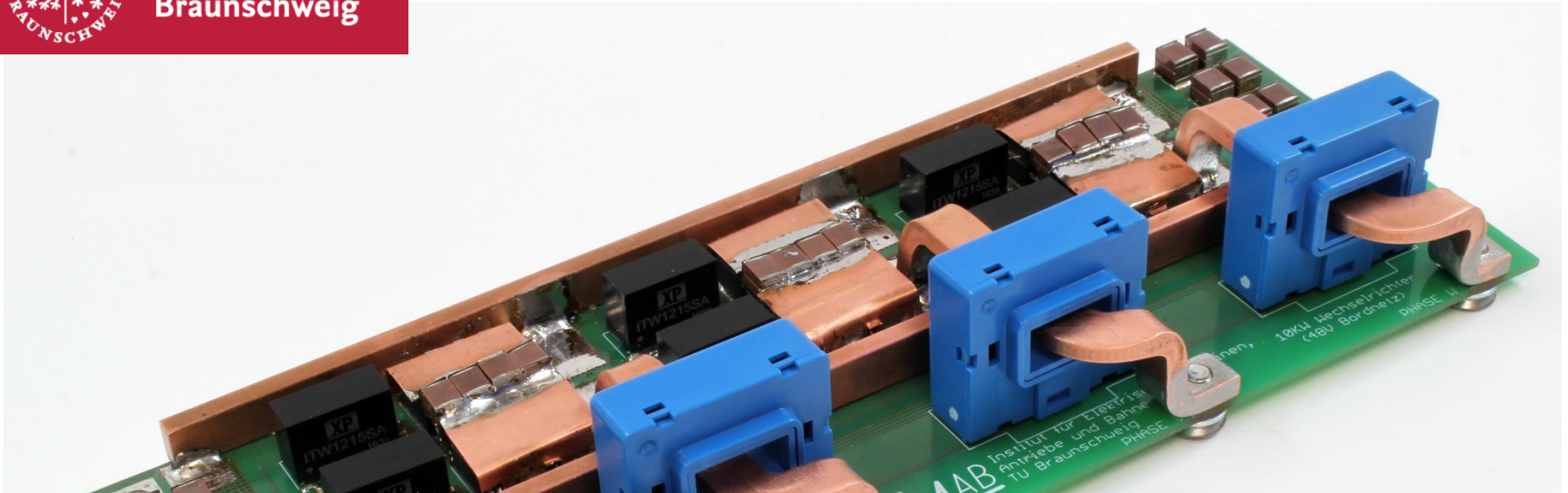




Technische
Universität
Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig



Simulationsgestützter Entwurf eines 48 V/ 12,5 kVA Wechselrichters für Mild-Hybrid Fahrzeuge

Konstantin Siebke

48 V Bordnetze für Mild-Hybrid Fahrzeuge

Vorteile:

- Aufwändiger Berührungsschutz erst ab 60 V
- Geringerer technischer Aufwand
- Kosteneinsparung

Herausforderungen:

- Handhabung der hohen Ströme (bei 10 kW, ca. 200 A)
- Optimale Ausnutzung der Spannung für E-Maschine

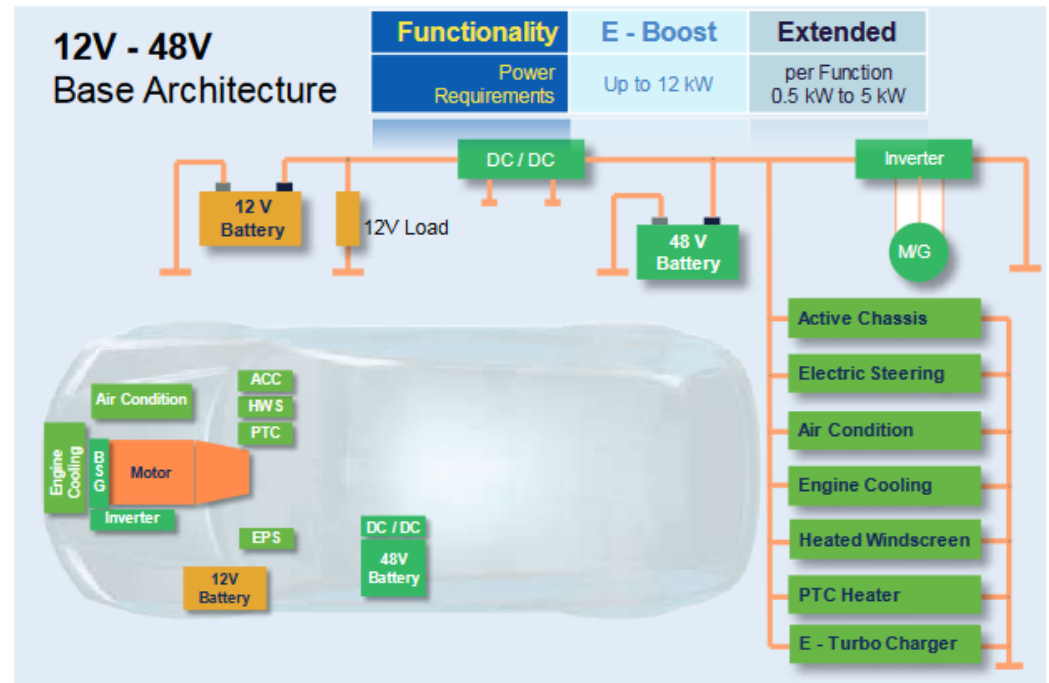


Abbildung 1: Struktur eines 48 V Bordnetzes [1]

