

# Phasenwechselmaterial Als Passives Wärmemanagement Für Lithium-Ionen-Akkus

---

## **Kurzfassung**

Durch das vermehrte Aufkommen von Elektrofahrzeugen und stationären Speicheranwendungen steigt der Bedarf an großen Batteriesystemen. Dadurch entwickeln sie sich von einer Nische zu einem Standardprodukt. Es gibt jedoch einige technologische Herausforderungen im Umgang mit diesen Batterien. Vor allem in diesen neuen komplexen und leistungsstarken Anwendungen besteht ein erheblicher Bedarf an einem Wärmemanagement. Daher, je nach Umgebungsbedingungen muss ein Teil der effektiven Batterieenergie zum Temperieren des Systems eingesetzt werden. Bisher wurden hauptsächlich aktive Komponenten für diese Aufgabe verwendet. Das reduziert nicht nur die Gesamteffizienz, sondern erhöht auch das Gewicht, das Volumen und den Wartungsbedarf des Systems. In der vorliegenden Arbeit wurde ein alternatives passives Batterie-Temperaturmanagementsystem (BTMS) entwickelt. Ein Konzept, basierend auf Latentwärmespeichermaterialien wird vorgestellt und auf seine Einsatzfähigkeit in Batterieanwendungen überprüft. Mit Hilfe von Laborexperimenten werden verschiedene PCM-Proben überprüft und auf die häufigsten BTMS-Aufgaben bewertet und quantifiziert. Um Aussagen über das thermische Verhalten von Batteriesystemen mit passiver PCM-Kühlung treffen zu können, wurden numerische Strömungsmechanik Modelle (CFD) für Batterien und die umgebende thermische Masse erstellt.

*Stichworte: Lithium-Ionen-Akku, Phasenwechselmaterial, Batterie-Temperatur Managementsystem*

---

## **1. Einleitung**

Aufgrund globaler Trends wie tragbare elektronische Geräte, die vorübergehende Speicherung erneuerbarer Energien und die Elektrifizierung von Fahrzeugantrieben haben sich Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) in zahlreichen Anwendungen von einer Nischentechnologie zu einer der Schlüsselkomponenten entwickelt. Ihre wichtigsten Eigenschaften wie Speicherkapazität und Leistung werden sehr stark von Umgebungsbedingungen, insbesondere der Temperatur, beeinflusst. Das ideale Temperaturfenster für LIBs liegt zwischen 15 °C und 30 °C [1]. Daher ist ein detailliertes Verständnis dieser Zusammenhänge und die Entwicklung einer geeigneten unterstützenden Batteriesystemtechnologie von größter Bedeutung für den umfassenden und nachhaltigen Erfolg von Batteriesystemen. Der Vorteil der Speicherung von Wärmeenergie im Batteriesystem ergibt sich aus dem Benutzerverhalten und der systematischen Tatsache, dass Fahrzeuge nicht immer an Ladestationen angeschlossen sind, um Energie zum Erwärmen des Batteriepacks zu erhalten. Die Einhaltung eines Temperaturfensters für die Antriebsbatterie optimiert nicht nur die Leistung und Speicherkapazität, sondern reduziert auch die Belastung der Batteriezellen, was sich

wiederum positiv auf die Lebensdauer auswirkt. Somit sinkt der Gesamtenergieverbrauch eines Elektrofahrzeugs im Lebenszyklus von der Produktion bis zum Recycling.

## 2. Methode

Phasenwechselmaterialien (PCM) werden auf ihre Eignung als thermische Energiespeicher für Batterien untersucht. Mithilfe der thermischen Parameter der eingesetzten Batteriezellen werden geeignete PCM definiert und in Laborexperimenten auf ihre Eignung untersucht.

### 2.1 Thermisches Verhalten von Lithium-Ionen-Batterien

Bei Li-Ionen-Akkus entsteht im Betrieb Wärme. Da in dieser Arbeit kommerziell erworbene Batterien behandelt werden, deren Zusammensetzung nicht im Detail bekannt ist, wird der Effekt der Temperaturerzeugung im Zusammenhang mit Verlusten, die als Joules-Gesetz der Erwärmung bekannt sind, verwendet, um die Wärmeerzeugung der Batteriezelle zu beschreiben. Die Wärmemenge kann als Wärmeenergie angesehen werden, die aus elektrischer Energie umgewandelt wird [2].

