

## Geometrische Zuverlässigkeitsoptimierung der AVT in der Leistungselektronik

Dr. Carmen Faust-Ellsäßer, AE/EES3

Automotive Electronics



## Inhalt

### → **Einleitung**

- Elektrische Antriebe im Fahrzeug: Belastung & Belastbarkeit

### → **Simulationsmethode**

- Berechnung der thermischen Belastung eines Designelements

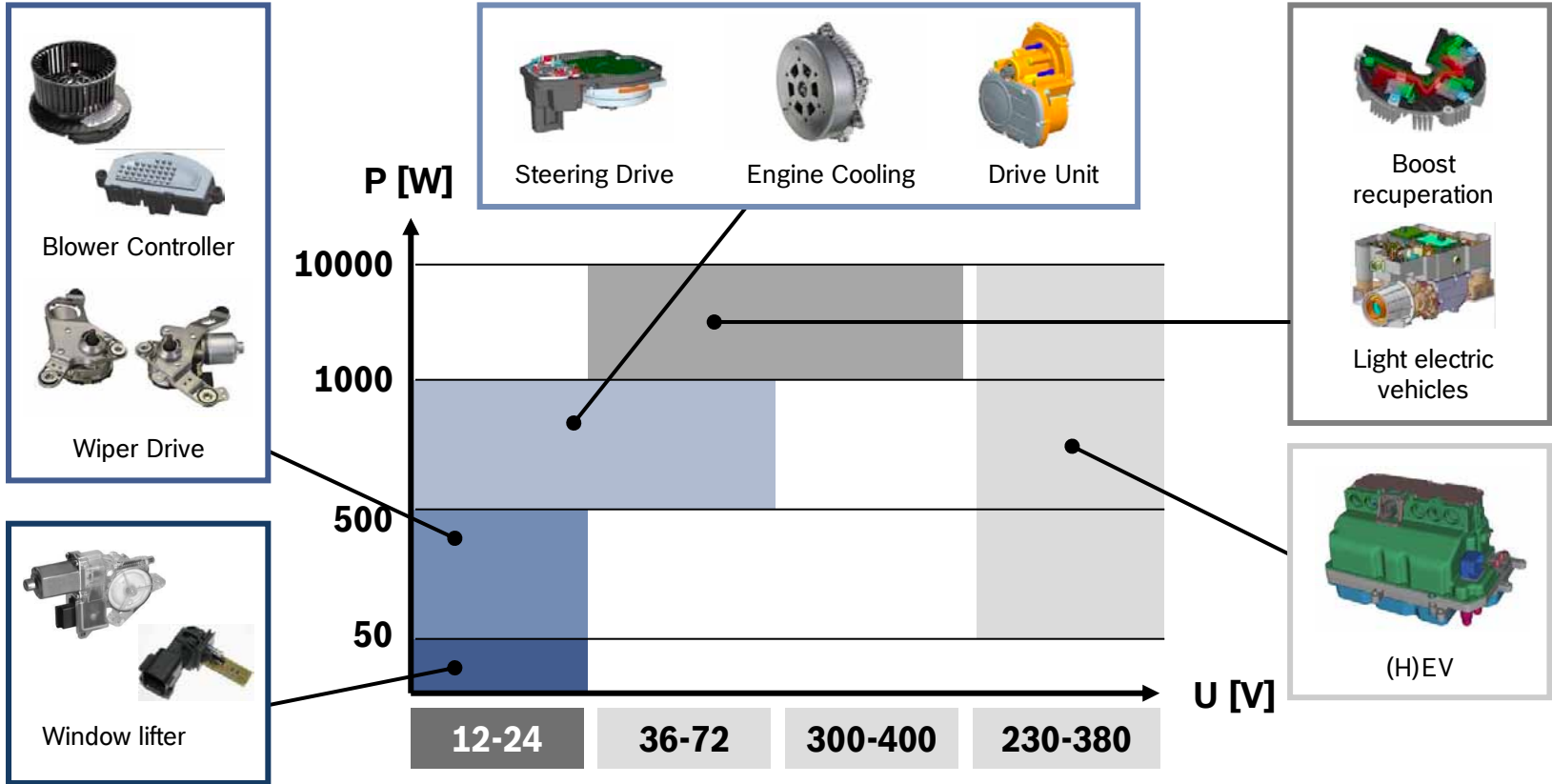
