



NTB

Thermisch leitende Komposite für Elektromobilitätsanwendungen

Alex Itten, Lenze Schmidhauser

Arno Maurer, NTB Institut für Mikro- und Nanotechnologie MNT



Interstaatliche Hochschule
für Technik Buchs

FHO Fachhochschule Ostschweiz

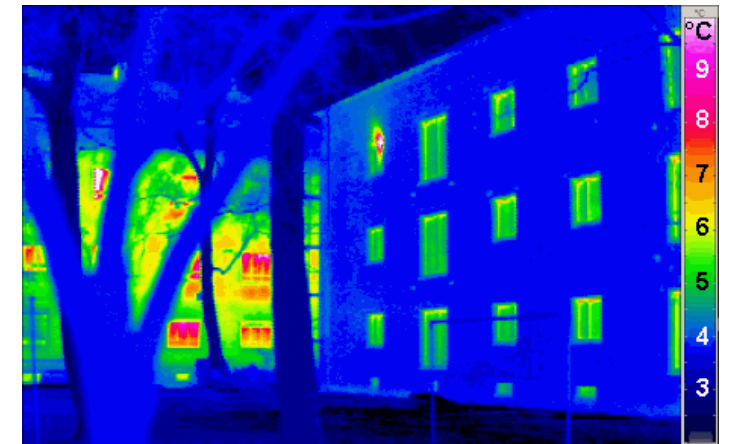


Überblick

1. Thermomanagement in der Energietechnik und E-Mobilität
2. NTB-Einrichtungen und Projekte rund um Thermomanagement
3. Lenze Schmidhauser Mobile Drives
4. Projekt: Entwicklung einer innovativen thermisch leitfähigen Vergussmasse
5. Ausblick und Forschungsbedarf

Thermomanagement – effiziente Energienutzung

- Thermomanagement = Steuern von Energieströmen
 - insbesondere Wärmeströmen
- Wärmedämmung: Wärme/«Kälte» bleibt, wo sie sein soll
 - Verluste in die Umgebung z.B. aus Wohn-/Kühlräumen minimieren
- Kühlung: Wärme wird abgeführt wo sie stört
 - Leistung und Lebensdauer aktiver Bauteile verlängern
- Wärmerückgewinnung
 - z.B. mit Wärmetauschern oder thermoelektrischen Generatoren



