



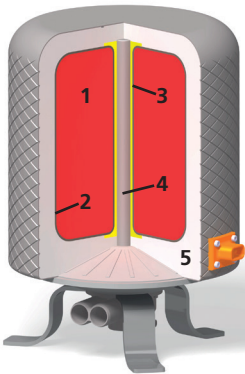
**Mono**  **Therm**<sup>®</sup>

Thermischer Hochleistungsspeicher für mobile Anwendungen



## Das System MonoTherm®

Die Grundfunktion des Wärmespeicherkonzepts MonoTherm® ist die Speicherung von Wärme in einem metallischen Phasenwechselmaterial. Der wesentliche Aufbau des Speichersystems besteht aus fünf verschiedenen Teilkomponenten: dem Wärmespeichermaterial (1) und dessen Einhausung (2), der elektrischen Heizeinrichtung (3), dem Wärmeaustragsystem (4) mit Fluidankopplung und der Wärmedämmung (5). Der in nachstehender Abbildung gezeigte zylindrische Konzeptentwurf dient gleichzeitig als Leitkonzept für die Entwicklungsarbeiten im DLR.



◀ Konzeptentwurf eines fahrzeuggerechten MonoTherm®-Wärmespeichersystems

## Zukünftige Fahrzeugkonzepte

Straßenfahrzeuge der Zukunft werden teil- bzw. vollelektrifizierte Antriebskonzepte aufweisen. Im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen steht dabei vergleichsweise nur noch wenig Abwärme zu Klimatisierungs- und Temperierungszwecken zur Verfügung. Dieser Mangel an Abwärme, bei gleichzeitig steigenden Anforderungen an Effizienz und Komfort, stellt große Anforderungen an zukünftige Thermomanagement-Systeme. Besonders deutlich wird dies bei dem Thermomanagement von batterieelektrischen Fahrzeugen an kalten Wintertagen. Standardmäßig eingesetzte PTC-Heizelemente verwerten elektrische Energie aus der Traktionsbatterie, um diese in Wärme zu wandeln. Die damit zum Heizen genutzte Energie geht dem Antrieb verloren, eine Verringerung der Reichweite des Fahrzeugs um bis zu 50 % ist die Folge.

## Herausragende thermische Leistungsfähigkeiten

An genau diesem Punkt setzen Wärmespeichersysteme an: der Bereitstellung thermischer Energie durch vergleichsweise kleine, leichte, leistungsstarke und kostengünstige thermische Speichersysteme. In dem Speichersystem MonoTherm® des DLR werden hierfür die sensible Temperaturänderung sowie die im Phasenwechsel gespeicherte Energie des Speichermaterials genutzt. Beim Beladen des Speichermaterials erfolgt eine Erwärmung und Verflüssigung, beim Entladen eine Abkühlung und Erstarrung des Speichermaterials. Zum Einsatz kommt dabei metallisches Phasenwechselmaterial (mPCM) mit Betriebstemperaturen von 100 °C bis 600 °C. Solche, in dieser Anwendung, neuen Speichermaterialien weisen aufgrund ihrer thermophysikalischen Eigenschaften ausgezeichnete thermische Leistungsfähigkeiten bei gleichzeitig hoher spezifischer Speicherkapazität auf. Als potenziell geeignetes mPCM gilt beispielsweise die eutektische Legierung AlSi12, deren technischer Einsatz bereits aus Anwendungen im Gießbereich oder als Kolbenwerkstoff für Verbrennungsmotoren bekannt ist.

## Variables Konzeptdesign

Ausgehend vom dargestellten Leitkonzept, können unterschiedlichste Varianten des Speichersystems an die jeweiligen Randbedingungen adaptiert werden. Beginnend bei einer Auswahl verschiedener Speichermaterialien, der Variation der Geometrie (zum Beispiel quaderförmige Bauweise), über die Möglichkeit des Wärmeaustauschs an Kühlmittel oder an Luft bis hin zur Anpassung der installierten Leistung des elektrischen Heizers, bestehen zahlreiche Anknüpfungspunkte, das Speicherkonzept maßgeschneidert an die Anforderungen und Randbedingungen der jeweiligen Anwendung anzupassen. Durch das flexible Design werden somit sowohl Anwendungen im Individualverkehr (Elektroauto) als auch im ÖPNV (Elektrobus) als Einsatzbereich erschlossen.

## Metallische Phasenwechselmaterialien

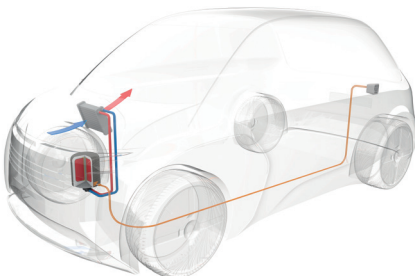
Als Speichermaterialien kommen Metalle zum Einsatz. Sie zeichnen sich im Vergleich zu anderen Phasenwechselmaterialien vor allem durch hohe Wärmeleitfähigkeit aus, wodurch große Be- und Entladeleistungen möglich sind, was in kurzen Ladezeiten und hohen Heizleistungen resultiert. Hohe Energiedichte und spezifische Energiemengen kommen zudem einer kleinen und leichten Bauweise zugute.



