

- 1 Rippen-Kühlkörper mit eingebautem Latentwärme-Pufferspeicher (pulvermetallurgisch hergestellter Kupfer-Paraffin-Verbundwerkstoff)
- 2 Simulationsmodell mit Luftströmung im Rippenbereich und zyklischer thermischer Belastung an der Unterseite
- 3 Berechnete Temperaturverteilung zu einem bestimmten Zeitpunkt (Paraffin-Schmelztemperatur 65 °C)

## NUMERISCHE SIMULATION - WÄRME, STRÖMUNG, KRAFT

### Motivation

Für die Entwicklung maßgeschneiderter Werkstoffsysteme ist es von grundlegender Bedeutung, die zu erreichenden Materialkenngrößen auf die spätere Implementierung in ein technisches System abzustimmen. Des Weiteren kann durch den optimalen Einsatz verfügbarer Werkstoffkonzepte häufig eine Verbesserung der Systemparameter erreicht werden. Dazu ist in jedem Fall die Untersuchung des Systemverhaltens erforderlich. Zur meist sehr aufwändigen experimentellen Vorgehensweise stellt die numerische Simulation eine kostengünstige und flexible Alternative dar. Besondere Vorteile bieten die komfortable Variation unterschiedlichster Einflussgrößen und die Modellierung messtechnisch nicht erfassbarer Parameterbereiche. Unerlässliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Simulation ist das Verständnis der zugrunde liegenden physikalischen Phänomene.

### Simulationskompetenz

Neben Erfahrungen bei der Programmierung eigener Lösungsalgorithmen verfügt das Fraunhofer IFAM Dresden mit dem Programmsystem COMSOL Multiphysics über eine leistungsfähige Software zur Simulation multiphysikalischer Phänomene. Wärme- und Stofftransport- sowie Strömungs- und Phasenumwandlungsvorgänge können ebenso wie mechanische Beanspruchungen, chemische Reaktionen und die Kopplung verschiedener Effekte modelliert werden. Typische Anwendungen sind beispielsweise

- die Berechnung (in-)stationärer Temperaturfelder in (an-)isotropen Körpern,
- die Modellierung von Geschwindigkeits- und Druckverteilungen,
- die Simulation von Wärmeleitung, Konvektion und Temperaturstrahlung,
- die Kopplung von Impuls-, Stoff- und Wärmetransport in porösen Materialien,
- die Ermittlung thermomechanischer Spannungen in Werkstoffverbänden.

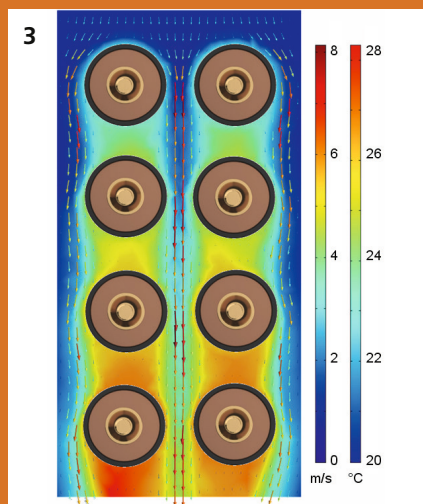
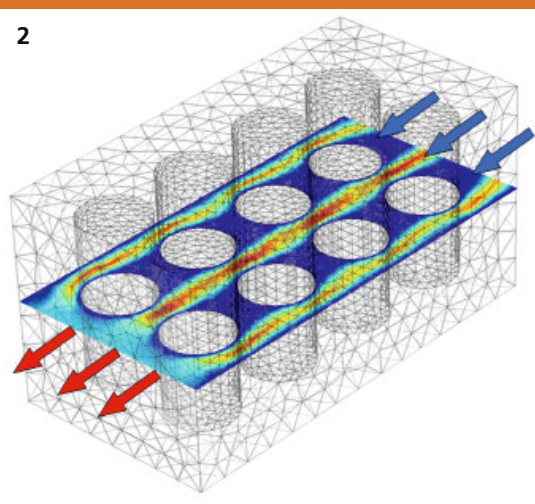
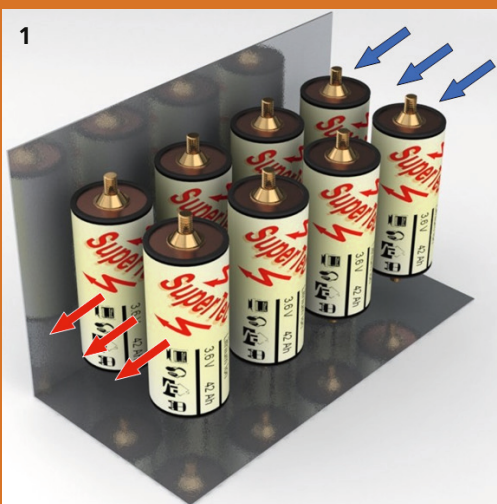
**Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung  
IFAM  
Teilinstitut Dresden**

Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Marcus Rohne  
Telefon +49 351 2537 472  
Fax +49 351 2537 399  
E-Mail: Marcus.Rohne  
@ifam-dd.fraunhofer.de

[www.ifam-dd.fraunhofer.de](http://www.ifam-dd.fraunhofer.de)



## Erfolgskriterien

Die Zuverlässigkeit und Aussagekraft numerischer Simulationen als Vorstufe zur ingenieurtechnischen Umsetzung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Von besonderer Bedeutung sind dabei

- die vereinfachte, aber zweckmäßige Abbildung des zu beschreibenden Systems,
- die den zeitlichen und örtlichen Gradienten angepasste Diskretisierung,
- die Bereitstellung zuverlässiger Stoffdaten und Transportkoeffizienten,
- die Wahl eines konvergierenden Lösungsalgorithmus und
- die fachlich fundierte Interpretation der erzielten Ergebnisse.