$$Q_{\omega} = E_{Electrical} = P * t = \int_0^t P dt \quad (1)$$

Die Menge der Wärmeenergie führt in erster Linie zu einer Erwärmung des Leiters durch eine Temperaturdifferenz, die beschrieben wird als:

$$\Delta v = \frac{Q_{\omega}}{C_v} \quad (2)$$

Der Begriff  $C_v$  steht für Wärmekapazität.  $Q_{\omega}$  steigt linear mit der Zeit bei konstanter Leistung an. So steigt auch die Temperatur linear an, bis sie sich mit dem folgenden Prozess überschneidet. Wird die Leitertemperatur wärmer als die Umgebung, beginnt sie, Wärmeenergie durch Wärmeleitung, Strahlungs- oder Konvektionswärmeübertragung zu übertragen. Wenn die Stromversorgung gleichmäßig und kontinuierlich ist, erreichen der Leiter und die Umgebung einen Gleichgewichtszustand bei einer höheren Temperatur, bei der der abgegebene Wärmestrom und die aufgenommene elektrische Leistung gleich sind. Die typische Kapazität unserer Testzelle ist 2150 mAh und die Nennklemmenspannung 3,62 V. Daraus können wir den Energiebedarf für eine Zellenbe- oder -entladung berechnen. Für einen Kapazitätsvergleich benötigen wir die Umrechnung von Amperestunden in Wattstunden. In unserem Fall ist es:

$$E = Q * V \quad (3)$$

$$[Wh] = [Ah * V]$$

Mit dieser Formel ergibt sich ein Energiespeicherbedarf von ca. 8 Wh pro Batteriezelle.

### 2.2 Temperaturmanagement

Ein BTMS in Elektrofahrzeugen ist für den effektiven Betrieb der Antriebsbatterie in allen Klimazonen unerlässlich. Das Hauptziel dieses Systems ist es, den Akku in einem optimalen Durchschnittstemperaturbereich zu halten. Es muss den Anforderungen des Fahrzeugherstellers

entsprechen. Dies wäre eine kompakte und leichte Konstruktion, die kostengünstig, zuverlässig und für die Wartung leicht zugänglich ist und wenig parasitäre Energie verbraucht. Ein BTMS kann Luft oder Flüssigkeit zum Kühlen und Heizen verwenden und kann passiv oder aktiv sein [3]. Eine neuartige Wärmemanagementlösung, die PCM als Wärmeabgabequelle verwendet, könnte viele Vorteile bringen. Die Hauptvorteile eines solchen Wärmemanagementsystems sollten ein kompaktes, kostengünstiges und wartungsarmes System ohne parasitäre Leistungsanforderungen sein [4].

### 2.3 Phasenwechselmaterial

In sensiblen Wärmespeichern wird Wärme durch die Temperaturdifferenz eines Speichermediums vor und nach dem Ladevorgang gespeichert. Beim Latentwärmespeicher wird die Wärme eher "latent" als "fühlbar" gespeichert. Das Laden und Entladen erfolgt durch Änderung des Aggregatzustands des Mediums anhand der jeweiligen Enthalpie. Diese Systeme können Wärme über einen langen Zeitraum relativ verlustfrei speichern [5].

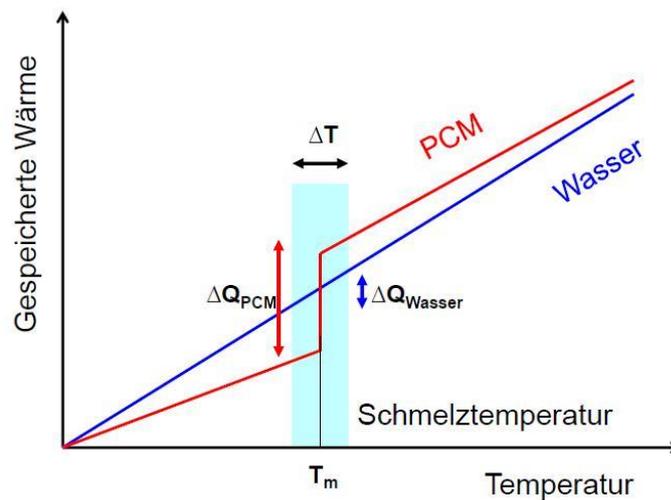


Abbildung 1: Gespeicherte Wärme/Temperatur Diagramm [6]

Abbildung 1 zeigt den Unterschied zwischen fühlbarer und latenter Wärmespeicherung. Der Vorteil eines größeren Energiespeichers kann nur in einem bestimmten Bereich genutzt werden.