Gliederung

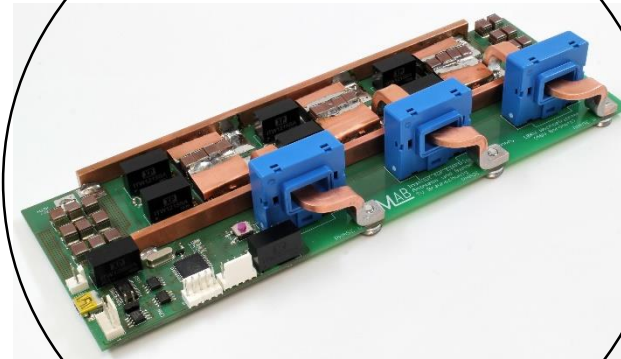
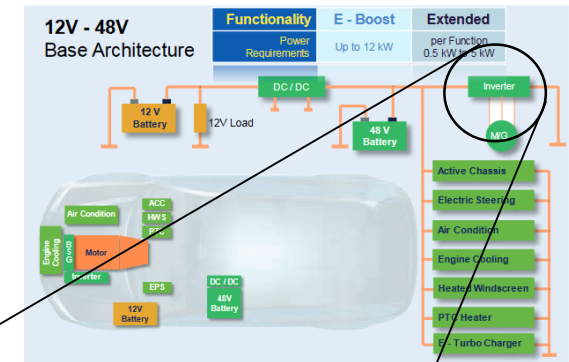
Elektrische Simulationen:

- Verlustleistungsberechnung
- Auswahl der Leistungshalbleiter (Art und Anzahl)

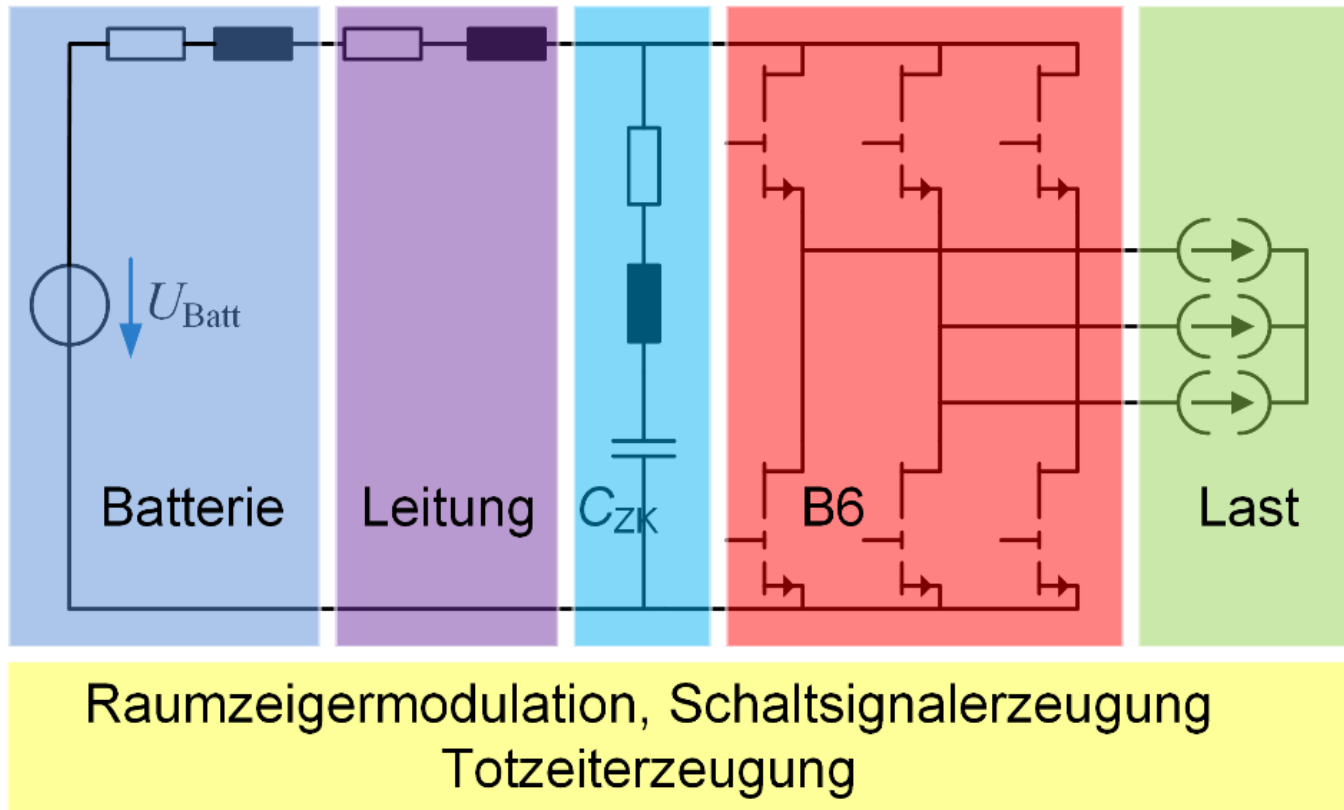
Thermische Simulationen:

- Auslegung und Entwurf des Kühlkörpers
- Bewertung der Kühlkonzepte

Zusammenfassung



Simulationsmodell des Wechselrichters



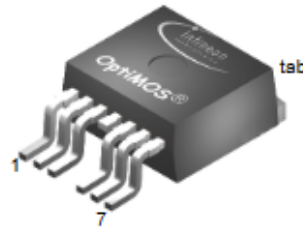
Simulation mit ANSYS Simplorer

Untersuchte Leistungshalbleiter

Silizium (Si)

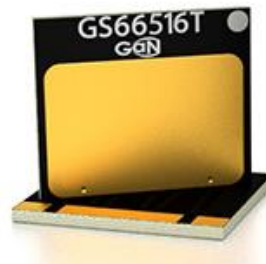
MOSFET 1: Infineon OptiMos™ IPB015N10N5, 100 V, 300 A, 1,5 mΩ

MOSFET 2: Infineon OptiMos™ IPB017N10N5, 100 V, 180 A, 1,7 mΩ



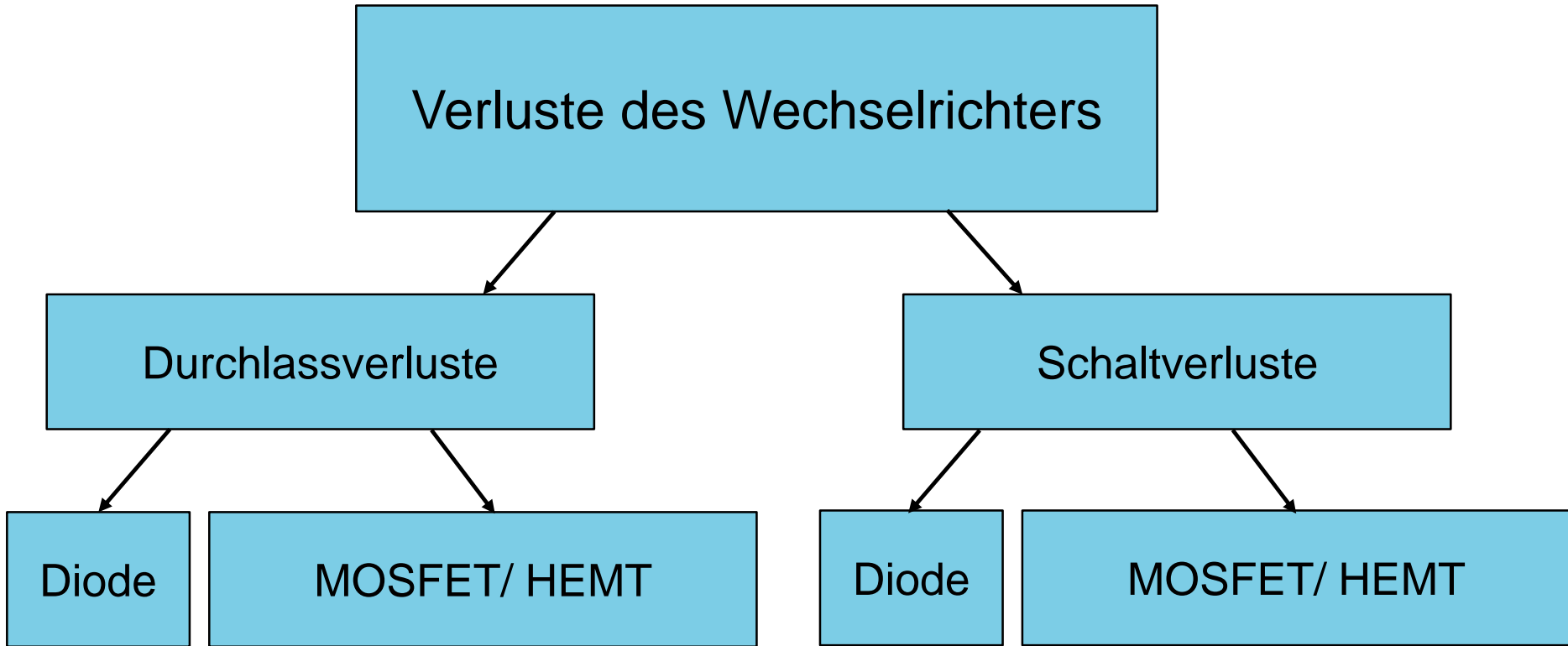
Galliumnitrid (GaN)

HEMT (High Electron Mobility Transistor): GaN-Systems GS61008T, 100 V, 90 A, 7 mΩ



Modellbildung der Leistungshalbleiter

Verluste des Wechselrichters



Modellbildung der Leistungshalbleiter

Durchlassverluste

Simulation der Durchlassverluste durch statische Modelle der Leistungshalbleiter:

- Ersetzen des MOSFETs/ HEMTs durch Widerstand $R_{DS(on)}$ und Schalter
- Vereinfachung der Diode durch Forwardspannung V_F und Forwardwiderstand R_F