Materialien wie Legierungen aus den Metallen Aluminium, Silizium, Kupfer und Magnesium sind hierbei besonders geeignet für die technische Speicherung von großen Wärmemengen in mobilen Anwendungen und daher Gegenstand aktueller Untersuchungen.

## Betriebsstrategie und Potenziale

Angewendet im Elektrofahrzeug ist das Wärmespeichersystem MonoTherm® die zentrale Komponente zur Beheizung des Innenraums, wie im unteren Bild dargestellt. Durch bedarfsgerechte Beladung des Speichers während der Ladung der Traktionsbatterie an der Ladestation wird die Reichweite von Elektrofahrzeugen erhöht. Die zusätzliche Möglichkeit zur Rekuperation von Bremsenergie kann die Batterie entlasten und damit die Effizienz der Fahrzeuge steigern.



Mit Speicherdichten von bis zu 250 Wh/kg und 500 Wh/l können bereits zum aktuellen Entwicklungsstand deutlich kompaktere, leichtere und günstigere Speichersysteme, im Vergleich zur Batterie, aufgezeigt werden. Darüber hinaus zeichnet sich das Speichersystem MonoTherm® durch den Verzicht auf seltene Rohstoffe sowie eine vollständige Recyclebarkeit aus.

# Institut für Fahrzeugkonzepte

Das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte erforscht, entwickelt und bewertet neue Fahrzeugkonzepte und -technologien vor dem Hintergrund zukünftiger Anforderungen an das Verkehrssystem.

Als Systeminstitut erarbeiten und demonstrieren wir neuartige und anwendungsorientierte Lösungen für Straßen- und Schienenfahrzeuge und tragen so zur Gestaltung einer nachhaltigen, wirtschaftlichen, nutzerorientierten, sicheren und vernetzten Mobilität bei. Unsere Beiträge reichen von Konzeption und Entwurf über Konstruktion, Berechnung und Simulation bis zur Darstellung von Forschungsdemonstratoren, -komponenten und -fahrzeugen.

Wir entwickeln unser Wissen und Know-how in partnerschaftlicher Zusammenarbeit und tragen durch Innovationstransfers in folgenden Feldern zur industriellen Wettbewerbsfähigkeit bei:

- Neue Straßenfahrzeugkonzepte
- Neue Schienenfahrzeugkonzepte
- Disruptive Konzepte
- Fahrzeugantrieb und -energie
- Fahrzeugarchitektur und -werkstofftechnik
- Fahrzeugsystemanalyse

Die Leitvision des Instituts ist die erfolgreiche wissenschaftliche Mitarbeit an effizienten Fahrzeugkonzepten an den Schnittstellen von Energie und Verkehr. Die Entwicklung künftiger Techniksysteme, basierend auf regenerativen Energieträgern und Energiewandlung/-speicherung im Fahrzeug der Zukunft sowie fortschrittlichen Architekturen und Werkstofftechniken für Straßen- und Schienenfahrzeuge, wird durch eine prospektive, ganzheitliche Fahrzeug-Systemanalyse und Technologiebewertung gestützt.

## Das DLR im Überblick

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Digitalisierung und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrtagentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## Impressum

Herausgeber:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte

Ansprechpartner:

Werner Kraft

Pfaffenwaldring 38–40, 70569 Stuttgart

Telefon 0711 6862-273

E-Mail [werner.kraft@dlr.de](mailto:werner.kraft@dlr.de)

## DLR.de

(Unterstützt durch das DLR Technologiemarketing)

Bilder DLR (CC-BY 3.0), soweit nicht anders angegeben.



**Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt**



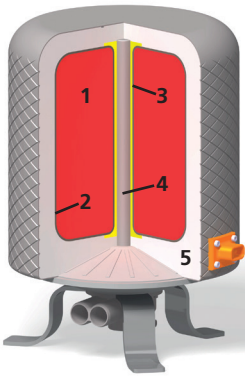
**Mono**  **Therm**®

Thermal high-performance storage for mobile application



## MonoTherm® System

The basic principle of the heat storage system, MonoTherm®, is to store thermal energy within a metallic Phase Change Material (mPCM). The fundamental structure of the system consists of five different subcomponents: the storage material (1) and its housing (2), the electric heater (3), the heat extraction system (4) with integrated fluid coupling and the insulation (5). The cylindrical concept design, illustrated in the following figure, also serves as guiding concept for the development work at DLR.



◀ MonoTherm® design concept: a vehicle-compatible heat storage system

## Future vehicle concepts

Future road vehicles will have partially or fully electrified drive concepts. In comparison with conventionally powered vehicles, there is comparatively little waste heat available for air conditioning and temperature control purposes. This lack of waste heat with simultaneously increasing demands on efficiency and comfort, places great demands on future thermal management systems. This is particularly evident in the thermal management of fully electrified vehicles on cold winter days. Standard PTC heaters use electric energy from the traction battery to convert it into heat. In the process, the drive system loses this energy, which results in a range reduction of the vehicle by up to 50 per cent.