### → **Kopplung mit Optimierung**

- Zuverlässigkeitsgestaltung

### → **Anwendungsbeispiel**

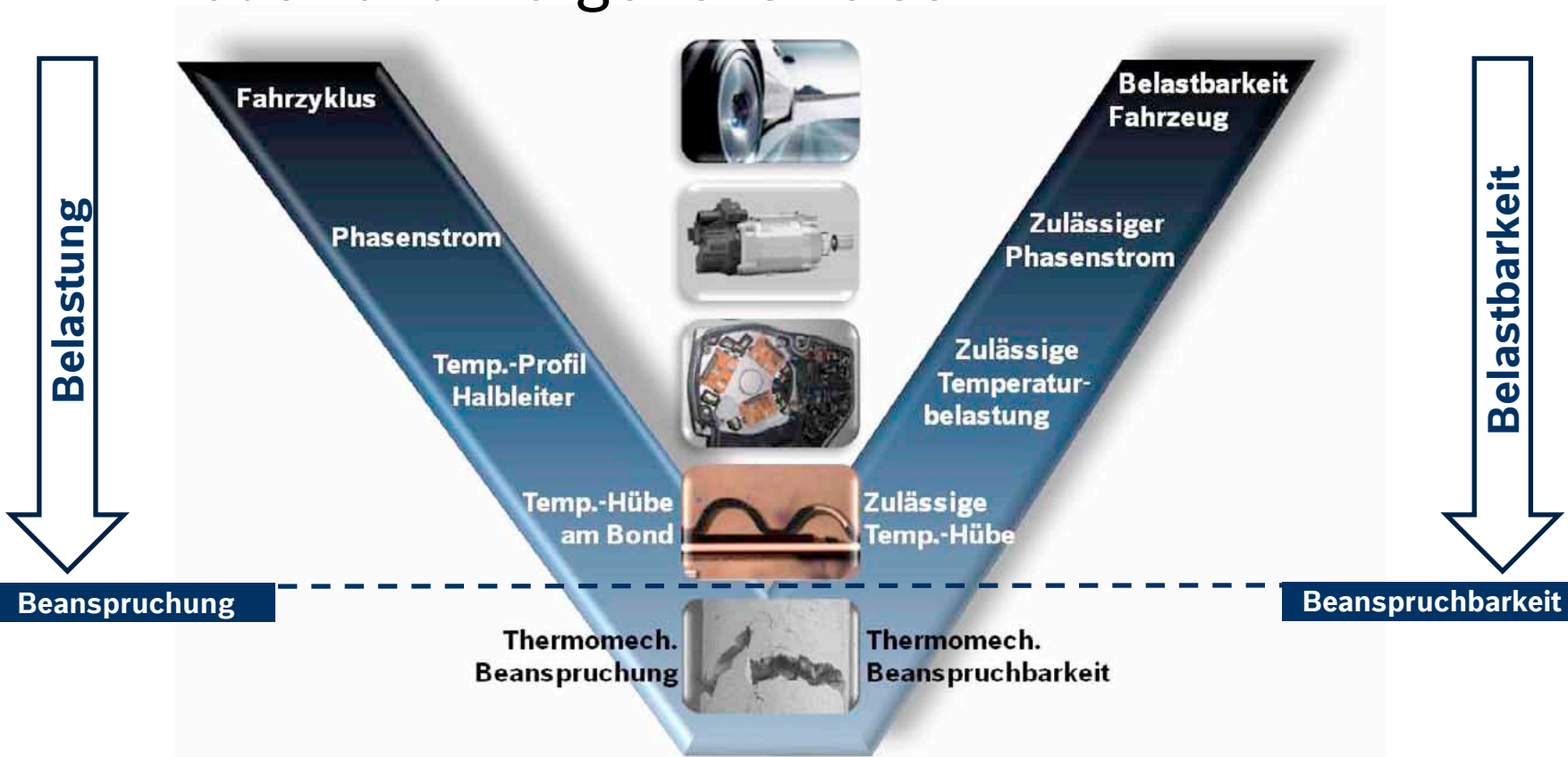


## Elektrische Antriebe im Fahrzeug



Hier: Betrachtung der Leistungsendstufen

## V-Modell und Vorgehensweise



**Auf Beanspruchungsebene: Geometrieunabhängige Betrachtung möglich;  
aber eine Konstruktion, viele Fahrzyklen  $\Rightarrow$  Belastungsebene**