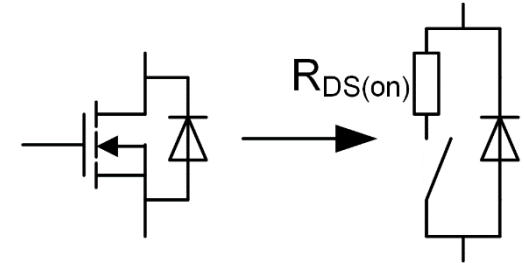


Abbildung 2: Statisches Simulationsmodell des Leistungshalbleiters

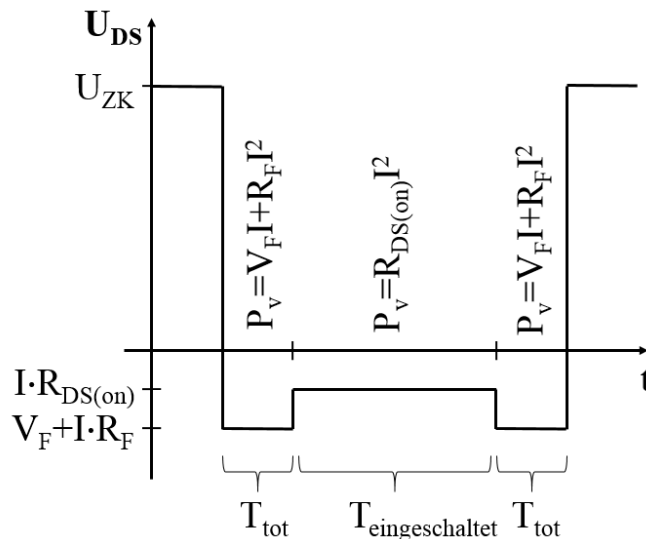


Abbildung 3: Durchlassverluste während der Rückwärtsleitung des MOSFETs

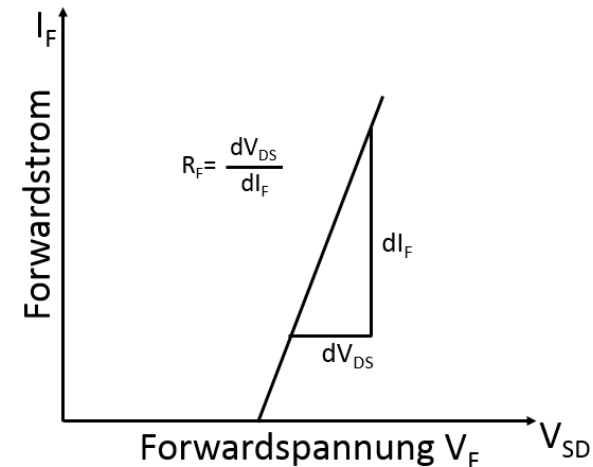


Abbildung 4: Vereinfachte Diodenkennlinie

Modellbildung der Leistungshalbleiter Schaltverluste

Simulation der Schaltverluste ist durch statische Modelle der Leistungshalbleiter nicht möglich

→Abhilfe:

- Analytische Berechnung der Schaltverluste
- Modellierung der Schaltverluste durch Berechnungsvorschrift im Simulationsmodell

$$E_{on/off} = E_{on/off}(U_N, I_N) \frac{I_{DS}}{I_N} \frac{U_{DS}}{U_N}$$

Mit $E_{on/off}(U_N, I_N)$ Schaltenergie bei U_N und I_N , Datenblattangabe

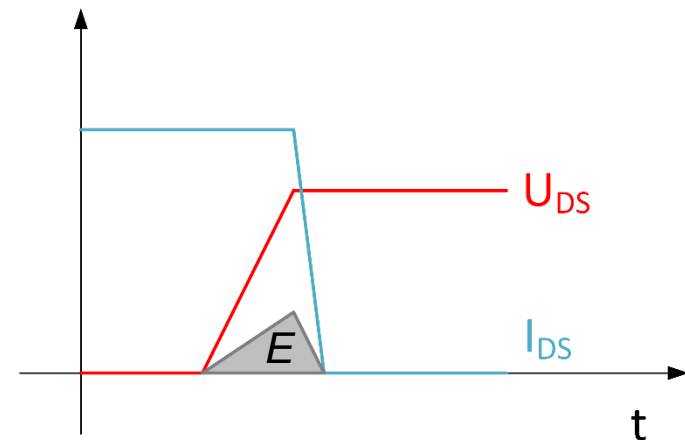



Abbildung 5: Idealisierter Ausschaltvorgang

Simulation der Halbleiterverluste

Leistungshalbleiter		Verlustleistung/ Parallelschaltung
Si MOSFET 1		48 W
Si MOSFET 2		61 W
Si MOSFET 2, 2 parallel		32 W
GaN HEMT 2 parallel		207 W
GaN HEMT 3 parallel		140 W
GaN HEMT 4 parallel		105 W
GaN HEMT 5 parallel		85 W

Gliederung

Elektrische Simulationen:

- Verlustleistungsberechnung
- Auswahl der Leistungshalbleiter (Art und Anzahl)

