

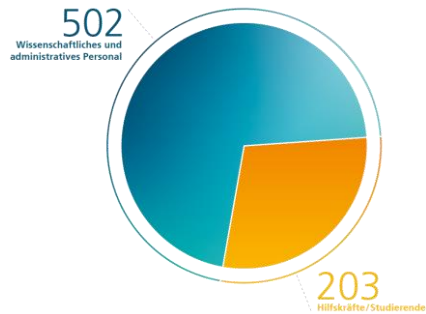
Festkörp**er**batterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Dr. Ingo Bardenhagen, 30.11.2022,
10. Forum Elektromobilität Schleswig-Holstein

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Vorstellung Fraunhofer IFAM

Personalstruktur 2021



- 700+ Mitarbeitende
- Gesamthaushalt 2021: 61,5 Mio. Euro
- 7 Standorte

Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung für die Anwendungsgebiete

- Polymere und metallische Materialien
- Oberflächentechnologie und Klebtechnik
- Formgebung und Funktionalisierung



Standorte



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Presse – Festkörperbatterien auf dem Vormarsch

03.03.2022 - 10:20

China: WeLion baut Fabrik für Feststoffbatterien

Batterie Batterieproduktion China ET7 Feststoff-Akku Nio WeLion

Quelle: <https://www.electrive.net/2022/03/03/china-welion-baut-fabrik-fuer-feststoffbatterien/>

- Gigafactory für Festkörperbatterien
 - Produktion 2022: 20 GWh
 - Geplanter Ausbau auf 100 GWh

01.03.2022 - 10:55

Chinesisches Startup baut Werk für Feststoffbatterien

Batterie Batteriefabrik Batteriezellen China ChingTao Energy Feststoff-Akku Jiangsu Kunshan QingTao Startup

Quelle: <https://www.electrive.net/2022/03/01/chinesisches-startup-baut-werk-fuer-feststoffbatterien/>

- Gigafactory für Festkörperbatterien
 - Produktion 2020: 1 GWh

05.09.2022 - 11:37

ProLogium plant Batteriefabrik in Europa oder USA

Batterie Batteriefabrik Batterieproduktion Batteriezellen Deutschland Europa Feststoff-Akku Frankreich Großbritannien

Quelle: <https://www.electrive.net/2022/09/05/prologium-plant-batteriefabrik-in-europa-oder-usa/>

- Aktuelle Gigafactory in Taiwan
 - Produktion (Start 2023): 3 GWh
 - Plan Europa / USA: 120 GWh

18.12.2017 - 15:11

BMW und Solid Power entwickeln Festkörper-Akkus

Batterie BMW Feststoff-Akku Solid Power

Quelle: <https://www.electrive.net/2017/12/18/bmw-und-solid-power-entwickeln-festkoerper-akkus/>

15.05.2021 - 10:40

QuantumScape prüft Zellproduktion in Salzgitter

Batterie Batterieproduktion Batteriezellen Feststoff-Akku Niedersachsen QuantumScape Salzgitter Volkswagen

Quelle: <https://www.electrive.net/2021/05/15/quantumscape-prueft-zellproduktion-in-salzgitter/>

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Presse – Festkörperbatterien auf dem Vormarsch

03.03.2022 - 10:20

China: WeLion baut Fabrik für Feststoffbatterien

Batterie Batterieproduktion China EV Feststoff-Akku Nio WeLion

Quelle: <https://www.electrive.net/2022/03/03/china-welion-baut-fabrik-fuer-feststoffbatterien/>

- Gigafactory für Festkörperbatterien
 - Produktion 2022: 20 GWh
 - Geplanter Ausbau auf 100 GWh

01.03.2022 - 10:55

Chinesisches Startup baut Werk für Feststoffbatterien

Batterie Batteriefabrik Batteriezellen China China-Startups Feststoff-Akku Nio Nio-Startups Nio-Startups

Quelle: <https://www.electrive.net/2022/03/01/chinesisches-startup-baut-werk-fuer-feststoffbatterien/>