## Belastbarkeit: Physics-of-Failure

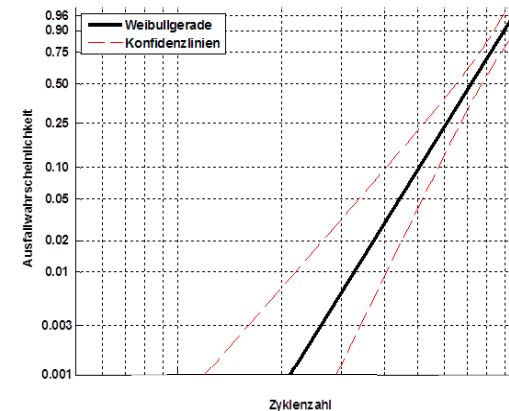
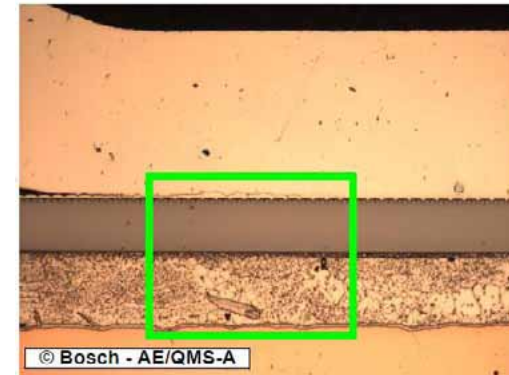
- Designelement spezifischer Ausfallmechanismus:
  - Z.B. Bondabheber durch thermomechanischen Mismatch
- Modellierung des **Ausfallzeitpunkts** für **Temperaturhub  $\Delta T_j$**  und **Mittentemperatur  $T_m$**  <sup>(1)</sup>

$$N_f = A \cdot \underbrace{\Delta T_j^\alpha}_{\text{Coffin-Manson für Abhängigkeit von Temperaturhub}} \cdot \underbrace{\exp\left(\frac{Q}{R \cdot T_m}\right)}_{\text{Arrhenius für Abhängigkeit von Mittentemperatur}}$$

Coffin-Manson für Abhängigkeit von Temperaturhub

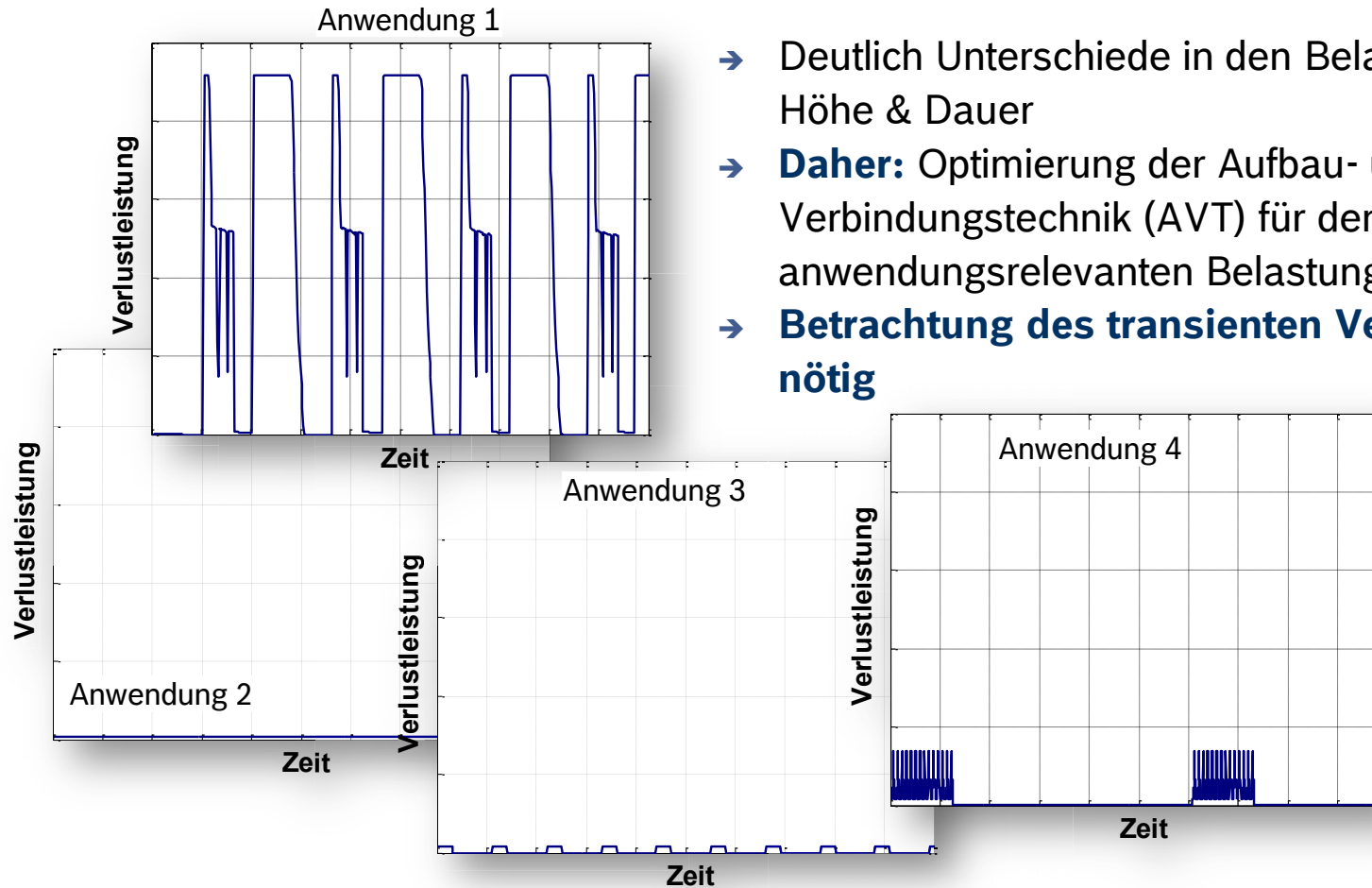
Arrhenius für Abhängigkeit von Mittentemperatur