Wikipedia / Passivhaus Institut - CC BY-SA 3.0



Wikipedia / Sönke Krüll - CC BY 3.0

Thermomanagement in der Energietechnik und E-Mobilität



Leistungselektronik

MOBILE DCU/PSU
inverter & DC/DC converter
© Lenze Schmidhauser

Wärmetauscher

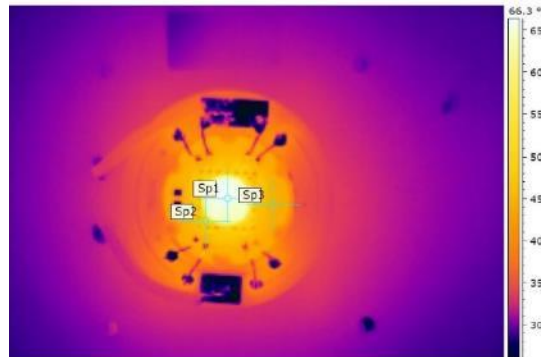


Wikipedia / Jerod00, CC BY-SA 3.0

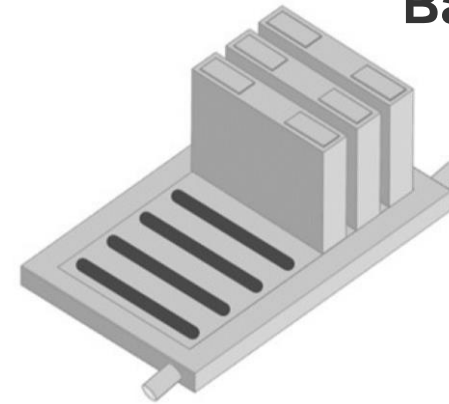
Power-LEDs



Wikipedia / I, Gophi, CC BY-SA 3.0

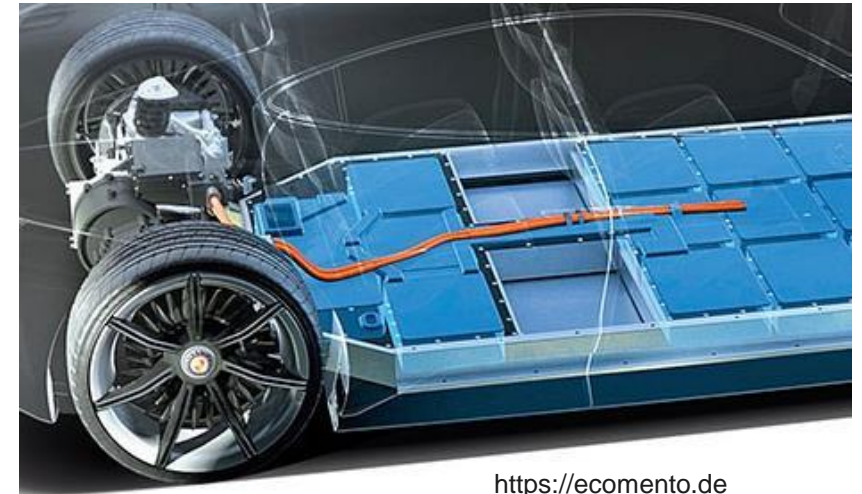


Maurer, A., Lijmen 2018, Eindhoven, 2018 © Polytec PT



Batteriekühlung

R. Stadler, A. Maurer,
Batteries 2019, 5(1), 34



<https://ecomento.de>

Elektrische Energie und Thermomanagement

- Elektrische Energie
 - hat einen deutlich höheren Wirkungsgrad (90 % bis 99 %) im Vergleich zu fossilen Energien
 - dafür sind die zulässigen Temperaturbereiche deutlich eingeschränkt (Batterie- und Halbleitermaterialien sind temperaturempfindlich)
 - Entwärmung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gerätegrösse und damit auf die Kosten

- Elektrofahrzeuge
 - Antriebsbatterien, E-Motoren und zunehmende Zahl an Lade- und Steuerkomponenten (Konverter, Inverter etc.)
 - Hoher Wärmeumsatz beim Fahren, Rekuperieren und Aufladen
 - Lösung: aktive Kühlung mit thermischer Anbindung der Bauteile an Kühlstrukturen (= thermische Engstelle)