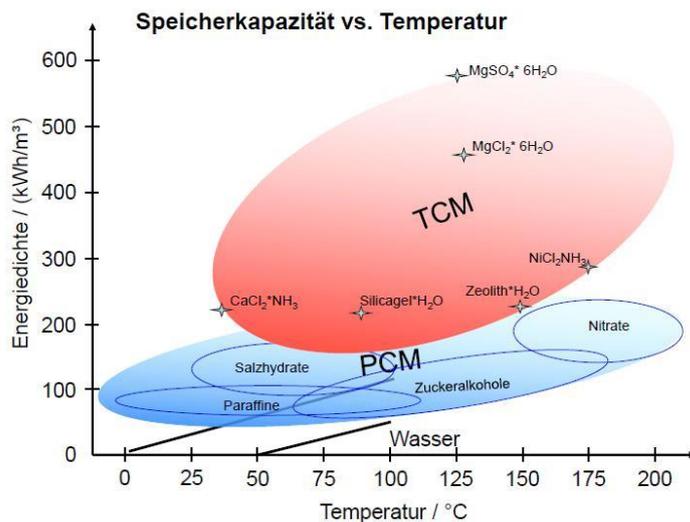


Abbildung 2: Energiedichte verschiedener Speichermedien [6]

Wir wissen, dass das ideale Temperaturfenster für einen dauerhaften Betrieb der gewählten Batterien zwischen 15 °C und 30 °C liegen sollte. In Abbildung 2: Energiedichte verschiedener Speichermedien können wir sehen, dass für diesen Temperaturbereich nur Paraffine in Frage kommen. Mit Paraffin RT21 erfüllen wir diese Anforderung.

<b>Daten im Überblick:</b>		<b>Typische Werte</b>
<b>Schmelzbereich</b>		<b>18-23</b> [°C] Maximum: 21
<b>Erstarrungsbereich</b>		<b>22-19</b> [°C] Maximum: 22
<b>Wärmespeicherkapazität ± 7,5%</b> <small>Kombination aus latenter und sensibler Wärme im Temperaturbereich von 13 °C bis 28 °C.</small>		<b>155</b> [kJ/kg]* <b>43</b> [Wh/kg]*
<b>Spezifische Wärmekapazität</b>		<b>2</b> [kJ/kg·K]
<b>Dichte fest</b> <small>bei 15 °C</small>		<b>0,88</b> [kg/l]
<b>Dichte flüssig</b> <small>bei 25 °C</small>		<b>0,77</b> [kg/l]
<b>Wärmeleitfähigkeit</b>		<b>0,2</b> [W/(m·K)]
<b>Volumenausdehnung</b>		<b>12,5</b> [%]
<b>Flammpunkt</b>		<b>140</b> [°C]
<b>Max. Arbeitstemperatur</b>		<b>40</b> [°C]

Abbildung 3: Datenblatt RT21 [7]

Wie wir im zugehörigen Datenblatt in Abbildung 3: Datenblatt RT21 sehen können hat dieses Material im gewählten Temperaturbereich eine Wärmespeicherkapazität von 43 Wh. Im Kapitel 2.1 Thermisches Verhalten von Lithium-Ionen-Batterien haben wir eine Energiekapazität von 8 Wh pro Batteriezelle festgestellt. Aufgrund dieser Werte besteht ein Bedarf an thermischem Energiespeichermaterial RT21 von ca. 0,20 kg pro Batteriezelle im Batteriepack.

### 3. Modell & Simulation

Die Kühlung in einem Batteriepack, kann als zweidimensionaler periodischer Wärmestrom modelliert werden. Das für die Simulation gewählte System ist eine Reihe von Batteriezellen, die Wärme abgeben und von PCM umgeben sind, das als passive Kühlung fungieren soll. Die in den Zellen des Batteriepacks

erzeugte Wärme wird an das PCM übertragen. Im Gegensatz zu aktiven Kühlsystemen erfolgt der Wärmeübergang innerhalb des Akkupacks nur durch Wärmeleitung. Die Darstellung der aktiven Kühlung im Vergleich zur passiven Kühlung ist in Abbildung 4 zu sehen.

