



Elektromobilität erfordert komplexe Kühlungskonzepte

# Wärmemanagement für Batterien

*Aspekte des Wärmemanagements sind bei der Planung von batteriegestützten E-Mobility-Konzepten bereits in den frühen Phasen des Designprozesses zu berücksichtigen und zu integrieren. Expertenteams unter Beteiligung von Batterieherstellern, Elektroingenieuren und Wärmemanagementspezialisten sollten die damit verbundenen Herausforderungen deshalb bereits früh untersuchen.*

VON FALKO LADIGES,  
TEAMLEADER PEMCO BEI WDI,  
UND RICARDO TURDO,  
TECHNICAL MANAGER BEI PRIATHERM



Falko Ladiges,  
WDI



Ricardo Turdo,  
Priatherm

Einer der wichtigsten Faktoren bei der Entwicklung und dem Betrieb von Hybrid- und Elektrofahrzeugen (HEVs und EVs) ist die Temperatur. So kann beispielsweise eine extrem hohe Temperatur zu einer Explosion oder zu einem drastischen Leistungsabfall der Batteriezellen führen. Im Gegensatz dazu kann ein Batteriesystem, das bei einer sehr niedrigen Temperatur arbeitet, ebenso dysfunktional sein und eine zu niedrige Kapazität haben, da die Reaktionsraten in kalten oder gefrierenden Elektrolyten sehr niedrig sind. Darüber hinaus variiert die Entladerate der Zellen mit der Temperatur und verändert ihre Kapazität. Um den Herausforderungen im Zusammenhang mit der Temperatur gerecht zu werden, haben die meisten Automobilhersteller ein eigenes Wärmemanagement für ihre EVs entwickelt, um bei Abweichungen vom normalen Betriebsbereich die thermische Regelung auszulösen. Diese Steuerung beinhaltet in der Regel sowohl Kühlung als auch Heizung.

*Warum wird bei einem Li-Ionen-Akku Wärme erzeugt?*

Zwei Hauptfaktoren sind für die Wärmeentwicklung in einer Batteriezelle verantwortlich:

- Der Joule-Effekt durch den Innenwiderstand verschiedener Zellkomponenten (Elektrode, Kathode, Anode etc.); er kann minimiert werden, indem man Zellen bei niedrigen Strömen schaltet.
- Exotherme elektrochemische Reaktionen innerhalb der Zelle, die den Transfer von Ionen bewirken.

*Was passiert in der Batterie, wenn die Temperatur außer Kontrolle gerät?*

Bei einer Temperatur von etwa 80 °C löst sich die SEI-Schicht (Solid Electrolyte Interphase) im Elektrolyten. Verursacht wird die primäre Überhitzung durch zu hohen Strom oder hohe Umgebungstemperatur. Nach dem Abbau der

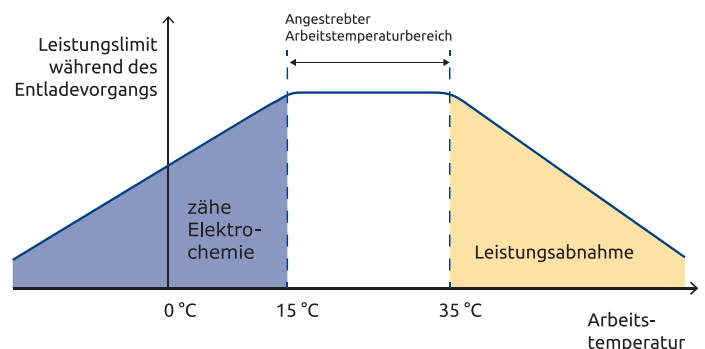


Bild 1: Arbeitstemperaturbereich

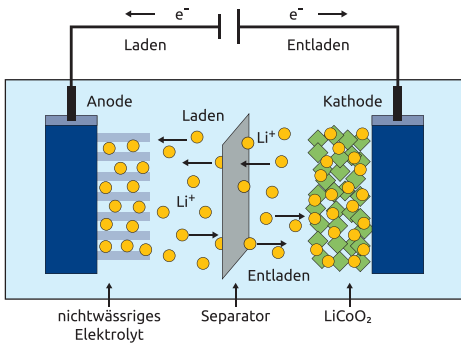


Bild 2: Innere Darstellung einer Batteriezelle

SEI-Schicht beginnt der Elektrolyt mit der Anode zu reagieren. Diese Reaktion ist exotherm, was die Temperatur höher treibt. Eine höhere Temperatur führt dazu, dass die organischen Lösungsmittel unter Freisetzung von Kohlenwasserstoffgasen zerfallen. Normalerweise beginnt dies bei etwa 110 °C. Der Druck in den Zellen wird durch das Gas aufgebaut und die Temperatur liegt über dem Flammpunkt. Allerdings brennt das Gas aufgrund des

Sauerstoffmangels nicht. Eine Entlüftung ist erforderlich, um das Gas freizusetzen, die Zellen unter dem richtigen Druck zu halten und einen möglichen Bruch zu vermeiden. Schmilzt der Separator, kommt es zu Kurzschlüssen zwischen Anode und Kathode bei 135 °C.