- Gigafactory für Festkörperbatterien
 - Produktion 2020: 1 GWh

05.09.2022 - 11:37

ProLogium plant Batteriefabrik in Europa oder USA

Batterie Batteriefabrik Batterieproduktion Batteriezellen Deutschland Europa Feststoff-Akku Frankreich Großbritannien

Quelle: <https://www.electrive.net/2022/09/05/prologium-batteriefabrik-in-europa-oder-usa/>

- Aktuelle Gigafactory in Taiwan
 - Produktion (Start 2023)
 - Plan Europa / USA: 120 GWh

12.12.2017 - 15:11

BMW und Solid Power entwickeln Festkörperbatterie

Batterie BMW Feststoff-Akku Solid Power

Quelle: <https://www.electrive.net/2017/12/12/bmw-und-solid-power-entwickeln-festkoerper-akkus/>

15.05.2021 - 10:40

QuantumScape prüft Zellproduktion in Salzgitter

Batterie Batterieproduktion Batteriezellen Feststoff-Akku Niedersachsen QuantumScape Salzgitter Volkswagen

Quelle: <https://www.electrive.net/2021/05/15/quantumscape-prueft-zellproduktion-in-salzgitter/>



Was versteckt sich hinter dem Begriff Festkörperbatterie?

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Wer entwickelt Festkörperbatterien?

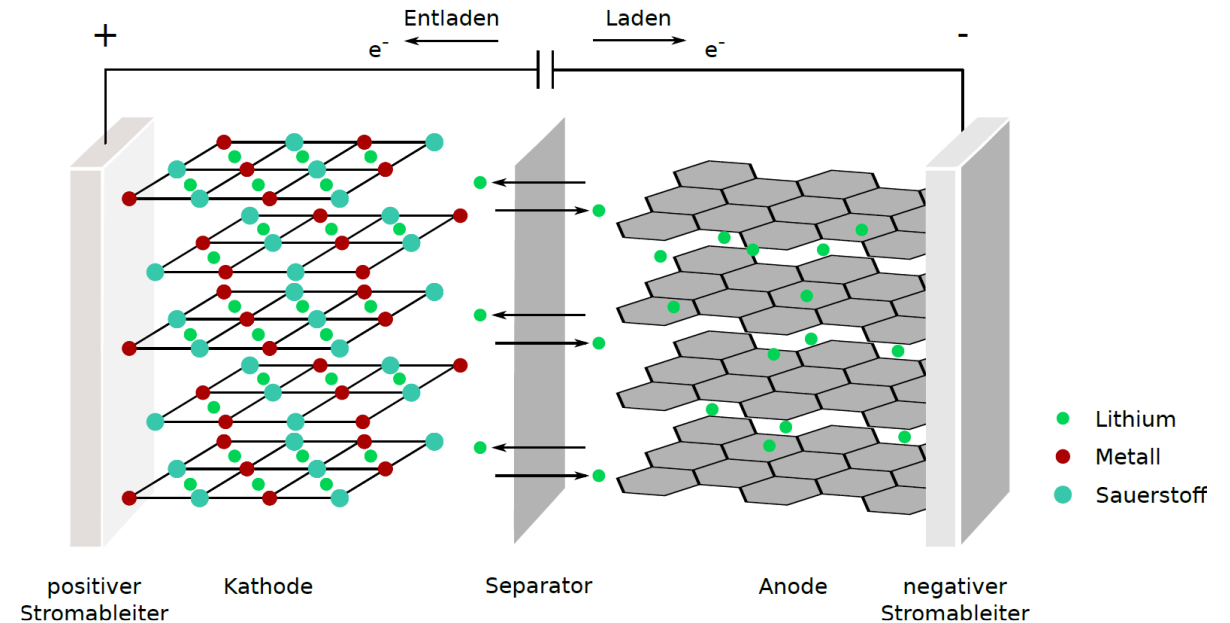
Kann ich Festkörperbatterien bereits kaufen?