transport refrigeration



electric air compressor



battery charger



HVAC and ventilation systems



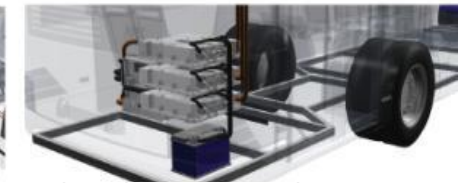
working machines



steering pump



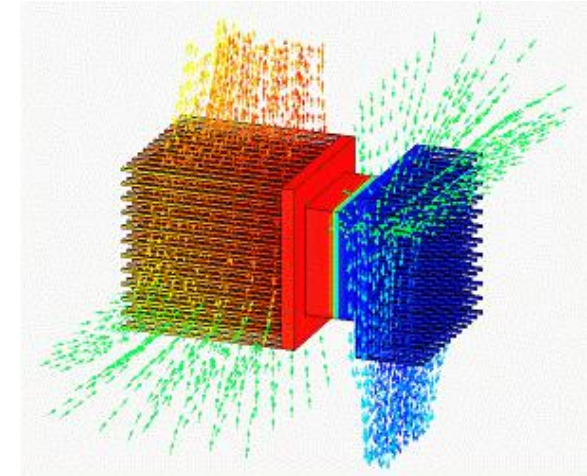
lifting device



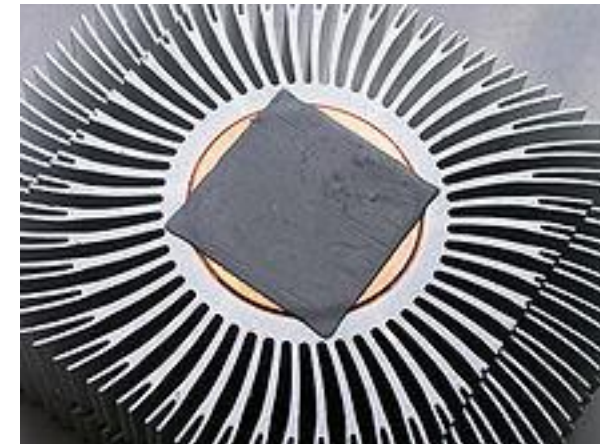
onboard generator and power supply

Thermomanagement – Kühlkonzepte

- Konvektion (Luftkühlung, aktiv/passiv, ...)
- Wärmeabstrahlung (Kühlkörper, Heizkörper)
- Wärmeableitung (Heatsink, thermisches Interface, Flüssigkeitskühlung, elektrische Peltierkühlung)
- Phasenübergänge (Phase Change Materialien, Heat Pipes,...)
- Thermische Interfacematerialien
 - Verbessern den Wärmeübergang in die Kühlstruktur durch Ausfüllen von thermisch isolierenden Luftspalten
 - meist polymerbasiert
 - fest/elastisch (Wärmeleitpads)
 - pastös (Wärmeleitpaste)
 - reaktiv vernetzend (Klebstoff, Verguss)



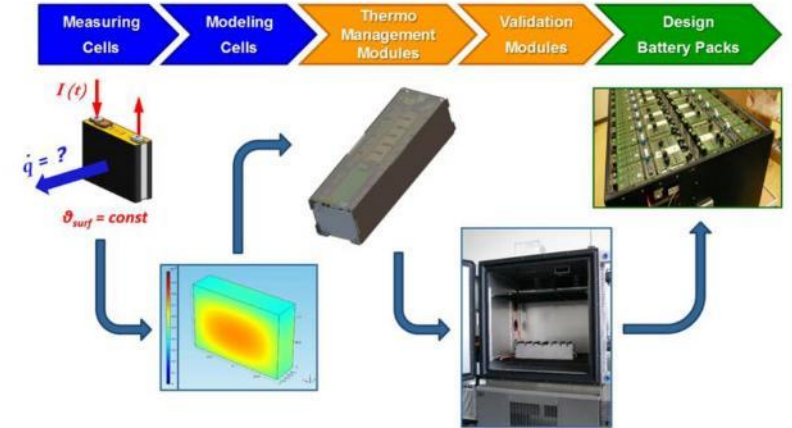
Wikipedia / Heatlord, CC BY-SA 3.0



Wikipedia | Smial, own work, CC BY-SA 2.0 de

Thermomanagement: Einrichtungen und Projekte an der NTB

- Entwicklung thermisch leitender Kompositmaterialien
 - MNT Institut für Mikro- und Nanotechnologie
- E-Mobilitätsprojekte, thermischer Batterieprüfstand
 - EMS Institut für elektromechanische Systeme
- Wärmepumpen-Testzentrum, Leistungselektronik
 - IES Institut für Energiesysteme
- thermische Simulation und Modellierung
 - ICE Institut für Computational Engineering
- el. Prüfungen u.a. HV-Durchschlagsmessungen
 - ESA Institut für Elektronik, Sensorik und Aktorik



Institut EMS – [Batterieprüfstand](#)



E-Dumper – [weltweit grösstes Elektrofahrzeug](#)

Polymeric – Werkzeugkiste & Team



Chemische Analyse

- Molekülstruktur- und Element-Analyse (FT-IR, RFA, ...)
- Mikroskopie und Oberflächenanalytik (IR-Mik, REM-EDX)

Physikalische Charakterisierung

- Thermoanalyse (DSC, TGA, Wärmeleitfähigkeit)
- Rheologische und mechanische Testverfahren
- Oberflächenspannung, Partikelgrößenverteilung u.v.a.

Simulation Langzeit- und Alterungsverhalten

- Thermische Alterung, UV-, Chemikalienbeständigkeit

Verfahrenstechnik

- Mikrospritzguss; Klebe- & Lack-Technologie; Oberflächenmodifikation, Veredelung, Beschichtung (CVD, Sputtern)
Mikrostrukturierung (Inkjet, Micro-Contact-Printing, Litho, ...)