- **End-of-life Versuche:** Bestimmung von  $\alpha$  und  $Q$ 
  - mit verschiedenen Temperaturhuben
  - mit verschiedenen Mittentemperaturen



<sup>(1)</sup> Held, M. et al., 1997

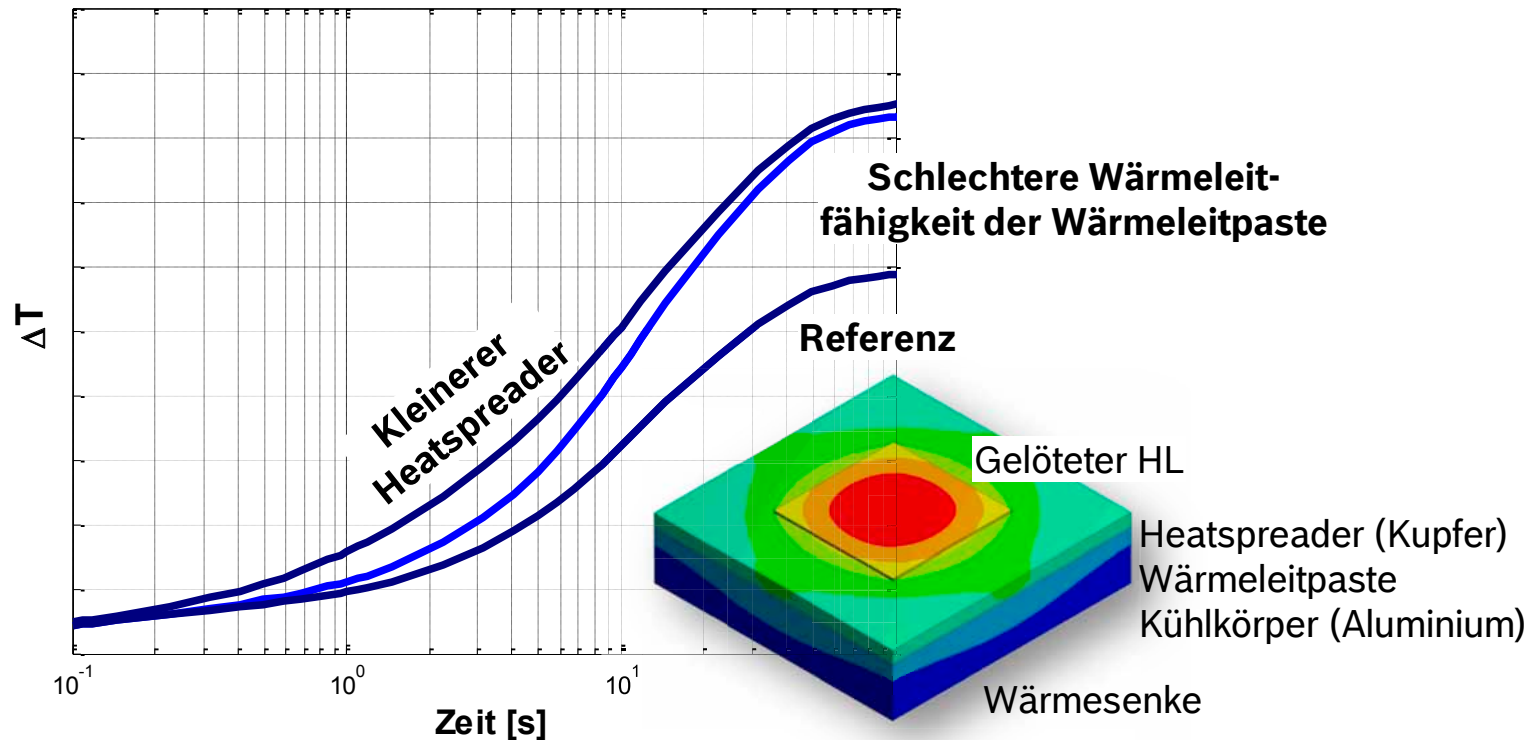
## Typische Belastungen der Halbleiter: $P_{\text{Verlust}}$



