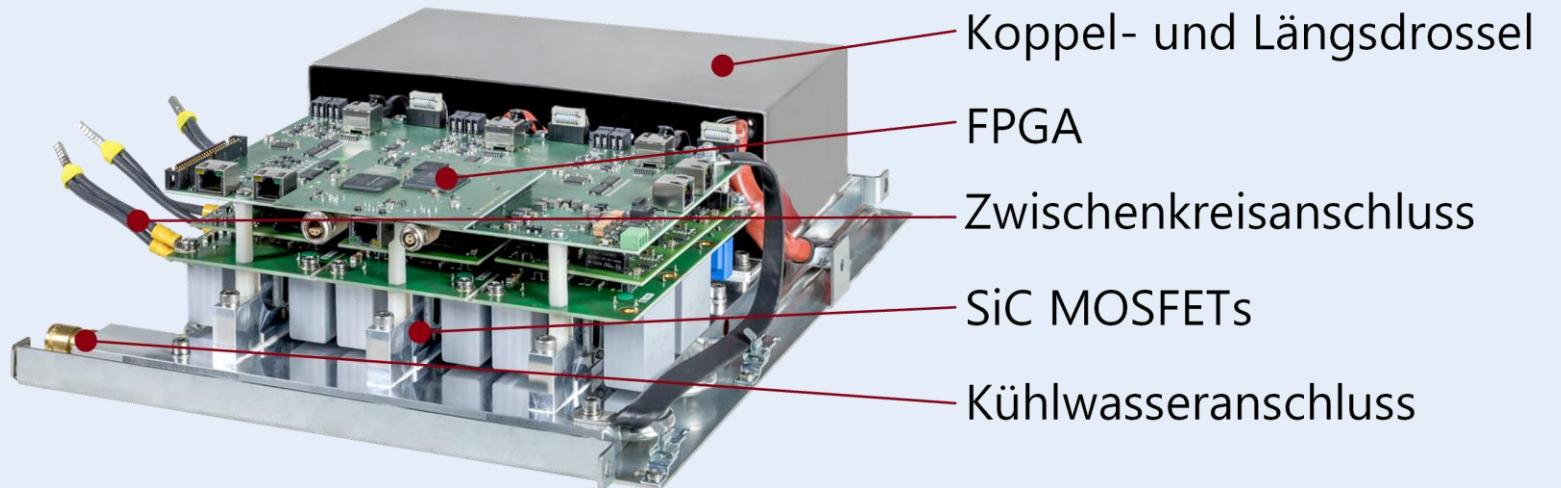
- Jeweils ein Modul pro Batteriepol und pro Maschinenphase