Dr. Jens Ulmer



Dr. A. Maurer



Mag. Gabriele Dörig



MSc. M. Brüllsauer



MSc. D. Cortes



M. Canal

www.ntb.ch/polymeric

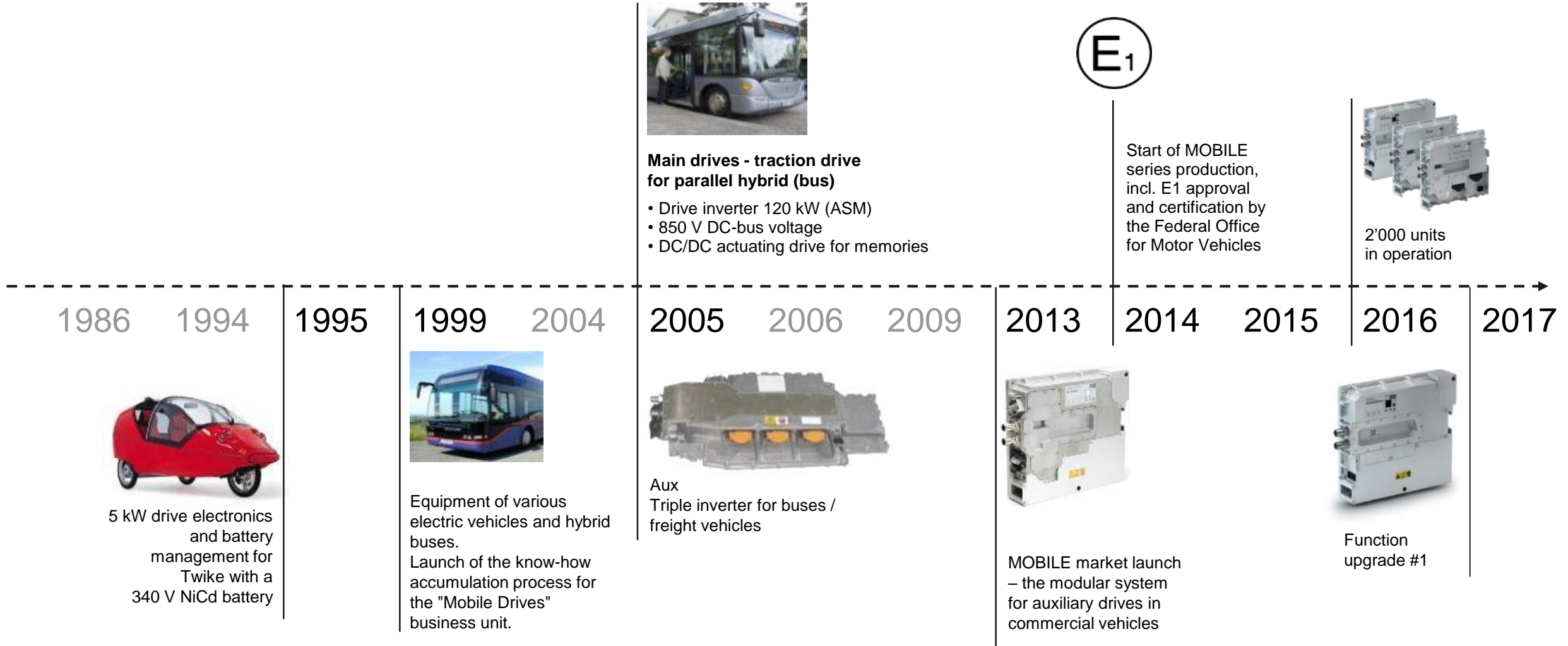
Lenze Schmidhauser Mobile Drives

Drive pioneering for electric mobility

- Seit 30 Jahren erfolgreich in den Bereichen Leistungselektronik und E-Mobility
- 100 Mitarbeiter, davon 60 Ingenieure und ca. 10 Lernende
- Seit 2006 100%-Tochter der Lenze Gruppe in Romanshorn
- Innerhalb der Lenze-Gruppe weltweites Kompetenzzentrum für innovative Leistungselektronik
- Hauptsitz der BU Mobile Drives



