

# Immersionskühlung mit E-Fluiden an der Argomotive GmbH

## Was ist die Idee hinter einer Immersionskühlung?

Durch die voranschreitende Elektrifizierung aller Fahrzeug- bzw. Maschinenklassen, werden vor allem bei den batterieelektrischen Antrieben neue, höhere Anforderungen und damit technische Herausforderungen an den Antriebsstrang gestellt. Hierbei ist vor allem bei der Traktionsbatterie Handlungsbedarf vonnöten. Gerade in Hinsicht auf die Reichweite bzw. Nutzungsdauer und langanhaltende Leistungsabgabe kommen heutige Traktionsbatterien mit herkömmlichen Thermomanagementsystemen an ihre Grenzen. Denn Lithium-Ionen-Zellen müssen für eine optimale Leistungs- und Energiebereitstellung sowie Lebensdauer in einem bestimmten Temperaturfenster gehalten werden, siehe Abbildung 1.

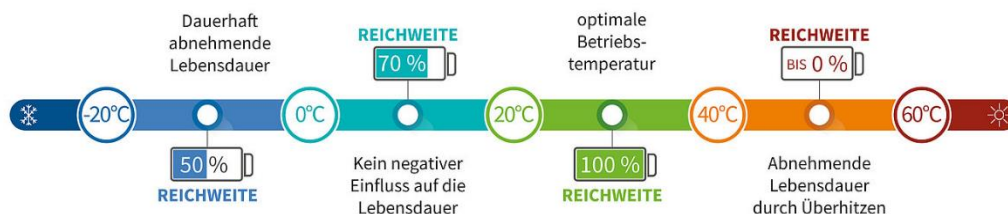


Abb. 1: Auswirkungen der Batterietemperatur auf Reichweite und Lebensdauer [1]

Um das umzusetzen, sind intelligente und effiziente Thermomanagementsysteme notwendig. Bisherige Systeme nutzen Luft (direkter Kontakt) oder Wasser-Glykol (indirekter Kontakt) als Kühl- bzw. Thermofluide. Diese beiden Ansätze haben allerdings erhebliche Nachteile. Um die Zellen mit Luft kühlen zu können, sind ein sehr großer Luftvolumenstrom (große Gebläse) und Kühlkörper notwendig. Selbst dann können die Zellen unter Dauerlast zu heiß werden und im Fall des thermischen Durchgehens der Batterie kann die Luftkühlung keinerlei Abhilfe schaffen. Im Gegenteil, durch Luftzufuhr wird ein Batteriebrand begünstigt.

Das bisher bewährteste System mit Bodenplatten, Kühlkanälen und Wasser-Glykol als Kühlmittel hat bessere Möglichkeiten, Zellen zu kühlen, auch wenn die Temperaturhomogenitäten und damit die Lebensdauer der Zellen benachteiligt werden. Allerdings bringt auch dieses System viel Masse mit sich, z.B. durch die metallischen Kühlkanäle und -platten und die damit notwendigen elektrischen Isolatoren, welche gleichzeitig einen Wärmeübergangswiderstand darstellen. Durch diese Widerstände kann das eigentliche Potential von Wasser(-Glykol) nicht ausgeschöpft werden. Und auch dieses System kann das thermische Durchgehen einer Batterie nicht verhindern.

Dielektrische Thermofluide, auch E-Fluide genannt, zeigen ein sehr großes Potential zur Verbesserung in allen angerissenen Problematiken. Die Idee hinter E-Fluiden ist es, die Zellen und Stromschienen direkt mit einer Thermoflüssigkeit zu umspülen. In Abbildung 2 und 3 wird diese Idee schematisch dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass jede Zellform geeignet ist und je nach Anforderung auch nicht die gesamte Batterie umspült werden muss.