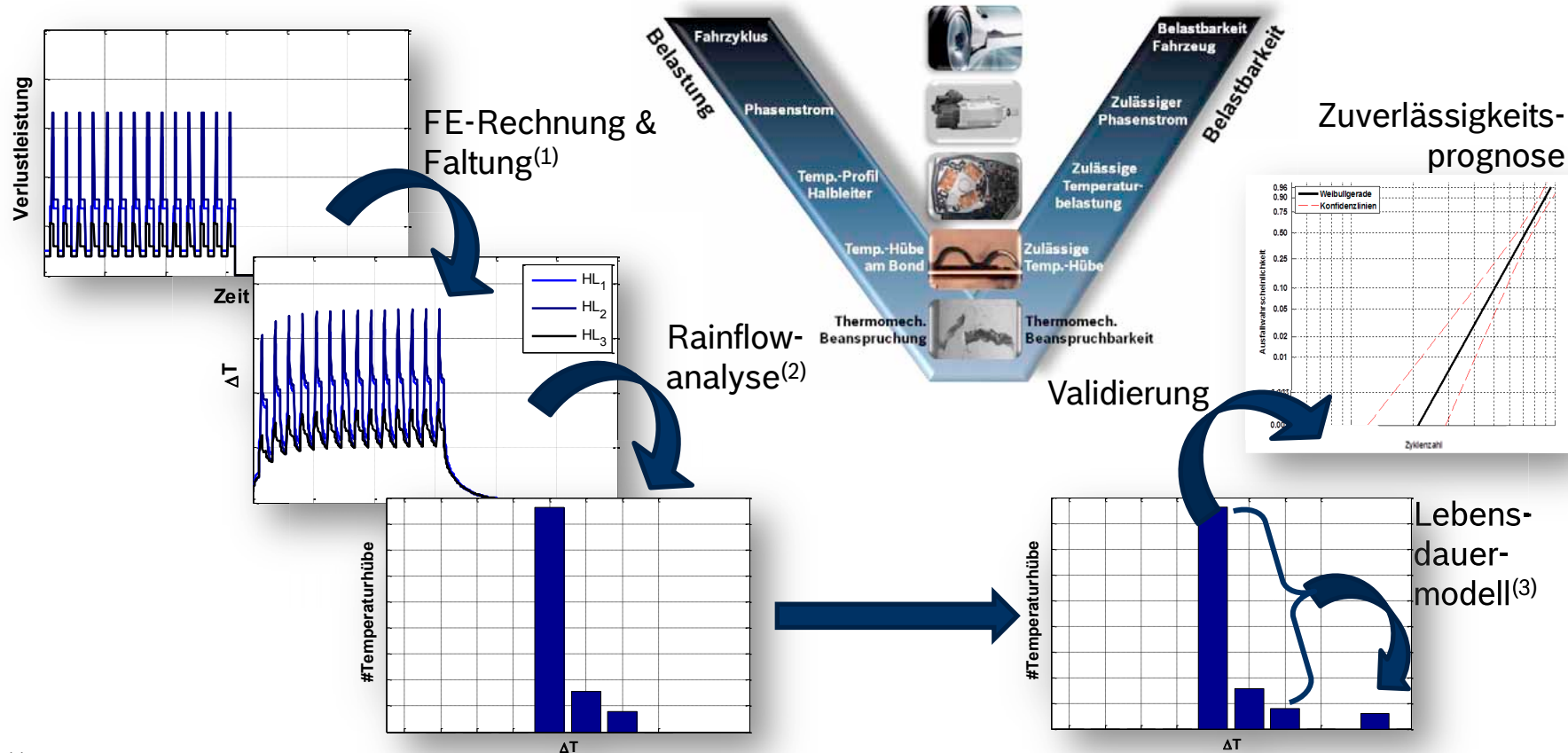
- Deutlich Unterschiede in den Belastungen: Höhe & Dauer
- **Daher:** Optimierung der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) für den anwendungsrelevanten Belastungsfall
- **Betrachtung des transienten Verhaltens nötig**