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Was versteckt sich hinter dem Begriff Festkörperbatterie?

State-of-the-art Lithium-Ionen-Batterien

- Lithium-Ionen-Batterien basieren auf dem „Rocking Chair“-Prinzip wobei sich Lithium-Ionen (Li^+) zwischen der Anode (Graphit) und Kathode (Übergangsmetallverbindungen) hin und her bewegen.
- Die Lithium-Ionen dienen als Ladungsträger, werden selbst aber nicht reduziert oder oxidiert. Die Elektrochemischen Reaktionen laufen am Kohlenstoff bzw. an den Übergangsmetallen ab. (**Interkalation**)



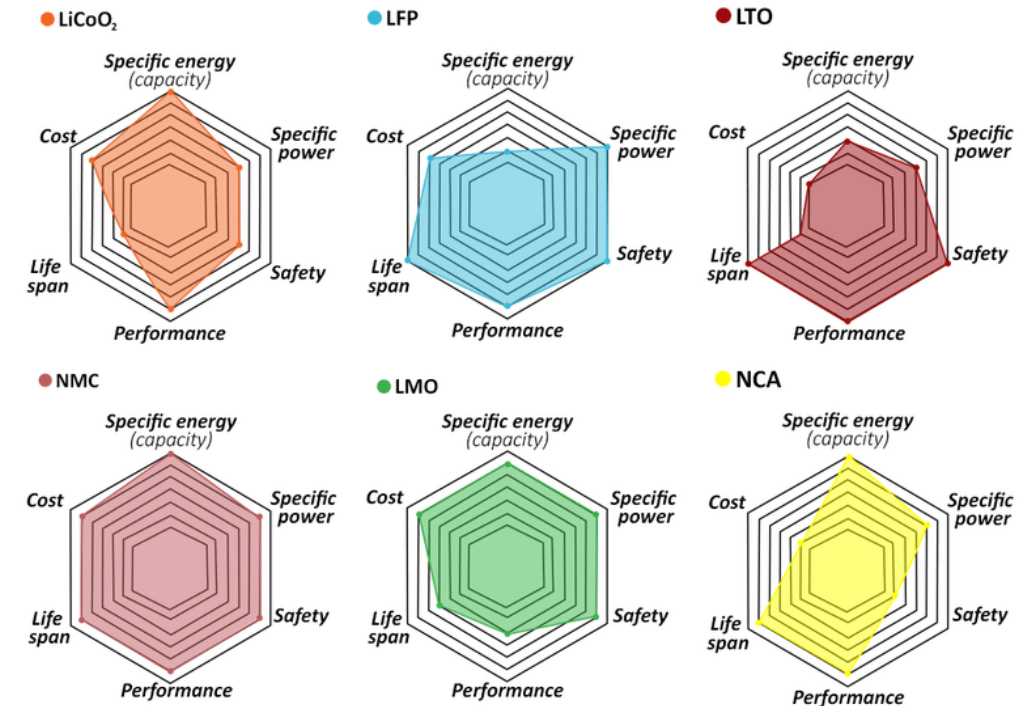
Die Variation der Materialien in der Kathode entscheidet maßgeblich über die Eigenschaften der finalen Batterie

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Was versteckt sich hinter dem Begriff Festkörperbatterie?

Lithium-Ionen-Batterien

Kathoden	Kapazität [mAh/g]	Nennspannung [V]	Lebensdauer (Zyklen)	Hersteller / Anwendung
Lithium-Cobalt-Oxid (LCO)	150	3,9	500-1000	LG Chem / Smart Fortwo
Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid (NCA)	175	3,9	500	Panasonic / Tesla Model S
Lithium-Eisenphosphat (LFP)	160	3.3	> 2000	CATL, BYD / BYD HAN EV



Quelle: Salgado, R.M.; Danzi, F.; Oliveira, J.E.; El-Azab, A.; Camanho, P.P.; Braga, M.H. The Latest Trends in Electric Vehicles Batteries. Molecules 2021, 26, 3188.