Lenze Schmidhauser Mobile Drives



Innosuisse-Projekt «Innovative wärmeleitende Vergussmasse»

- **Problem:** Hochleistungs-Spannungs-drosseln und -Transformatoren werden immer leistungsfähiger und kompakter → Wärmeableitung zunehmend ungenügend
- **Lösung:** Entwicklung einer neuartigen, fehlerfrei applizierbaren und effizient wärmeleitenden Vergussmasse unter Nutzung von Synergien moderner Polymere und partikulärer Additive
- Projektpartner
 - Lenze Schmidhauser (Testvehikel, Anwendung)
 - APM Technica (Entwicklung Vergussmasse)
 - NTB, Polymerics (partikuläre Additive und Kompositsysteme)
- Laufzeit: Dez. 2018 – Mai 2021

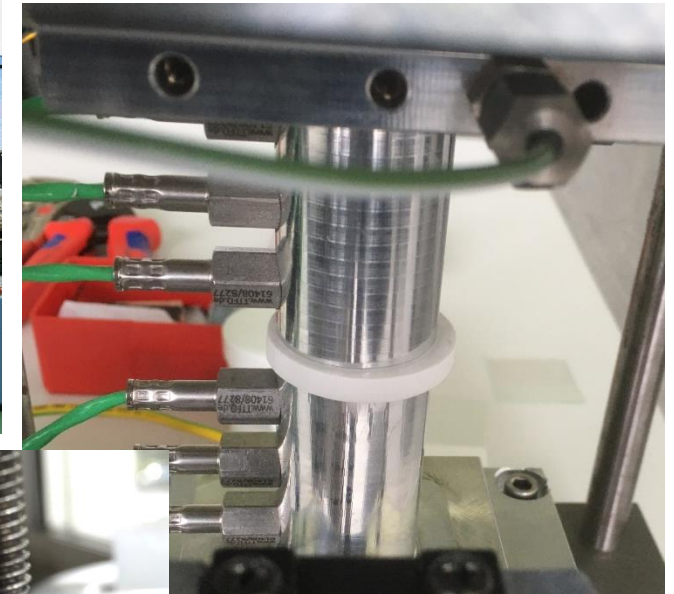
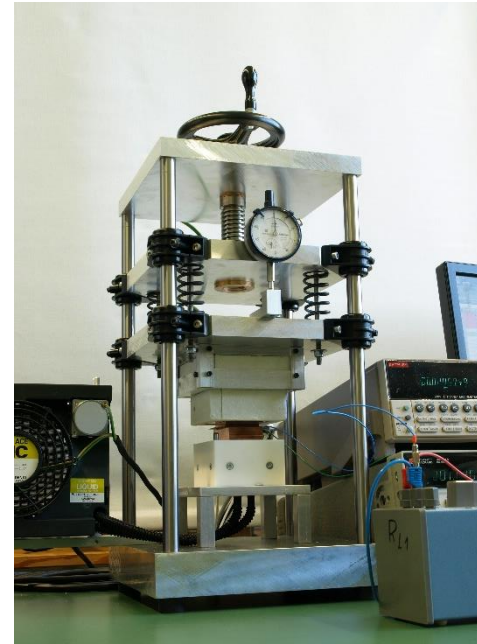


Thermische Leitfähigkeit

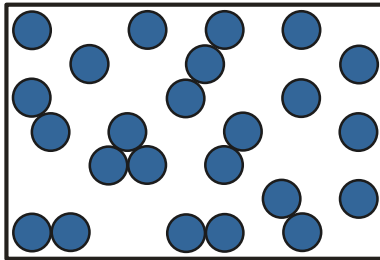
- ist eine Materialkonstante bzw. $f(T)$
 - Wärmefluss durch Volumen
 - Fourier'sches Gesetz

$$\dot{Q} = \lambda \frac{A}{l} \Delta T$$

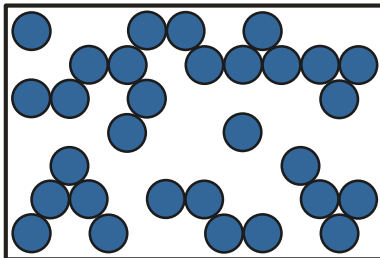
- Messgröße: λ in W/mK
 - Luft: $\lambda = 0.03$ W/mK
 - Polymere: $\lambda = 0.2 \dots 0.4$ W/mK
 - Glas, Keramik: $\lambda = 1 \dots 200$ W/mK
 - Metalle: $\lambda = 15 \dots 400$ W/mK
- Messung:
 - Zylindermethode ASTM D5470
 - Hot Disk-Methode ISO 22007-2