Nicht immer ist die Verwendung kommerzieller Software erforderlich, einfachere Aufgabenstellungen können häufig sehr schnell mit Hilfe eigener Algorithmen (z.B. in MS Excel, Abb. 2) programmiert werden. Das Geschäftsfeld Energie und Thermisches Management verfügt über langjährige Erfahrungen bei der Modellierung physikalischer Phänomene mit Hilfe analytischer und numerischer Methoden. Dies schließt ein:

- das Aufstellen und Vereinfachen der den Vorgang beschreibenden Differenzialgleichungen sowie Rand- und Anfangsbedingungen,
- die Auswahl numerisch konsistenter Lösungsalgorithmen und deren programmtechnische Umsetzung sowie
- die experimentelle Bestimmung, empirische Beschreibung und Implementierung der benötigten Stoff- und Transportkoeffizienten,
- die Auswertung und Interpretation der Berechnungsergebnisse sowie deren aussagekräftige grafische Darstellung.

Sowohl zur Messung benötigter Werkstoffkenngrößen als auch zur Validierung der numerischen Resultate mittels experimenteller Methoden an prototypischen Bauteilen verfügt das wärmetechnische Labor am Fraunhofer IFAM Dresden über beste Voraussetzungen.

## Anwendungsbeispiele

Ausgewählte Anwendungen, die mit Hilfe numerischer Methoden simuliert wurden, zeigen die Bilder. Dargestellt ist die Berechnung und messtechnische Untersuchung des zeitlichen und örtlichen Temperaturverlaufes in einem luftdurchströmten Rippenkühlkörper. Dieser verfügt zur Pufferung zyklischer thermischer Lastspitzen über einen Einsatz aus einem am Fraunhofer IFAM Dresden hergestellten Verbundwerkstoff aus jeweils 50 Vol.-% Kupfer und Paraffin (Phasenwechselmaterial).

Als weiteres Beispiel ist das thermische Management Wärme erzeugender elektrischer Speicherzellen – angeordnet als

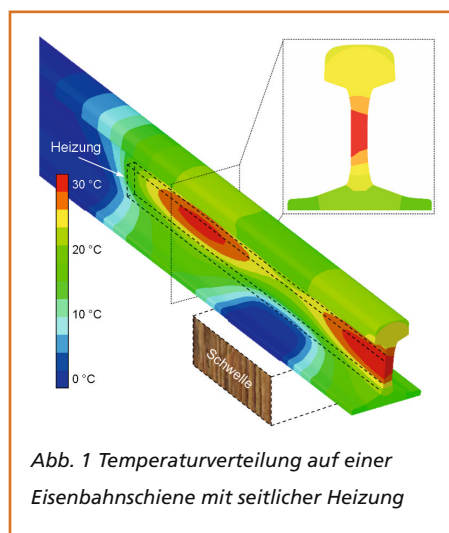


Abb. 1 Temperaturverteilung auf einer Eisenbahnschiene mit seitlicher Heizung

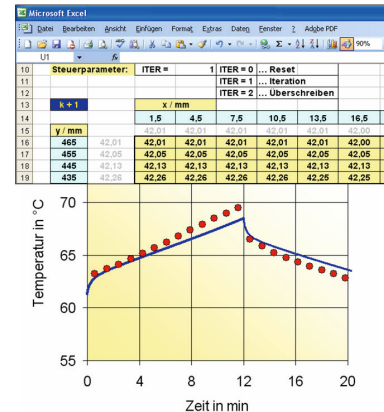


Abb. 2 Instationärer Temperaturverlauf aus Excel-Simulation im Vergleich zu Messwerten

Batterie – mit Hilfe einer Luftströmung angeführt. Dabei werden basierend auf der Messung der ladestromabhängigen Wärmeentwicklung in der Zelle ein entsprechendes wärme- und strömungstechnisches Berechnungsmodell geschaffen und variable Betriebszustände simuliert. Die Aufzählung typischer Systeme, die mittels numerischer Simulationen effektiv und zuverlässig ausgelegt werden können, lässt sich beliebig fortsetzen. Abschließend seien genannt:

- die Berechnung der Temperaturverteilung in einer Bahnschiene bei Verwendung stranggepresster Metallprofile zur Ankopplung der Weichenheizung,
- die Bestimmung der Temperatur einer LED als Licht- und vor allem Wärmequelle unter Beachtung thermomechanischer Aspekte an Verbindungsstellen unterschiedlicher Werkstoffe.

- 1 Schema einer luftgekühlten Batterie bestehend aus acht zylindrischen Zellen
- 2 Berechnungsgitter für wärme- und strömungstechnische Simulation
- 3 Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung in der Draufsicht