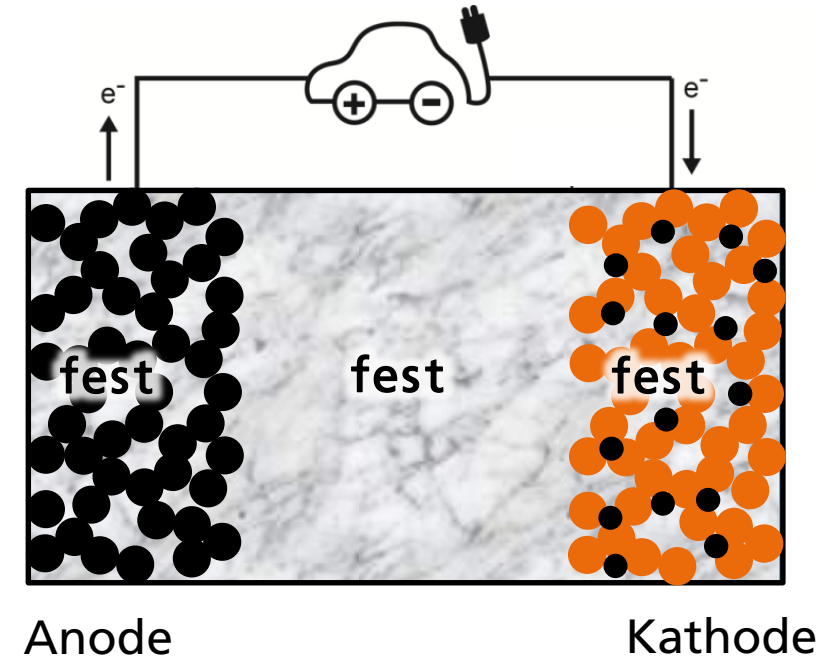
<https://doi.org/10.3390/molecules26113188>

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Was versteckt sich hinter dem Begriff Festkörperbatterie?

State-of-the-art Lithium-Ionen-Batterien

- Die Leitung der Lithium-Ionen von der Kathode zur Anode läuft über einen flüssigen Elektrolyten
- Der Elektrolyt kann nicht aus Wasser hergestellt werden, da dieses sich beim Betrieb der Zelle aufgrund der hohen Spannung zu Wasserstoff und Sauerstoff zersetzen würde (Elektrolyse)
- Funktionsfähig sind die Batterien durch den Einsatz von organischen Elektrolyten auf Basis von Carbonaten, die auch bei hohen Spannungen stabil bleiben

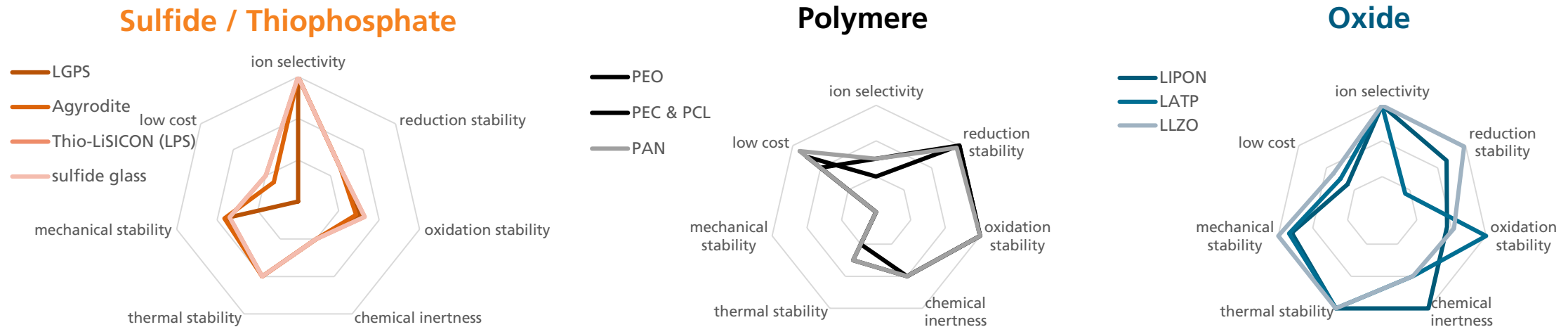


Festkörperbatterien sind Lithium-Ionen-Batterien, in denen der flüssigen Elektrolyten durch ein „festes“ ionenleitendes Material ersetzt wurden

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Was versteckt sich hinter dem Begriff Festkörperbatterie?