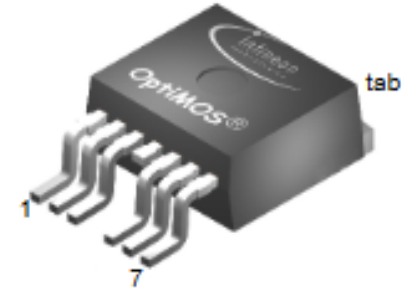
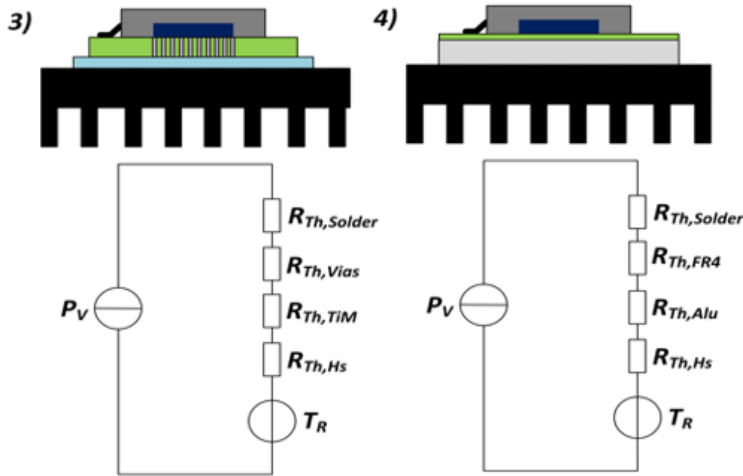
Thermische Simulationen:

- Auslegung und Entwurf des Kühlkörpers
- Bewertung der Kühlkonzepte

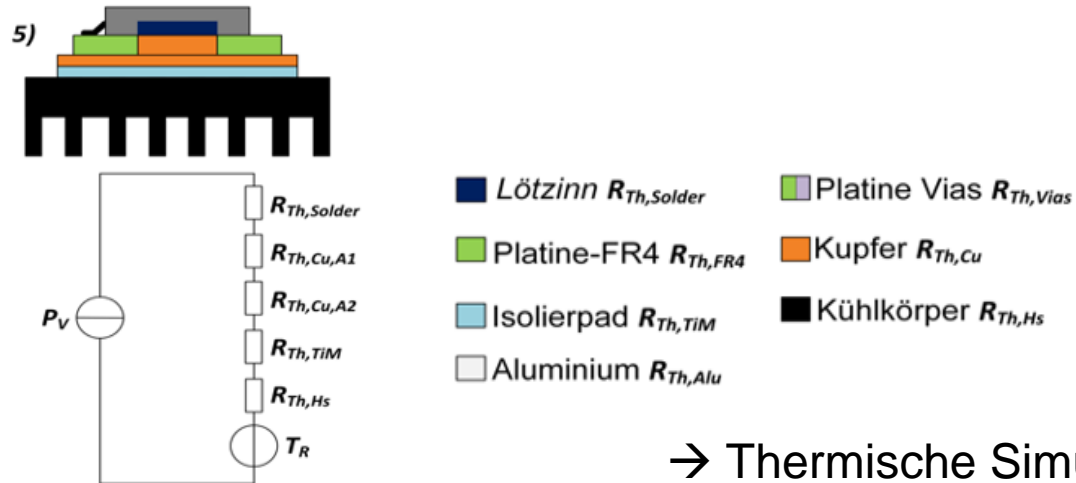
Zusammenfassung

Thermische Simulation des Wechselrichters

Entwärmungsmöglichkeiten für Si-Leistungshalbleiter



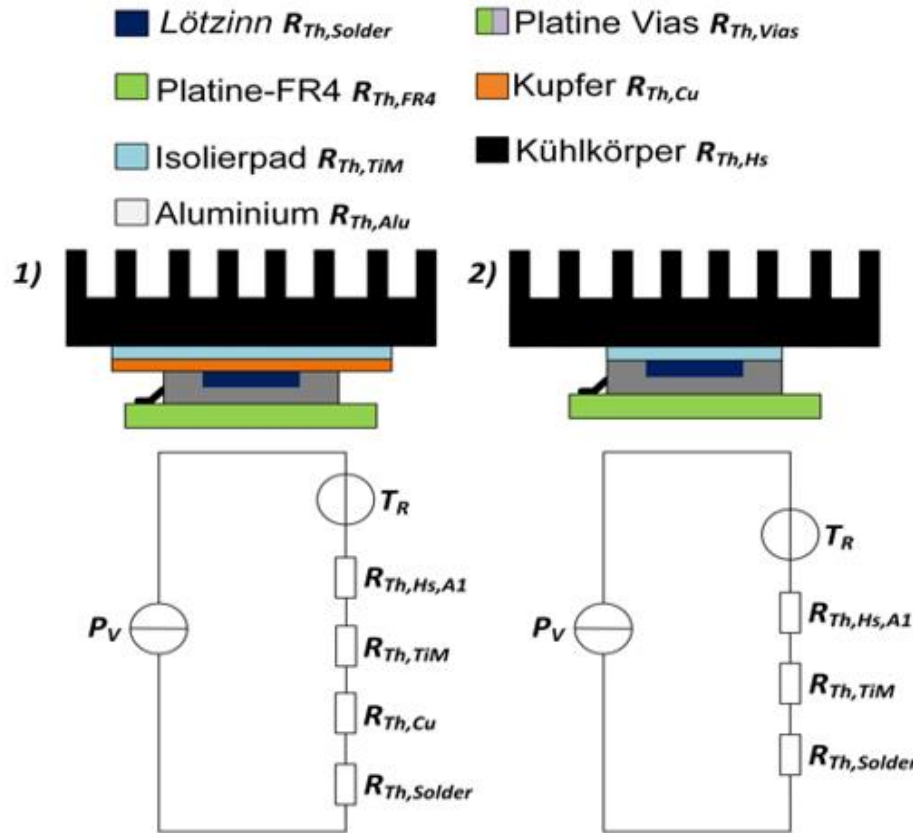
$$R_{th} = \frac{d}{A \lambda}$$



→ Thermische Simulation mit ANSYS Workbench

Thermische Simulation des Wechselrichters

Entwärmungsmöglichkeiten für GaN-Leistungshalbleiter



$$R_{th} = \frac{d}{A \lambda}$$

Thermische Simulation des Wechselrichters

Temperaturverteilung Si

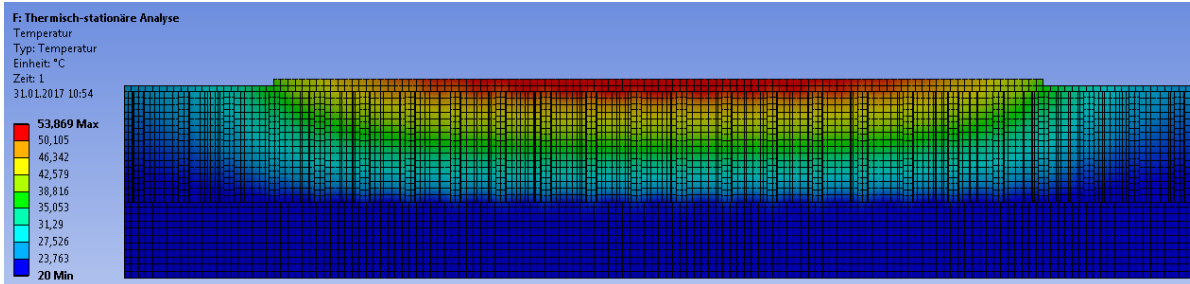


Abbildung 8: Temperaturverteilung Si, thermische Vias

$$T_{\max} = 53,9 \text{ °C}$$

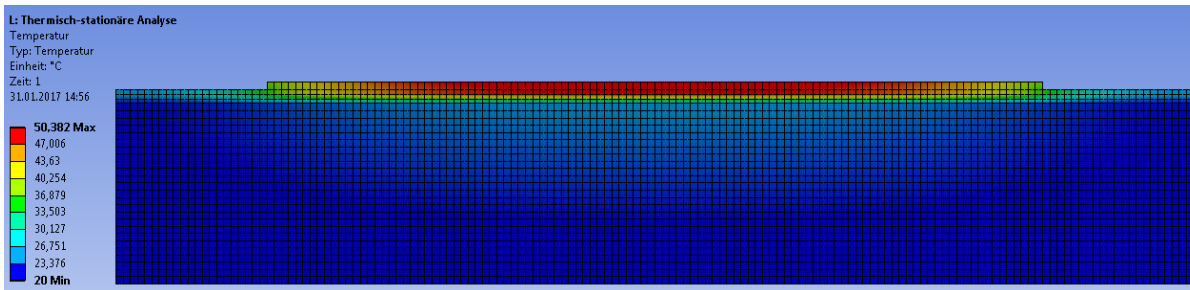
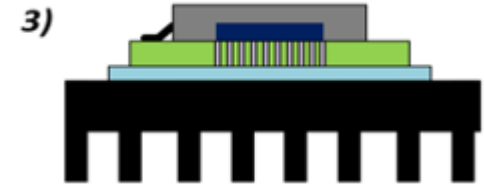


Abbildung 9: Temperaturverteilung Si, Aluminiumplatte

$$T_{\max} = 50,4 \text{ °C}$$

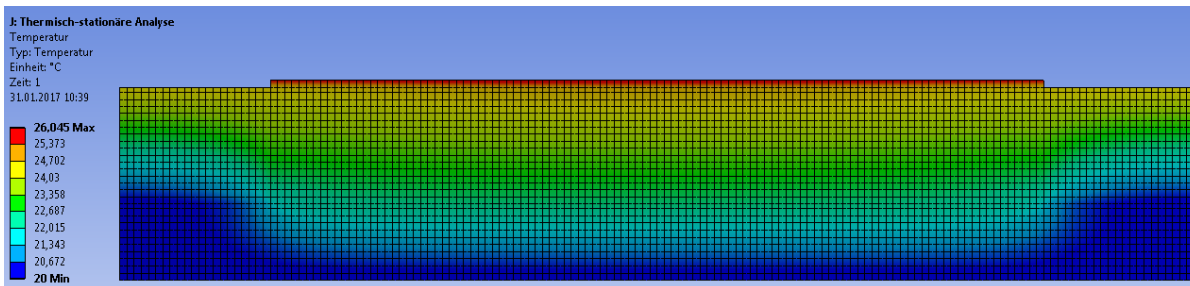
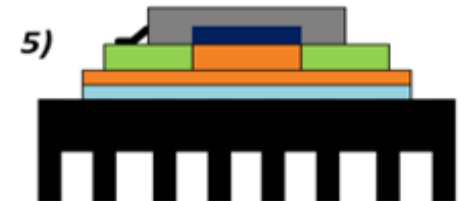