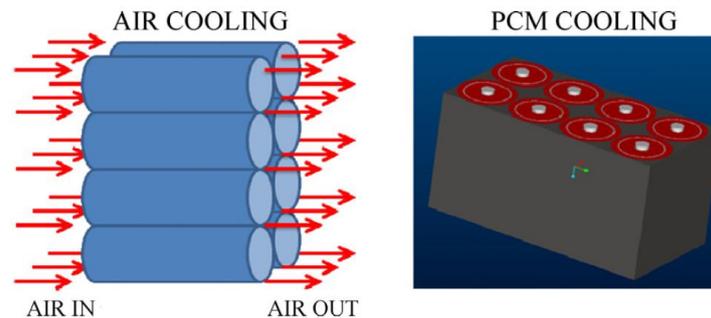


Abbildung 4: Vergleich von aktiver und passiver Kühlung [8]

Die Temperaturverteilung im Material wurde bei der maximalen Batteriezellentemperatur von 45 °C und Umgebungstemperaturen zwischen 0 °C, 22 °C und 45 °C simuliert. Dadurch konnte gezeigt werden, dass die von der Batteriezelle erzeugte Wärme in allen drei Fällen vollständig vom PCM absorbiert werden kann. Daraus schließen wir, dass die gesamte Wärmeenergie einer Batteriezelle während eines Lade- oder Entladevorgangs vom umgebenden PCM aufgenommen werden kann. Der Kühleffekt bei Umgebungstemperatur ist aufgrund der Materialeigenschaften des PCM kaum bis gar nicht vorhanden.

#### 4. Ergebnis

In diesem Projekt wurde das passive Wärmemanagement für LIBs mit Phasenwechselmaterial auf Machbarkeit und Wirksamkeit für Elektrofahrzeugbatteriemodule untersucht. Mit Laborexperimenten konnten wir verschiedene Speichermaterialien auswerten und ein geeignetes PCM für den erforderlichen Temperaturbereich der gewählten Batteriezelle definieren. Die starke Temperaturabhängigkeit der Leistung eines Li-Ionen-Akkupacks könnte durch Hinzufügen eines Wärmespeichers mit hoher Energiedichte wie unserem PCM gedämpft werden. Für den sicheren Betrieb der Batterie bei Überhitzung muss eine zusätzliche Kühlung aufgrund der schlechten Wärmeleitung des PCM integriert werden. Die Implementierung von PCM in der Fahrzeugbatterie erhöht das Gesamtgewicht der Batterie und erhöht das Gesamtgewicht des Fahrzeugs, was zu einem erhöhten Energieverbrauch führen würde. PCMs, die die Anforderungen erfüllen, sind auf dem Markt nicht weit verbreitet, was zu einer Erhöhung der Kosten des Batteriepacks führen kann.

## Literaturverzeichnis

- [1] T. Reddy und D. Linden, Lindens's Handbook of Batteries, Fourth Edition, McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.
- [2] H. D. Baehr und S. Kabelac, Thermodynamik - Grundlagen und technische Anwendungen, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [3] A. Pesaran, „Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issue and Solution,“ in *Advanced Automotive Battery Conference*, Las Vegas, 2001.
- [4] P. Nelson, D. Dees, K. Amine und G. Henriksen, „Modeling thermal management of lithium-ion PNGV batteries,“ in *Journal of Power Sources 110*, 2002, pp. 349-356.
- [5] M. Sterner und I. Stadler, Energiespeicher, Berlin: Springer-Verlag, 2014.
- [6] A. Hauer, S. Hiebler und M. Reuß, Wärmespeicher, Fraunhofer IRB, 2012.
- [7] R. T. GmbH, „Rubitherm Technologies GmbH,“ [Online]. Available: <https://www.rubitherm.eu/index.php/produktkategorie/organische-pcm-rt>. [Zugriff am 23 April 2018].
- [8] R. Kizilel, R. Sabbah, J. R. Selmán und S. Al-Hallaj, „An alternative cooling system to enhance the safety of Li-ion battery packs,“ in *Journal of Power Sources 194*, Elsevier B.V., 2009.
- [9] A. Jossen und W. Weydanz, Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, Leipzig/München: Inge Reichardt Verlag, 2006.
- [10] F. Kenfack und M. Bauer, „Innovative Phase Change Material (PCM) for heat storage for industrial applications,“ in *8th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition*, Berlin, 2013.
- [11] H. Wallentowitz, A. Freialdenhoven und I. Olschewski, Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010.
- [12] F. Kalhammer, B. Kopf, D. Swan, V. Roan und M. Walsh, „Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology, Report of the ARB Independent Expert Panel 2007,“ 2007. [Online]. Available: [https://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev\\_panel\\_report.pdf](https://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev_panel_report.pdf). [Zugriff am 02 Juli 2018].
- [13] A. Jossen und W. Weydanz, Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, München: Inge Reichardt Verlag, 2006.
- [14] L. Samsung SDI Co., „ICR18650-22P Specification Sheet,“ Battery Business Division, 2010.