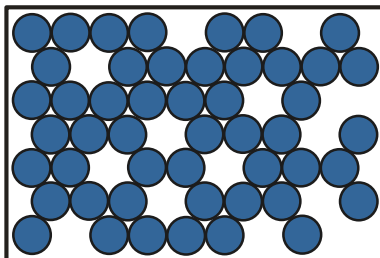
Zielkonflikt Wärmeleitfähigkeit ↔ Fließfähigkeit



- niedriger Füllgrad
- geringe WLF
- gut fließend

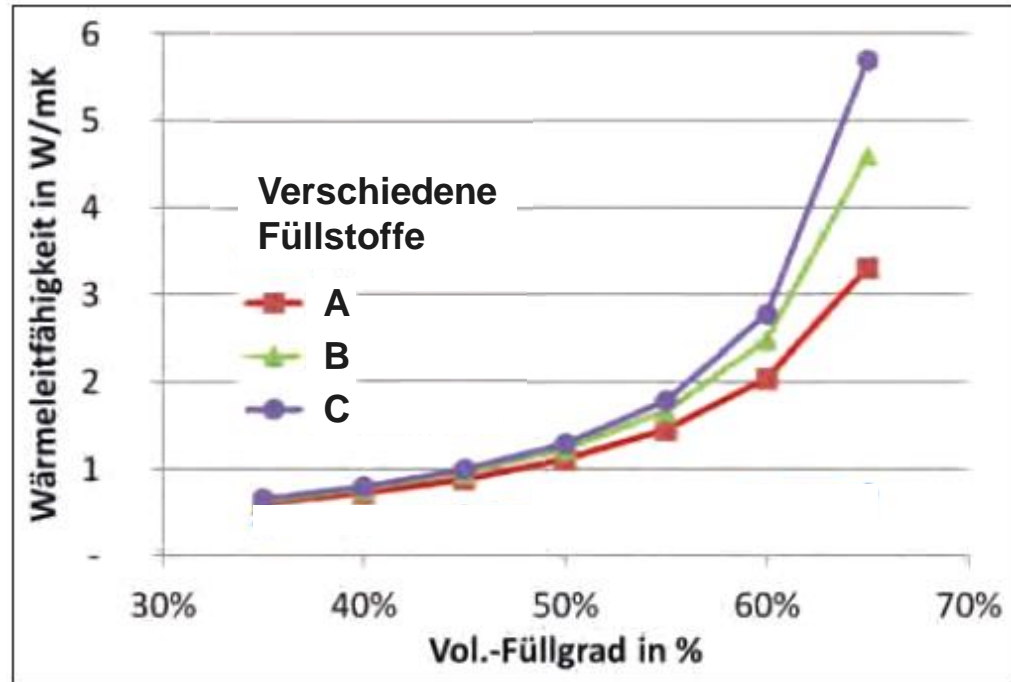


- mässiger Füllgrad
- mässige WLF
- mässig fließend



- hoher Füllgrad
- gute WLF
- schlecht fließend

S. Affolter, S. Lüthi: FGKS-Tagung 2015, ZHAW



Maurer, A.: Dichtungstechnik Jahrbuch 2016, Mannheim, 136-144

Nach: Nielsen, L.: Polym. Sci., 17 (1973), 3819.