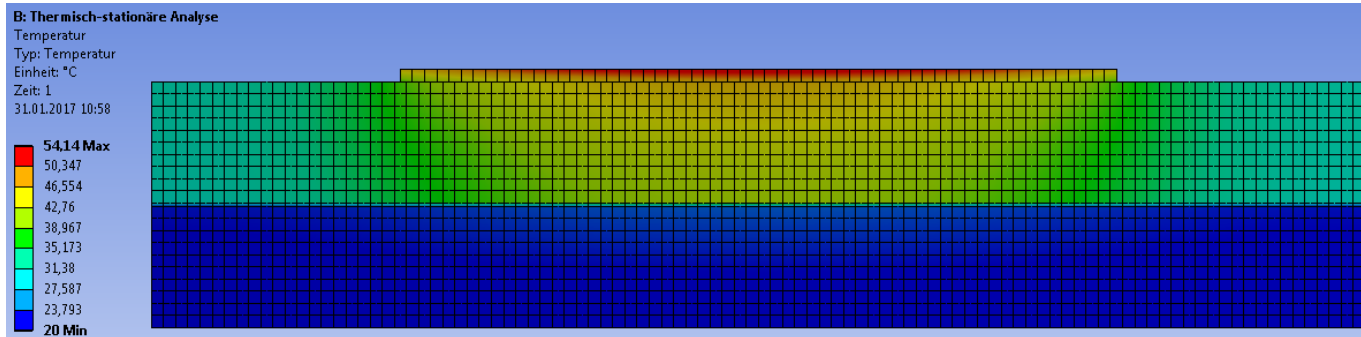
Abbildung 10: Temperaturverteilung Si, Kupferfüllung

$$T_{\max} = 26 \text{ °C}$$



Thermische Simulation des Wechselrichters

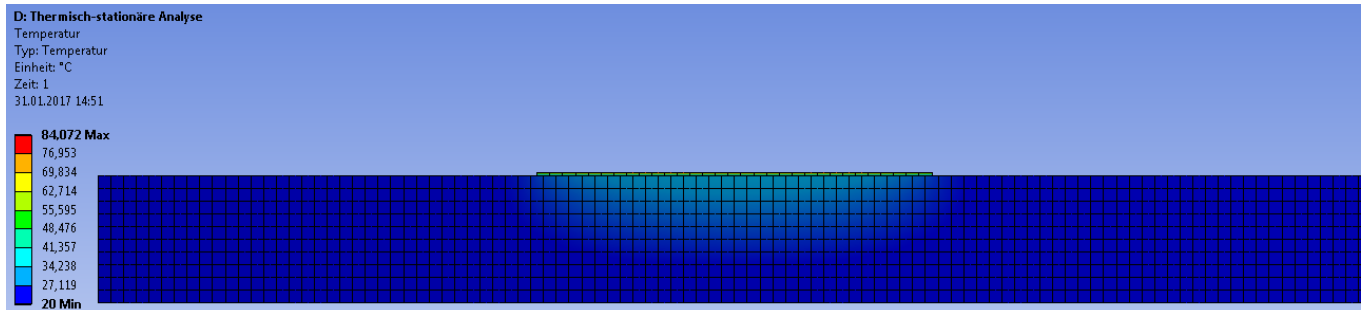
Temperaturverteilung GaN



$$T_{\max} = 54,1 \text{ °C}$$



Abbildung 6: Temperaturverteilung GaN mit Wärmeverteiler



$$T_{\max} = 84 \text{ °C}$$



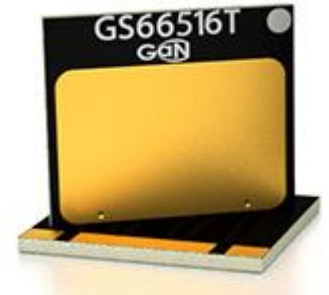
Abbildung 7: Temperaturverteilung GaN ohne Wärmeverteiler

Thermische Simulationen des Wechselrichters

Vergleich Berechnung-Simulation

Konfiguration	Berechnung	Simulation
1) GaN mit Wärmeverteiler	40,2 °C	54,1 °C
2) GaN ohne Wärmeverteiler	73,8 °C	84 °C
3) Si mit Vias	24,5 °C	53,9 °C
4) Si mit Aluminiumplatine	35,2 °C	50,4 °C
5) Si mit Kupferfüllung im PCB	24,8 °C	26 °C