## Information über therm. Verhalten: $Z_{th}$ -Kurve

→  $Z_{th}$ -Kurve = transiente Temperaturantwort der Verlustleistungsquelle auf konstanten und normierten Verlustleistungseintrag



## Modellbasierte Zuverlässigkeitsbewertung



<sup>(1)</sup>Gerstenmaier Y.C., Wachutka G, 2004

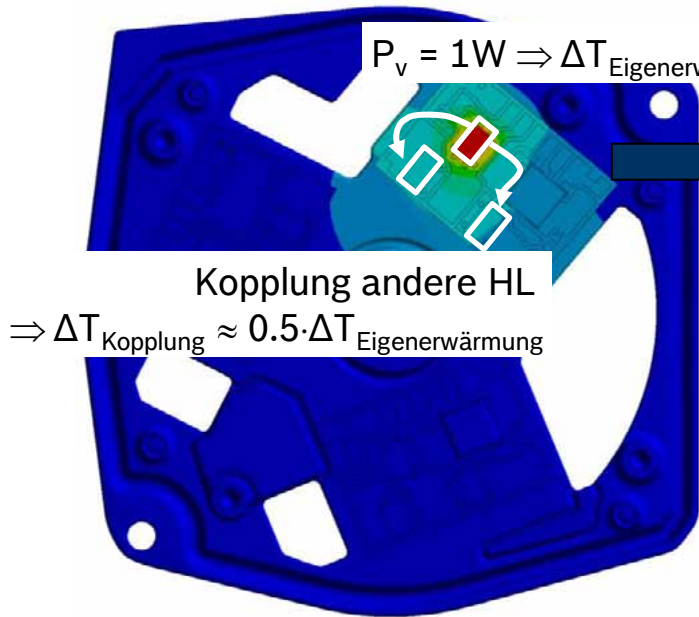
<sup>(2)</sup>WAFO-Toolbox, Brodtkorb, P.A., et al., 2000

<sup>(3)</sup>Held, M. et al., 1997



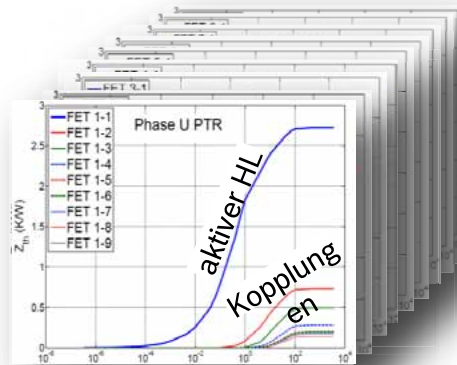
## Faltung zur transienten Temperaturberechnung