# Hardware-Aufbau und Messergebnisse

## Hardware-Aufbau

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



# Hardware-Aufbau und Messergebnisse

## Messergebnisse

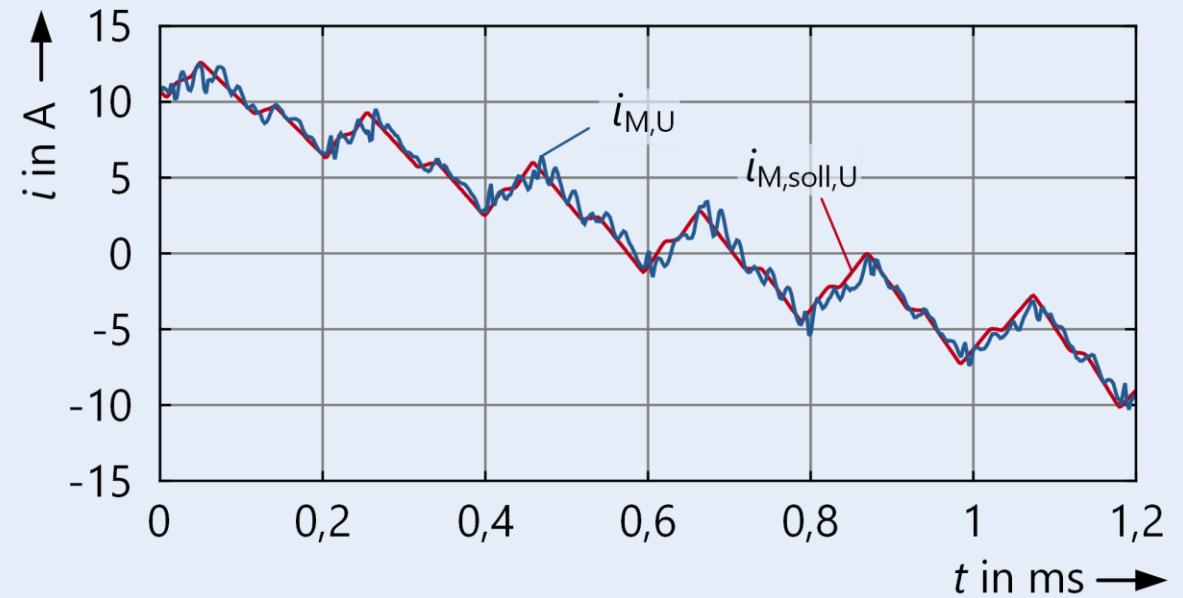
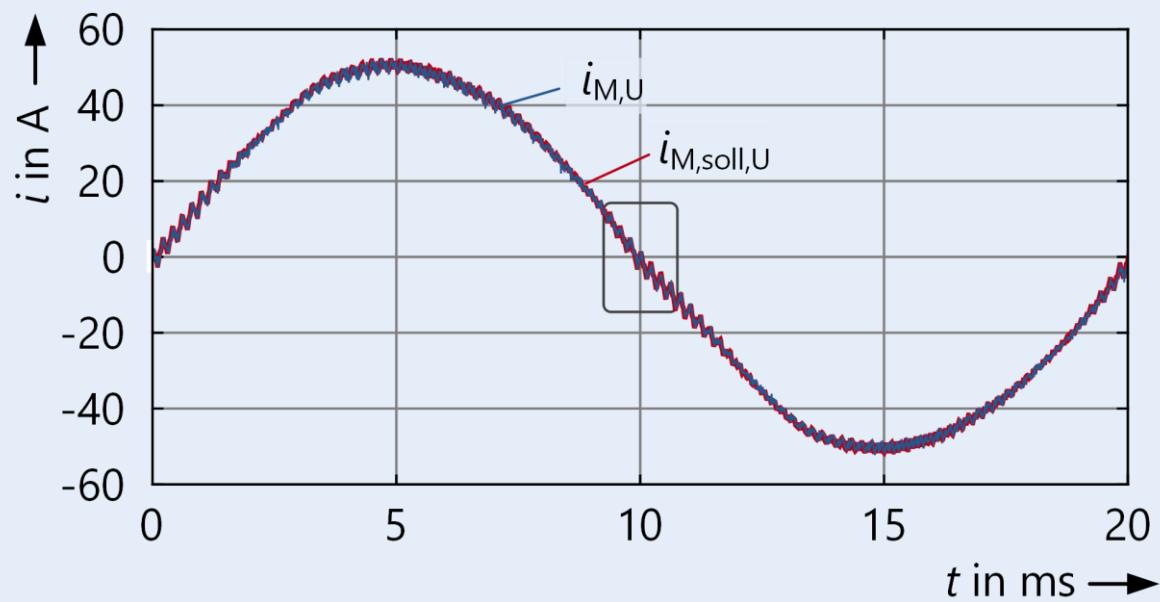
- Drehzahl  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$  eingeprägt
- DUT-Wechselrichter stromgeregelt
- Sollströme:
  - $i_{\text{DUT,soll,d}} = 0$
  - $i_{\text{DUT,soll,q}} = 50 \text{ A}$