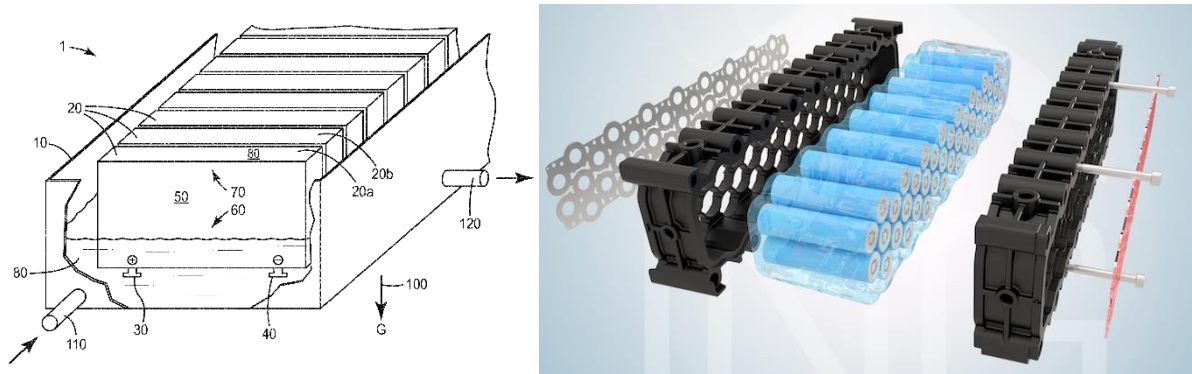


Abb. 2 und 3: Schematische Darstellungen einer Immersionskühlung [2], [3]

Bei dieser direkten Kühlung fallen Wärmeleitwiderstände und damit auch Masse weg. Zudem ist der Flammenübergreif zwischen Zellen beim thermischen Durchgehen minimiert oder sogar ausgeschlossen. Dazu wurde am Southwest Research Institute ein Versuch durchgeführt, bei dem zwei identische Batterien bei einem Nageldurchstoß jeweils mit Luft und mit einem E-Fluid gekühlt wurden. Das E-Fluid wurde dabei nur im Kreis gepumpt und nicht weiter gekühlt. Das Ergebnis des Versuches ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Batterie im Luftversuch wurde vollständig zerstört, während im Versuch mit dem E-Fluid lediglich die durchstoßene Zelle nicht mehr funktionstüchtig war. Die acht anderen Zellen behielten dabei sogar ihre Spannungen. Die dabei gemessenen Temperaturen veranschaulichen ebenfalls die Wirksamkeit des E-Fluids: die höchste gemessene Temperatur lag bei ca. 320 °C, während beim Versuch mit Luft ca. 1500 °C erreicht wurden. [4]



Abb. 4: Testergebnisse des Versuchs zum thermischen Durchgehen mit Luft und einem E-Fluid [4]

Ein weiterer Vorteil der Immersionskühlung ist die Temperaturhomogenität auf Zell- und Batteriepackebene. In Abbildung 5 ist dazu eine Simulation im Vergleich mit einer Bodenplattenkühlung dargestellt. Nicht nur sind die maximalen Temperaturen geringer, auch der Temperaturgradient über die Zellen ist wesentlich kleiner, was zu einer längeren Lebensdauer durch reduzierte Degradation führt. Diese Eigenschaft der Immersionskühlung kann ebenfalls zur Konditionierung bzw. Erwärmung der Zellen, z.B. bei niedrigen Umgebungstemperaturen, genutzt werden. So kann sichergestellt werden, dass die Zellen eine gleichmäßige Temperatur im optimalen Betriebsbereich erreichen, bevor sie be- oder entladen werden.