Thermische FE-Rechnung  
ANSYS Workbench



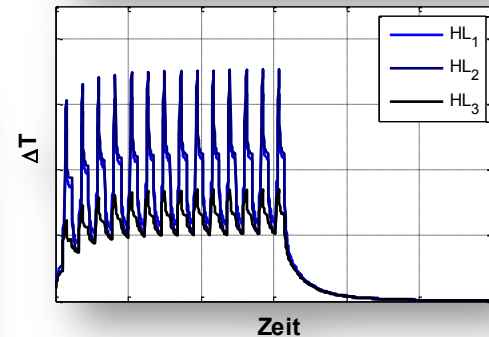
Lineare Superposition

Summe über Eigen-  
erwärmung & Kopplung



Faltung<sup>(1)</sup>  
Matlab

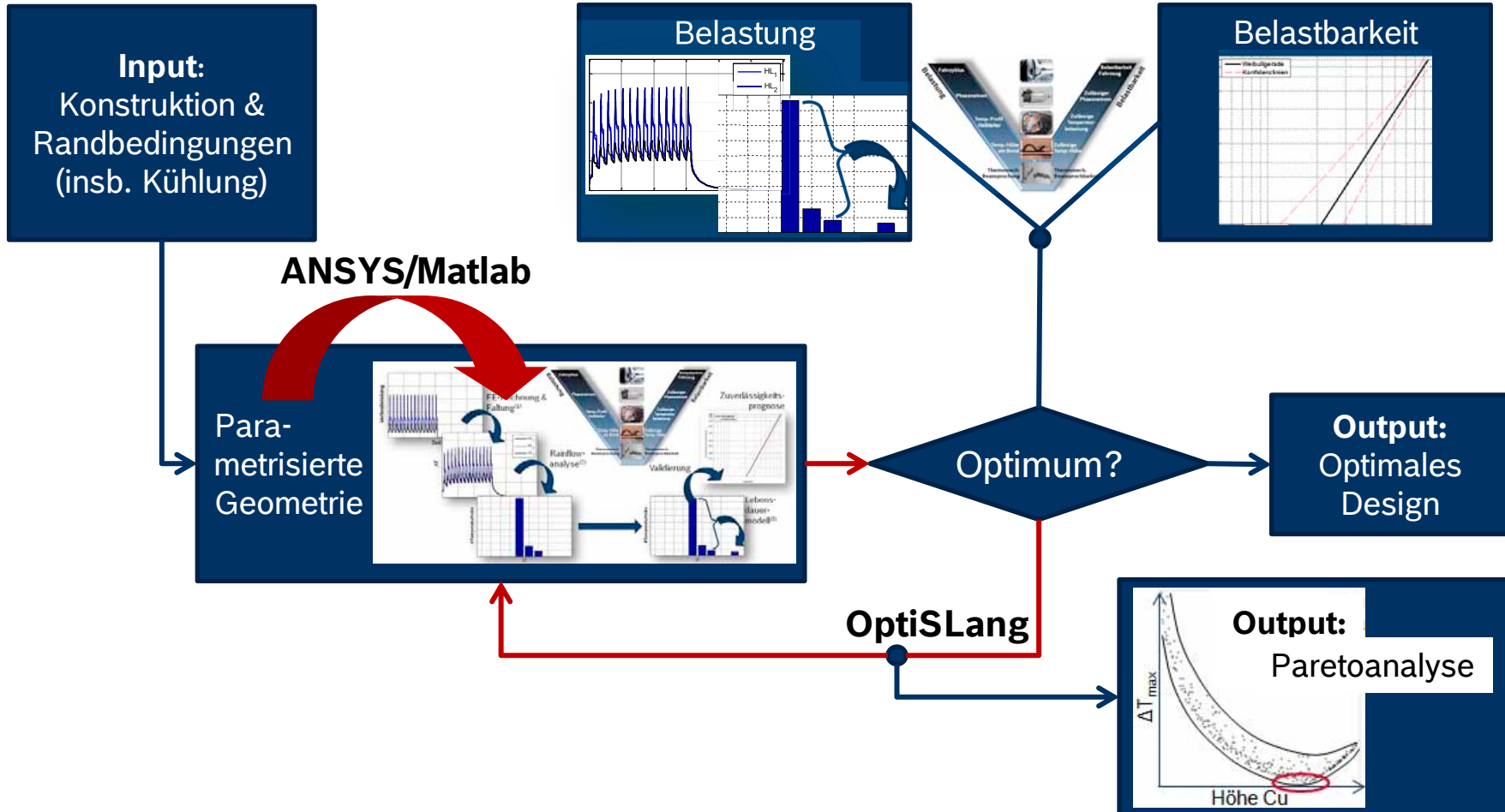
$$T_i(t) = \sum_j \int_0^t \frac{dP_j(\tau)}{d\tau} Z_{th_{j \rightarrow i}}(t - \tau) d\tau$$