Materiaklassen „fester“ Ionenleiter



- Bei den **sulfidischen** und **oxidischen** Materialien handelt es sich um Keramiken oder Gläser die besonders **mechanisch und thermisch stabil** sind und **gute und spezifische Ionenleitfähigkeiten** aufweisen
- **Polymere** Festkörperelektrolyten sind dagegen weicher und thermisch weniger stabil dafür aber **sehr günstig** und lassen sich **gut verarbeiten**

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Zentrale Versprechen der Festkörperbatterie

1

Höhere Sicherheit

Brennbarkeit der Batteriezellen minimieren bzw. komplett unterbinden

2

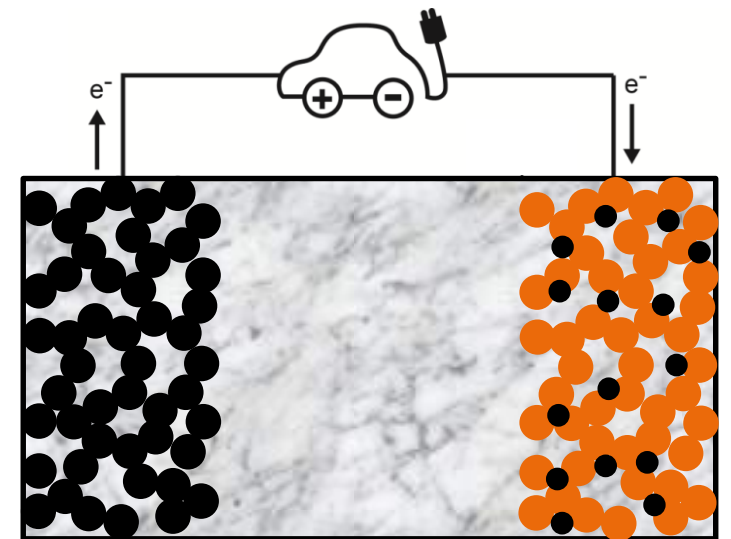
Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität

500 Wh/kg bzw. 1000 Wh/L

3

Höhere Leistungsdichten → Schnellladefähigkeit

Vollständiges Laden des Elektroautos in 15 Minuten oder weniger



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Sicherheit



Quelle: North American Heavy Rescue Symposium,
<https://www.youtube.com/watch?v=8n5Wf7TIGrU>



Quelle: <https://www.cnet.com/roadshow/news/tesla-puts-model-s-fire-into-perspective/>

Batterie-Brände

Das große Problem bei brennenden Lithium-Ionen Batterien ist, dass die Ursache dafür zumeist ein Schaden in den Batterie-Zellen (z.B. Kurzschluss) ist, der zu einer fortlaufenden und nicht durch Löschen zu unterbindenden Wärmeentwicklung führt → „**Thermal Runaway**“