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

# Hardware-Aufbau und Messergebnisse

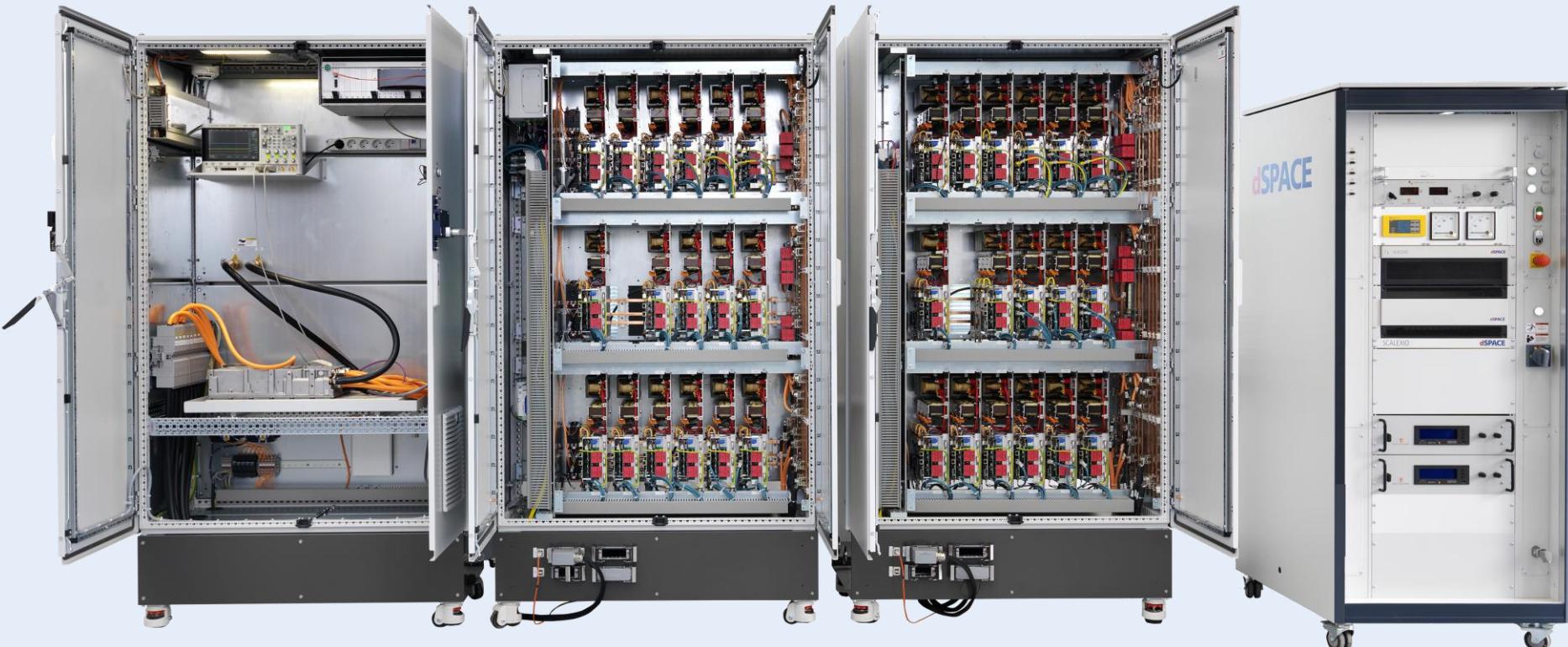
## Messergebnisse

- Emulation ohne sichtbare Abweichung
- Nachbildung des Stromrippels möglich



# Beispielhaftes Testsystem

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



## Batterieemulation

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

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

## Motoremulation

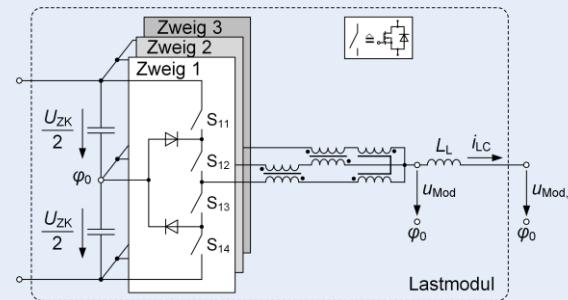
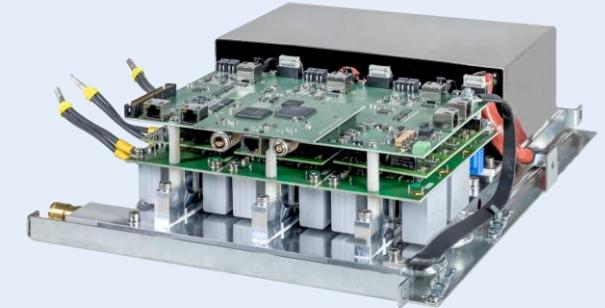
$v_{\text{M},\text{max}} > 1000 \text{ V}$

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

# 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