Schließlich zerfällt die Metalloxidkathode bei 200 °C und setzt Sauerstoff frei, der den Elektrolyten und das Wasserstoffgas verbrennen lässt. Diese Reaktion ist ebenfalls exotherm und treibt Temperatur und Druck noch weiter nach oben. Infolgedessen kommt es zum Brand oder gar zur Explosion.

.....  
*Wie wird die Temperatur der Batteriezellen unter Kontrolle gehalten?*  
 .....

Eine erste Möglichkeit, Batterien in optimiertem Zustand arbeiten zu lassen, besteht in einem gut durchdachten Batteriemanagementsystem (BMS), das nicht nur die Funktion hat,

die Zelle vor Überhitzung zu schützen, sondern auch ihren Wirkungsgrad zu optimieren und ihre Ladung (SOC) und „Gesundheit“ (SOH) zu überwachen.

Darüber hinaus gleicht ein BMS einen leichten Unterschied zwischen den Zellen aus, um zu vermeiden, dass schwächere Zellen während des Ladevorgangs überlastet werden und dadurch noch schwächer werden, bis hin zum vorzeitigen Ausfall der Batterie. Cell-Balancing gleicht die Ladung aller Zellen aus, welches die Lebensdauer der Batterien verlängert.

Ein weiteres wesentliches Merkmal des BMS ist die Ladesteuerung, die unangemessene und gefährliche Ladevorgänge verhindert.

.....  
*Batteriekühlung*  
 .....

Jedoch reicht das BMS allein in den meisten Fällen nicht aus, um effiziente Arbeitsbedingungen durch die Lithium-Ionen-Batterie zu



1. Überhitzung startet.
- 80 °C 2. Schutzschicht wird zerstört.
- 110 °C 3. Elektrolyt löst sich auf und gibt brennbares Gas frei.
- 135 °C 4. Separator schmilzt und löst möglichen Kurzschluss aus.
- 200 °C 5. Kathode wird zerstört und gibt Sauerstoff frei.

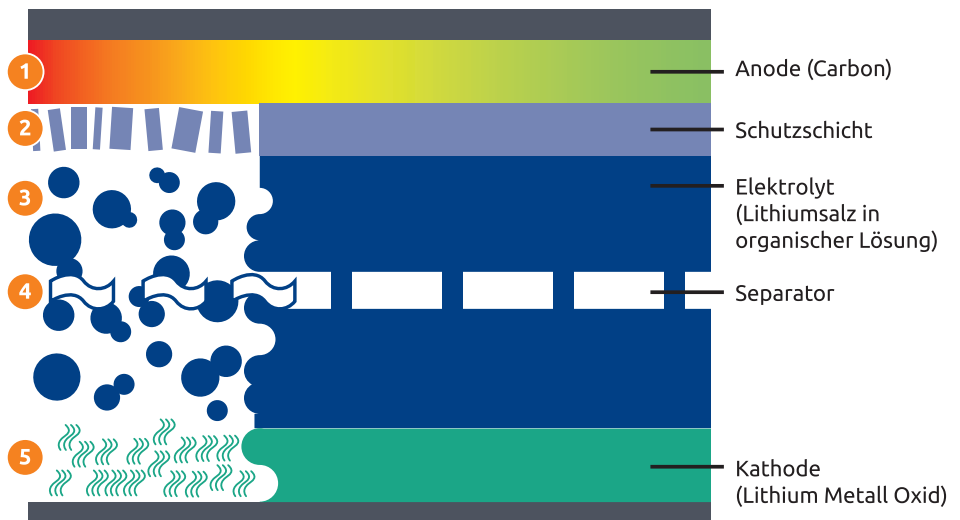


Bild 3: Darstellung der thermischen Änderung bei Überhitzung

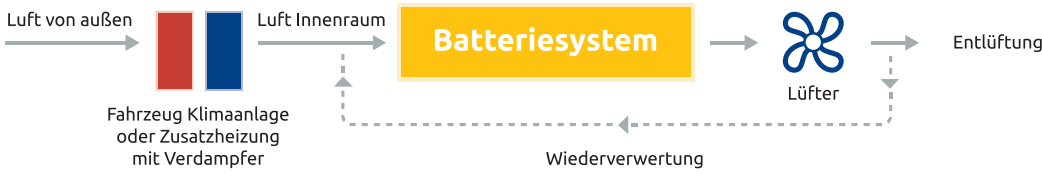


Bild 4: Kühlkreislauf der Luftkühlung

gewährleisten. Batterien müssen durch den Luftstrom abgekühlt werden oder es bedarf des Kontakts mit Flüssigkeitskühler.