Verbrennungsdreieck



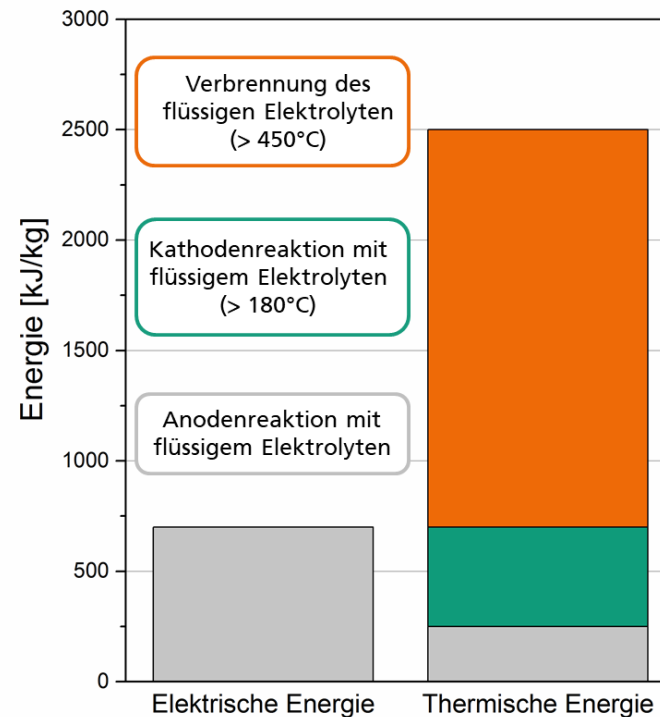
Umgebungsluft (Schaden) oder instabile Kathoden

Überladung, Schnelle Lade-/Entladung oder Kurzschluss

Elektrolyt bzw. Produkte aus Nebenreaktionen in der Batteriezelle

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Sicherheit



Energiegehalt

- Die in der Lithium-Ionen Batterie enthaltene thermische Energie ist über 3x so groß wie die gespeicherte Elektrische Energie
- ABER: Sie geht vollständig auf die Reaktionen des flüssigen Elektrolyten zurück → Brennstoff

Durch den Austausch des Elektrolyten mit einem festen, idealerweise keramischen Elektrolyten lässt sich die Sicherheit deutlich erhöhen

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Zentrale Versprechen der Festkörperbatterie

1

Höhere Sicherheit

→ Entfernung des Brennstoffes (flüssiger Elektrolyt)

2

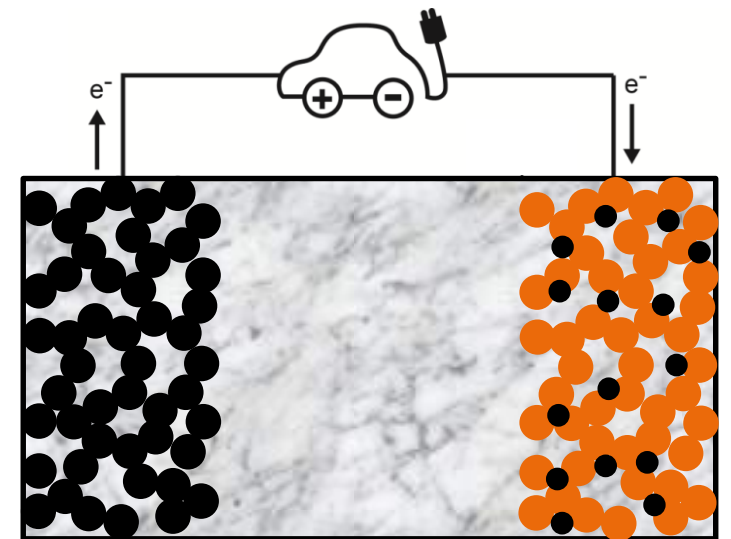
Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität

500 Wh/kg bzw. 1000 Wh/L

3

Höhere Leistungsdichten → Schnellladefähigkeit

Vollständiges Laden des Elektroautos in 15 Minuten oder weniger



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Höhere Energiedichten

- Durch den Austausch des flüssigen Elektrolyten durch einen Feststoff wird die Batterie zunächst schwerer bei gleicher gespeicherter Energiemenge

$$\rho_{\text{fl. Elektr.}} (\sim 1 \text{ g/cm}^3) \leq \rho_{\text{Polymer}} (\sim 1 \text{ g/cm}^3) < \rho_{\text{Sulfid}} (\sim 1,5 \text{ g/cm}^3) \ll \rho_{\text{Keramik}} (\sim 4 \text{ g/cm}^3)$$