<sup>(1)</sup>Gerstenmaier Y.C., Wachutka G, 2004

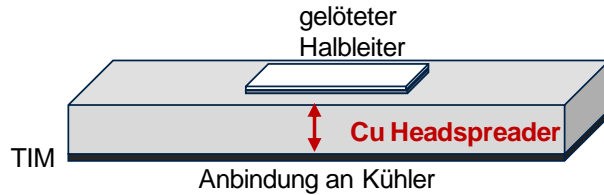
## Möglichkeit zur schnellen Berechnung der Leistungsendstufen für komplexe Fahrzyklen

## Designoptimierung unter ZuV-G-Gesichtspunkten

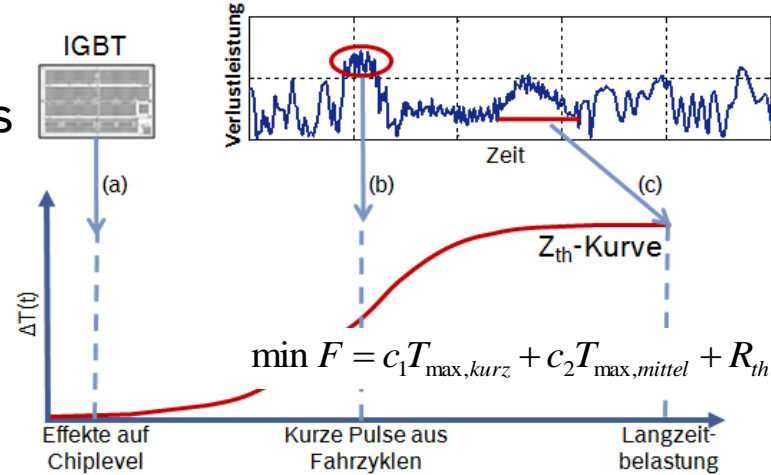


## Beispiel: Parameteroptimierung

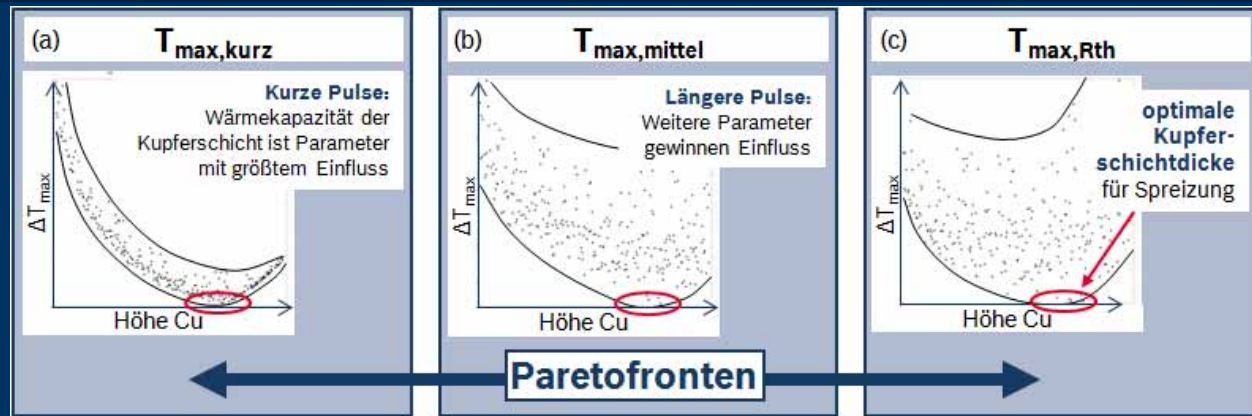
- ➔ Optimierung Aufbau Leistungsmodul:  
Beispiel – Höhe des Cu Headspreaders



- ➔ Optimierungskriterium: aus typischen Belastungszyklen



Ergebnis der Designoptimierung: Einfluss Höhe des Kupfer Headspreaders



## Zusammenfassung

- **Vorstellung:** Methode zur Geometrieoptimierung von Leistungsmodulen unter Zuverlässigkeitsgesichtspunkten
- In frühen Projektphasen ist eine konsistente Bewertung von Geometrievarianten für anwendungsrelevante Belastungen möglich
- Kopplung von **thermischen FE-Simulationen an Lebensdauerbewertung** mittels eines Lebensdauermodells
  - Schnelle Bewertung
  - Verständnis der Wirkzusammenhänge
- **Parameteroptimierung des Produktdesigns:** kein Overdesign bei geforderter Zuverlässigkeit

**Mit rechnergestützter Zuverlässigkeitsgestaltung der Leistungsendstufen ist schneller, besser und preiswerter entwickeln möglich!**