## Outstanding thermal performance

This challenge is targeted by heat storage systems, offering thermal energy through comparatively small, lightweight, high-performance and cost-effective systems. The thermal storage system MonoTherm<sup>®</sup>, developed by DLR, utilises the sensitive change in temperature and the phase change of the storage material to store energy. During charging, the mPCM is heating and melting, while during discharging, it is cooling and solidifying. Metallic phase change materials are used working at 100 to 600 degrees Celsius. Due to their thermo-physical properties, these novel storage materials exhibit outstanding thermal performance and high specific storage capacity. The eutectic alloy AlSi12 is one suitable choice. The technical use of this mPCM is already known from casting processes or as piston material for combustion engines.

## Variable concept design

Based on the illustrated guiding concept, different variations of the storage system can be adapted to the respective boundary conditions. This includes the selection of the storage material, the variation of the geometry (for example rectangular design), the selection of the heat extracting medium (for example coolant or air) and the adaptation of the installed electric heating power. Therefore, by acknowledging the requirements and boundary conditions of the respective application, a customized storage concept can be developed. The flexibility of the design allows application both in private transport (electric vehicles) and public transport (electric busses).

## metallic Phase Change Materials

Metals are used as storage material.

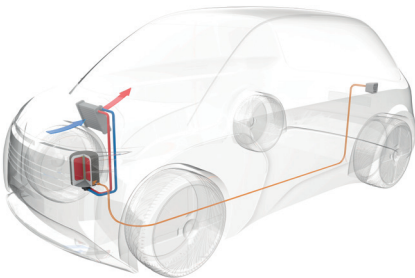
In comparison to other phase change materials, metals stand out due to their high heat conductivity. As a result, high charging and discharging performance is possible, resulting in short charging times and high heating capacity. High energy densities and specific amounts of energy also promote a small and lightweight design.



Material classes such as alloys of the metals aluminium, silicon, copper and magnesium are particularly suitable for the technical storage of large quantities of heat in mobile applications and are therefore the subject of current investigations.

## Operating strategy and potentials

Applied in the electric vehicle, the heat storage unit MonoTherm® is a key component in the thermal management of battery-electric vehicles. Charging of the system occurs at the charging station in parallel with the traction battery. Discharging heats the passenger compartment when driving. By conducting a needs-based charging of the system, the range of electric vehicles is increased. The additional possibility of recuperating braking energy can relieve the battery and thus increase the efficiency of the vehicle.



Currently storage densities of up to 250 Wh/kg and 500 Wh/l seem to be possible. As a result, this storage system can be significantly smaller, lighter and more cost-effective compared to batteries. Furthermore, the system MonoTherm® stands out due to its high recyclability while eliminating the use of rare raw materials.

## Institute of Vehicle Concepts

The DLR Institute of Vehicle Concepts researches, develops and evaluates new vehicle concepts and technologies in light of future demands on the transport system.

As a systems institute, we develop and demonstrate innovative, application-based solutions for road and rail vehicles, thereby contributing to the design of a sustainable, cost-effective, user-oriented, secure and networked mobility concept. Our contributions range from design and planning to construction, calculation and simulation through to the manufacture of research demonstrators, components and vehicles.

We develop our knowledge and expertise within the framework of collaborative partnerships and contribute to the competitiveness of the industry through innovation transfers in the following fields:

- New road vehicle concepts
- New rail vehicle concepts
- Disruptive concepts
- Vehicle drive and energy
- Vehicle architecture and materials engineering
- Vehicle systems and technology assessment

The institute's guiding vision is successful scientific cooperation for developing efficient vehicle concepts at the interface of energy and transport. The development of future technical systems based on regenerative energy carriers and energy conversion/storage in the vehicle of the future as well as progressive architectures and fuel technologies for road and rail vehicles is supported by a prospective, comprehensive vehicle system analysis and technology evaluation.

## **DLR at a glance**

The German Aerospace Center (DLR) is the national aeronautics and space research centre of the Federal Republic of Germany. Its extensive research and development work in aeronautics, space, energy, transport, digitalisation and security is integrated into national and international cooperative ventures. In addition to its own research, as Germany's space agency, DLR has been given responsibility by the federal government for the planning and implementation of the German space programme. DLR is also the umbrella organisation for the nation's largest project management agency.

DLR has approximately 8000 employees at 20 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Goettingen, Hamburg, Jena, Juelich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also has offices in Brussels, Paris, Tokyo and Washington D.C.

## **Imprint**

Publisher:

German Aerospace Center (DLR)  
Institute of Vehicle Concepts

Contact:

Werner Kraft

Pfaffenwaldring 38–40, 70569 Stuttgart

Phone +49 711 6862-273

E-mail [werner.kraft@dlr.de](mailto:werner.kraft@dlr.de)

## **DLR.de**

(Supported by DLR Technology Marketing)

Illustrations DLR (CC-BY 3.0), unless indicated otherwise.



**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt**  
German Aerospace Center