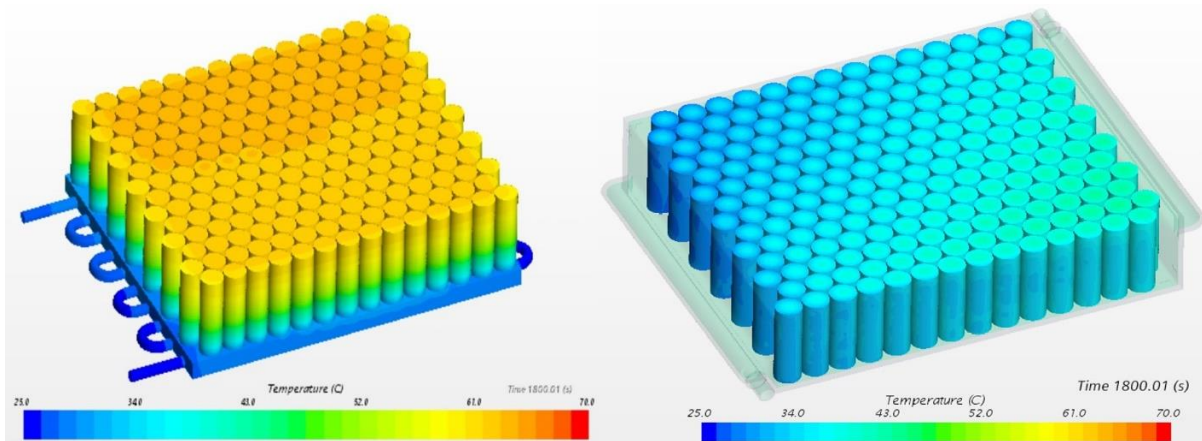


Abb. 5: Vergleichende Simulationen zwischen Bodenplatten- und Immersionskühlung [5]

## Immersionenkühlung bei der Argomotive GmbH

Im Rahmen eines Projektes und einer Abschlussarbeit wurde ein Demonstrator im Labormaßstab konzipiert und aufgebaut, um verschiedene auf dem Markt erhältliche E-Fluide zu testen und miteinander zu vergleichen. Der Demonstrator ist schematisch in Abbildung 6 dargestellt und besteht im Wesentlichen aus dem Kühlkreislauf (schwarz) mit Batterie (acht Zellen) und Batteriegehäuse, Pumpe mit Reservoir und Wärmetauscher. Um die Batterie be- und entladen zu können, wird ein Ladegerät mit integriertem Batteriemanagementsystem und eine elektronische Last verwendet. Damit ist es möglich, Testzyklen für verschiedenen Testflüssigkeiten zu reproduzieren. Bei diesen Versuchen mit verschiedenen Entladeströmen wurden mehrere Temperaturen (blau: Zelloberflächen, Stromschiene, Umgebung und Eingang/Ausgang Wärmetauscher), Spannungen und Ströme, der Volumenstrom der Kühlflüssigkeit und die Pumpenleistung aufgenommen. Mit einem konstant eingestellten Volumenstrom lässt sich über die nötige Pumpenleistung eine Aussage über die Viskosität treffen. Mit passiver Luftkühlung als Referenz konnte ein deutlicher thermischer Vorteil aller drei E-Fluide, allerdings auch Unterschiede zwischen den Thermofluiden festgestellt werden, sowohl in Hinsicht auf die Temperaturen als auch auf die nötige Pumpenleistung.

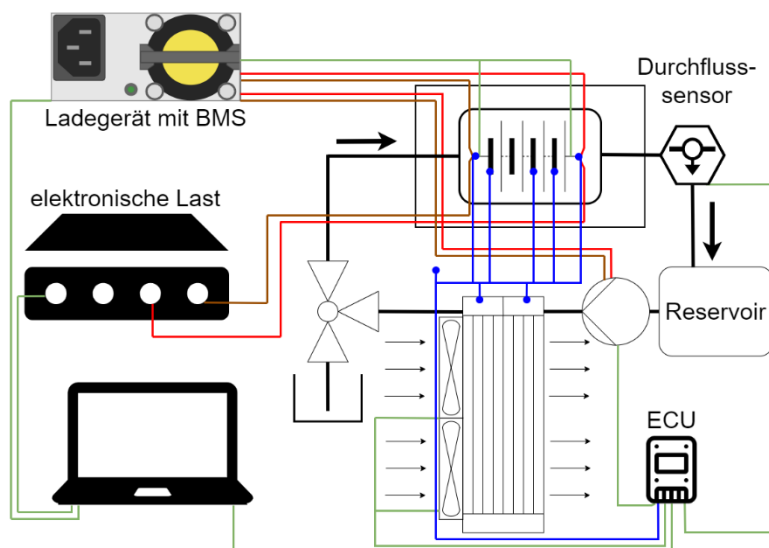


Abb. 6: Schematische Darstellung des Demonstrators

Zur weiteren Untersuchung und weiteren vergleichenden Tests von dielektrischen Thermofluiden wird das Prinzip des Demonstrators auf die Größe eines Prüfstandes skaliert und umgesetzt. Dieser Prüfstand ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt. Durch die Nutzung eines Fluidkonditionierers und eines Temperaturschranks wird es bei diesem Prüfstand möglich sein, sowohl das zu testende E-Fluid als auch die Zellen getrennt voneinander zu temperieren, auch bis  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dadurch sind auch Versuche zur Erwärmung der Batteriezellen durch das Thermofluid möglich. Mit der Kombination der elektrischen Last und Quelle ist es außerdem möglich, flexiblere und komplexere Testzyklen zu realisieren. Auch hier werden die Temperaturen der Zelloberflächen, Stromschienen und des Thermofluides aufgezeichnet und der Volumenstrom konstant gehalten, um vergleichbare Ergebnisse zwischen verschiedenen Flüssigkeiten erhalten zu können.