Designparameter für wärmeleitende Vergussmassen

- Matrix
 - Harz-/Härterssystem:
ausgewählt für gewünschte mechanische
und thermische Eigenschaften des Produkts
 - niedrige Ausgangsviskosität
- wärmeleitende Füllstoffe
 - kommerziell verfügbar, preisgünstig
 - hoher Volumenfüllgrad
 - gut wärmeleitend
 - geeignete Korngrösse, -größenverteilung
 - geeignete Kornform, Aspektverhältnis
 - ggf. Oberflächenmodifikation

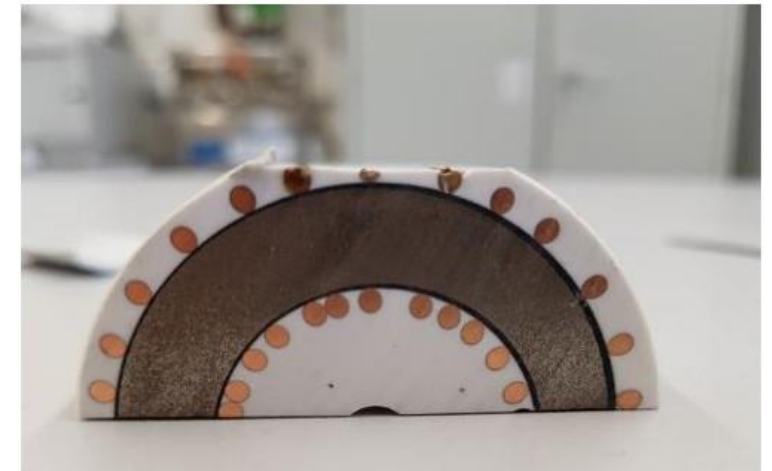


Erste Ergebnisse

- Zielwerte wurden erreicht bzw. übertroffen

Kriterium	Zielwert	erreicht
Wärmeleitfähigkeit	$\geq 1.8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$2.4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Thermische Stabilität	-40 bis + 110 °C	bis 200 °C
Wärmeausdehnungs- koeffizient (CTE)	$< 80 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$T < T_g: 23 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ $T > T_g: 80 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Viskosität	$\leq 10'000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$	7'000 ... 8'000 mPa·s
Temperaturbereich für Aushärtung	$\leq 50 \text{ °C}$ $\leq 110 \text{ °C}$	bei RT möglich empfohlen: 80 °C

- Verguss ist blasenfrei (Vakuumanwendung)
- Erste Funktionstests: gemessene Temperaturen am Bauteil lagen 10 K unter dem Standardverguss



Projektphase 2: Innovative Hochleistungsvergussmasse

- Start: Juni 2020
- Ziel: Wärmeleitfähigkeit 3 bis 5 W/mK
- Nutzung der Erkenntnisse aus Phase 1
- Vorarbeiten
 - Brainstorming
 - Literaturrecherche
 - Vorversuche
- 5 neue Lösungsansätze
 - davon 3 interessant zur weiteren Abklärung/Entwicklung
 - erste Messungen ergeben Wärmeleitfähigkeiten von >3 ... 15 W/mK
 - → Projektziel erreichbar



Ausblick, Forschungsbedarf

- Durch zunehmende Elektrifizierung sind innovative Kühlkonzepte und Materialien stark gefragt
- entscheidend v.a. im E-Mobilitätssektor sind Materialkosten und Massenproduktions-tauglichkeit
- Anforderungen an Wärmeleitfähigkeit ständig steigend, jedoch physikalisch begrenzt
- Erforschung von Wärmetransportmechanismen

“New electric car world record”



AMZ (Academic Motorsports Club Zurich) electric race car 2016 powered by two Lenze Schmidhauser MOBILE DCU's: from zero to 100 km/h in 1.513 seconds

Danke vielmals und Next Steps

- Sprechen Sie uns gerne an, wenn...
 - ...Sie eine **Beratung rund um Polymere** wünschen
 - ...Sie eine **Dienstleistung** oder Schadensanalyse benötigen
 - ... Sie die **Machbarkeit Ihrer Idee** abklären möchten (förderbar durch Innovationsscheck bis 15 kCHF, oder als Bachelor- und Master-Arbeit)
 - ... Sie ein neues **Produkt oder einen Prozess entwickeln** möchten (auch mit staatlicher Subvention, z.B. durch Innosuisse)
 - ...Sie einen interessanten **Studienplatz** für sich, Ihre Kinder, Nichten oder Neffen suchen
 - www.ntb.ch/polymeric