Es gibt grundsätzlich zwei gängige Methoden des Batterie-Wärmemanagements:

- Konvektion an der Luft, entweder passiv oder erzwungen
- Kühlung durch Zirkulation von wasserbasiertem Kühlmittel durch Flüssigkeitskühler innerhalb der Batteriestruktur

*Luftkühlung*

Frische Luft, die durch die Batteriezellen strömt, kommt meist aus dem Cockpit, das durch das Klimasystem des Autos konditioniert wird. Diese Methode hat ihre eigenen Vor- und Nachteile, die in Tabelle 1 gegenübergestellt sind.

Beispiele für Hybrid- und Elektroautos, bei denen die Batterie durch Luft gekühlt wird, sind Toyota Prius (NiMH-Zellen) und Nissan Leaf (Li-Ionen-Zellen).

*Flüssigkeitskühlung*

Obwohl Luft als Wärmeträger im Vergleich zur Flüssigkeitskühlung eine einfache und beque-

me Option ist, erlauben die thermischen Eigenschaften von Flüssigkeiten, wenn sie als Kühlmedium eingesetzt werden, mehr Wärme als Luft abzuführen. Sie werden daher in Anwendungen eingesetzt, in denen es darum geht, große Mengen an Wärmeleistung und hohe thermische Dichtewerte aus den Batterien zu entfernen.

Die Flüssigkeit wird durch das Klimasystem des Fahrzeugs oder, häufiger, durch eine spezielle Flüssigkeits-/Flüssigkeitskühleinheit abgekühlt.

Flachzellen, wie in Bild 6 zu sehen, werden häufig durch Flüssigkeitskühler entwärmt, die direkt mit ihren Oberflächen in Kontakt kommen und so die komplette Fläche zur Kühlung nutzen. Jüngste Studien zeigen jedoch erhebliche Leistungsverluste und erhöhte Verluste an nutzbarer Kapazität unter Last. Aus diesem Grund scheint die reine Kontaktkühlung (Tabs)

in Bezug auf den Temperaturgradienten effizienter zu sein, das heißt

- höherer Zellwirkungsgrad
- geringeres Risiko von thermischen Rissen nach mehreren Be- und Entladezyklen

Tabelle 2 zeigt die allgemeinen Vor- und Nachteile von Flüssigkeitskühlsystemen für Elektro- und Hybridfahrzeuge.

Beispiele für Hybrid- und Elektroautos, bei denen die Batterie durch Flüssigkeit gekühlt wird, sind Tesla-S, Chevrolet Bolt und Audi A3 Sportback e-tron.

Es gibt auch einige Fälle von Elektroautos (wie etwa der BMW i3), bei denen die Kühlung der Zellen nicht durch Wasser-Glykol-Gemische, sondern durch Zweiphasen-Flüssigkeit direkt aus dem Klimasystem erfolgt.

*Benötigte Grunddaten für das Batterie-Wärmemanagement*

Um ein Batteriekühlsystem für EVs oder HEVs richtig zu gestalten, müssen im Allgemeinen folgende Informationen verfügbar sein:

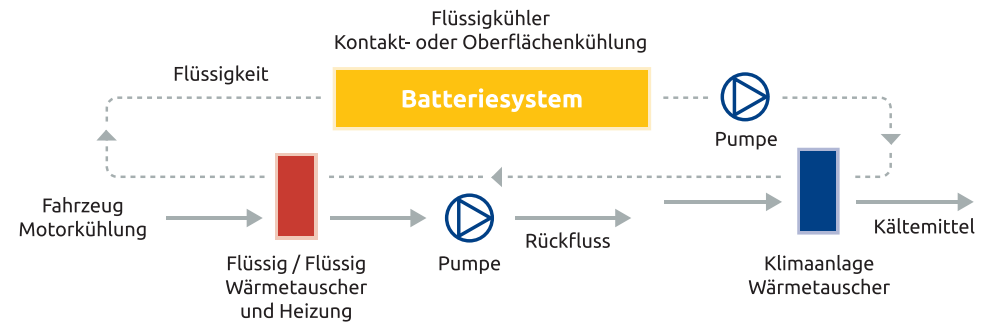


Bild 5: Kühlkreislauf der Flüssigkeitskühlung

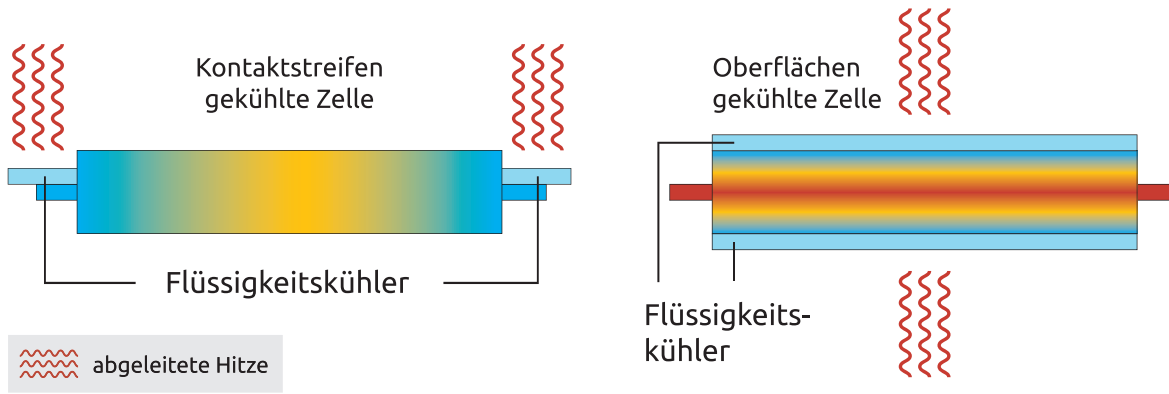


Bild 6: Kühlung der Kontaktflächen im Vergleich zur Oberflächenkühlung

- Zellenform (prismatisch, Flachzelle, zylindrisch) und geometrische Konfiguration der Module
- Gewichtsbeschränkungen
- Akkupositionierung
- Kühlmedien an Bord (Wasser und Frostschutzmittel, Korrosionsschutz, Öl, Zweiphasenflüssigkeiten)
- Temperatur der Eingangsflüssigkeit
- thermische Schnittstellen (Graphit, Phasenwechselmaterialien)
- Oberflächen- vs. Kontaktflächenkühlung

schwindet. Lithium-Ionen-Batterien stellen derzeit das am weitesten verbreitete Speichermedium in EVs und HEVs dar, und ihre Erforschung und Weiterentwicklung wird immer weiter vorangetrieben.

Eine gut durchdachte Temperaturregelung von Lithium-Ionen-Batterien ist eine Grundvoraussetzung für einen optimalen Wirkungsgrad von Elektromotoren. Zudem kann die Einhaltung der Temperatur im gewünschten Bereich sowie niedriger Temperaturgradienten eine längere Akkulaufzeit und eine bessere Energieeffizienz garantieren.

Fazit: Da die Aspekte des Wärmemanagements bereits in frühen Phasen des Designprozesses berücksichtigt werden müssen, sollten sich Expertenteams unter Beteiligung von Batteriehersteller, Elektroingenieuren und Wärmemanagementspezialisten frühzeitig mit diesen Themen auseinandersetzen. (eg) ■

Für 2020 wird erwartet, dass die Nutzung konventioneller thermischer Motoren zurückgeht und voraussichtlich bis 2050 gänzlich ver-

Vorteile	Nachteile
überschüssige Wärme wird zum Heizen des Innenraumes verwendet	geringere Wärmeübertragungsleistung
kein separater Kühlkreislauf nötig	höherer Temperaturgradient innerhalb der Batterie
keine Gefahr von Leckagen	potenzieller Rückfluss des entlüfteten Batteriegases in den Innenraum
keine Gefahr eines elektrischen Kurzschlusses durch austretende Flüssigkeiten	Lüftergeräusche
geringere Systemkomplexität = geringere Kosten	
einfachere Wartung	

Tabelle 1: Vor- und Nachteile einer Luftkühlung der Batterien von E-Fahrzeugen

Vorteile	Nachteile
höhere Leistungsflussabsorption	zusätzliche Komponenten
gleichmäßiger Temperaturgradient zwischen den Zellen	Gewicht
geringeres Volumen, kompaktes Design	potenzielles Leckagerisiko
bessere thermische Kontrolle	höhere Wartungskosten
	Flüssigkeitsvorwärmung nötig bei Temperaturen unter 0 °C

Tabelle 2: Vor- und Nachteile einer Flüssigkeitskühlung der Batterien von E-Fahrzeugen