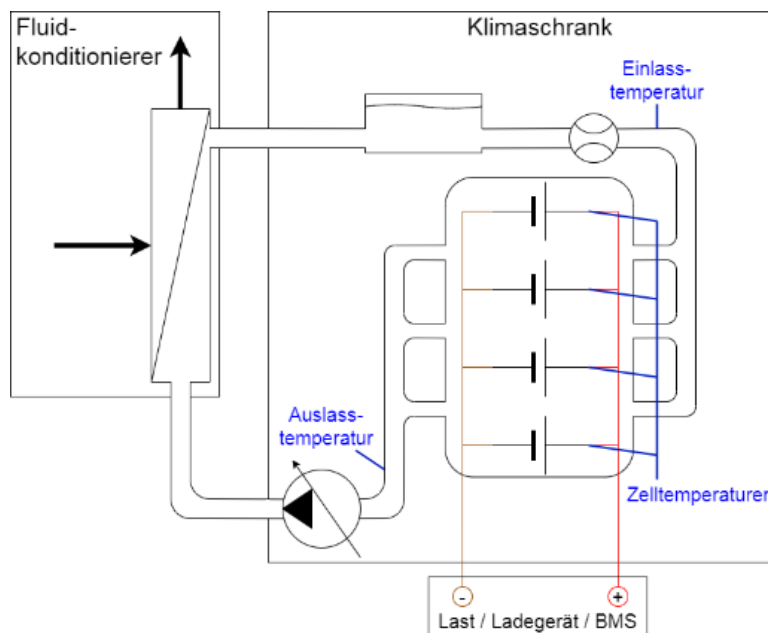


Abb. 7: Schematische Darstellung des Prüfstandes

## Kontakt

### **Argomotive GmbH**

Institut für effiziente und umweltverträgliche Antriebstechnologien

Gutzkowstraße 30  
D - 01069 Dresden

Web: [www.armacotive.de](http://www.armacotive.de)

Prof. Dr.-Ing. Gennadi Zikoridse  
*Geschäftsführer*  
Telefon: +49 (0) 351 / 6475 3970  
E-Mail: [gennadi.zikoridse@armacotive.de](mailto:gennadi.zikoridse@armacotive.de)

Dipl.-Ing. (FH) Nick Noel Jander  
*Projektingenieur*  
Telefon: +49 (0) 351 / 4049 6921  
E-Mail: [nick.jander@armacotive.de](mailto:nick.jander@armacotive.de)



## Quellen

[1] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Elektrofahrzeuge (BEV/PHEV); Veröffentlichung von Januar 2022  
<https://www.alternativ-mobil.info/alternative-antriebe/elektrofahrzeuge-bevphevreev/page> Abruf:  
11.07.2022

[2] Hoffmann, Dirk: Thermal Management System For Battery Cells; EP 3 742 541 A1: 21.05.2019,  
Europäisches Patentamt

[3] Advanced Batteries & Energy Storage Research: XING Mobility, Castrol Advanced Immersion Cooled  
Battery Systems, Veröffentlichung von 27.04.2021  
<https://www.advancedbatteriesresearch.com/articles/23666/xing-mobility-castrol-advanced-immersion-cooled-battery-systems> Abruf 07.10.22

[4] Southwest Research Institute: Insights into Fire Propagation in NMC 21700 Cell Modules with and without  
Immersive Cooling; MDPI Energies: Presentation at the International Battery Seminar, S. 6–15

[5] Dubey, Prahit; Pulugundla, Gautam; Srouji, A. K.: Direct Comparison of Immersion and Cold-Plate Based  
Cooling for Automotive Li-Ion Battery Modules; MDPI Energies: Vol.14, 02/2021, S. 1–19