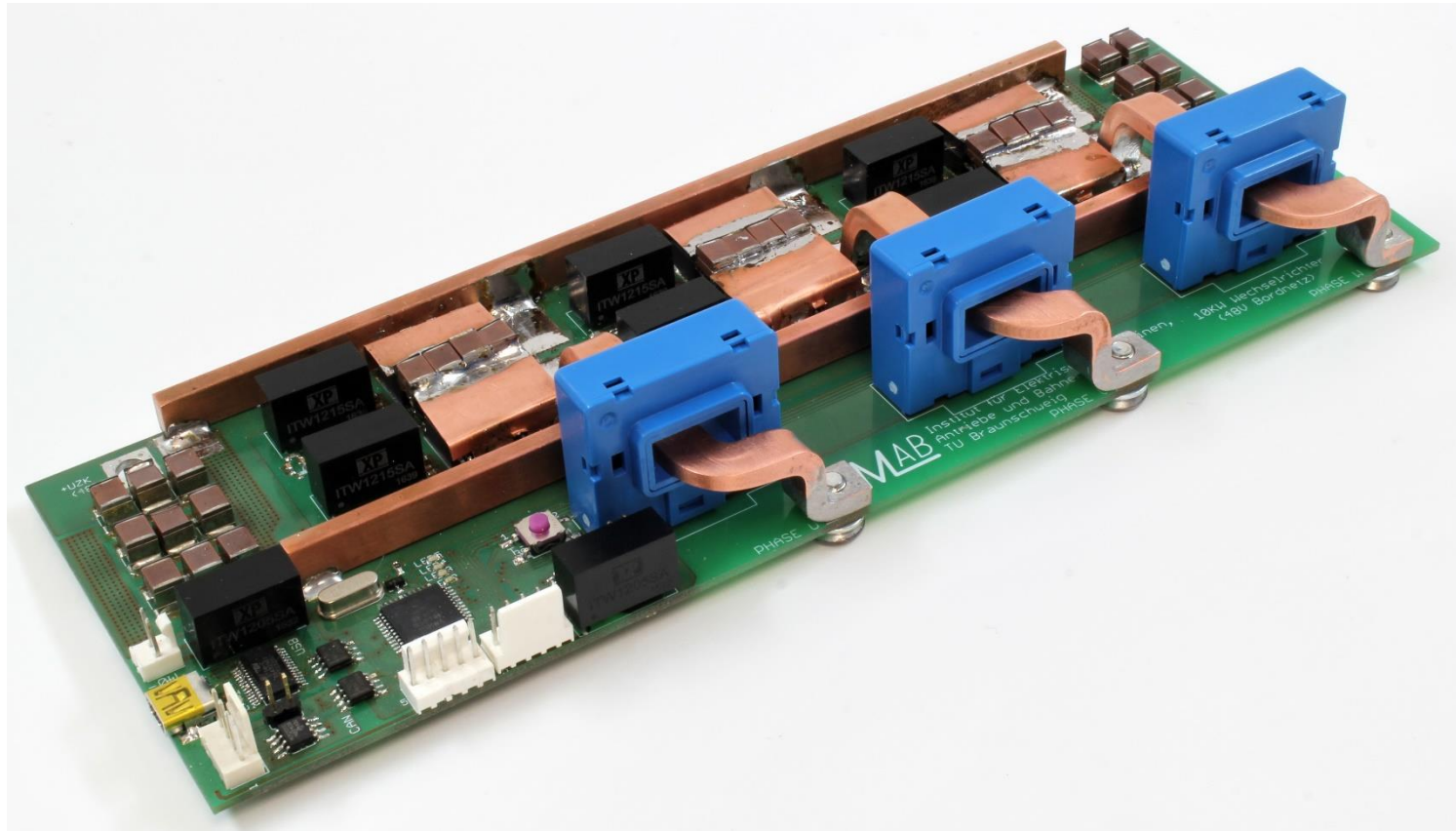
→ Erhöhung der thermischen Widerstände durch ungleichmäßige laterale Ausbreitung des Wärmestroms in der Simulation



Zusammenfassung

- Auslegung eines 48 V/ 12,5 kVA Wechselrichters
- Bestimmung der Verlustleistung mit ANSYS Simplorer
- Verwendung von statischen Halbleitermodellen und Berechnungsmodelle für Schaltverluste
 - 2 parallele Si-MOSFETs (180 A)
- Untersuchung der Entwärmungsmöglichkeiten mit ANSYS Workbench
- Vergleich mit 1d-Berechnung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Literatur

Literatur

- [1] J. Bilo, H.-G. Burghoff, *48-V-Bordnetz – Schlüsseltechnologie auf dem Weg der Elektromobilität*. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, Frankfurt a. M., Dez 2015.
- [2] G. Tareilus. *Der Auxiliary Resonant Commutated Pole Inverter im Umfeld schaltverlustreduzierter IGBT-Pulswechselrichter* Dissertation, TU-Braunschweig, 2002.
- [3] C. Faraji-Tajrishi. Entwurf und Aufbau eines 10 kW Wechselrichters mit 48V Bordnetz für Hybridfahrzeuge, Masterarbeit, TU-Braunschweig, 2017
- [4] K. Siebke, T. Schobre, N. Langmaack, R. Mallwitz, GaN based DC-DC Power Conversion-Experiences from Earth to Space, ESA/ECSAT, 8th Wide Bandgap Semiconductor and Components Workshop, Harwell, UK, 2016

Zwischenkreiskapazität

- Ermittlung des Worst Case Betriebspunktes
- Bestimmung der Spannungswelligkeit am Zwischenkreiskondensator
- Skalierung der Zwischenkreiskapazität
- Reduzierung der Spannungswelligkeit auf Vorgabe, z. B. 1 % der Zwischenkreisspannung

Exemplarisch für 0,5 V Spannungswelligkeit,
2,5 m Zuleitung (2,5 μH)

→ **600 μF**