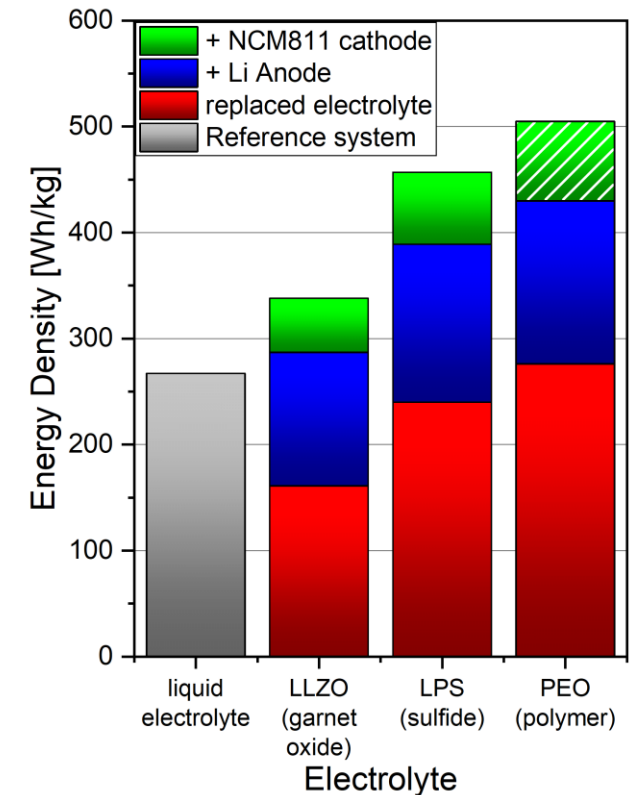
➤ Geringere **Wh/kg**, gleiche Wh/L

1. Austausch der Graphitanode durch eine Lithium Metall Anode

- $Q_{\text{Li}} = 3860 \text{ mAh/g} \ll Q_{\text{Graphit}} = 360 \text{ mAh/g} \rightarrow \text{Faktor 10!}$
- Fester Elektrolyt hat eine höhere chemische Stabilität gegenüber Li

2. Austausch der Kathodenmaterials zu Hochvoltkathoden

- Erhöhung der Zellspannung $> 4 \text{ V}$ und der spezifischen Kapazität
- Fester Elektrolyt hat eine höheres elektrochemisches Stabilitätsfenster



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Zentrale Versprechen der Festkörperbatterie

1

Höhere Sicherheit

→ Entfernung des Brennstoffes (flüssiger Elektrolyt)

2

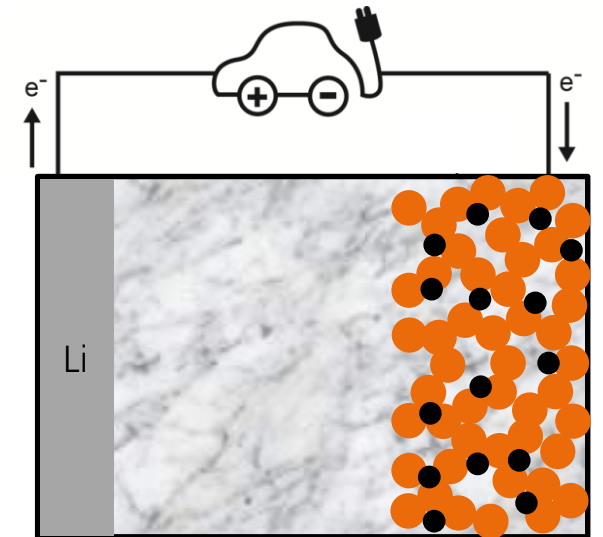
Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität

→ Verwendung von Lithium Metall und Hochvoltkathoden

3

Höhere Leistungsdichten → Schnellladefähigkeit

Vollständiges Laden des Elektroautos in 15 Minuten oder weniger

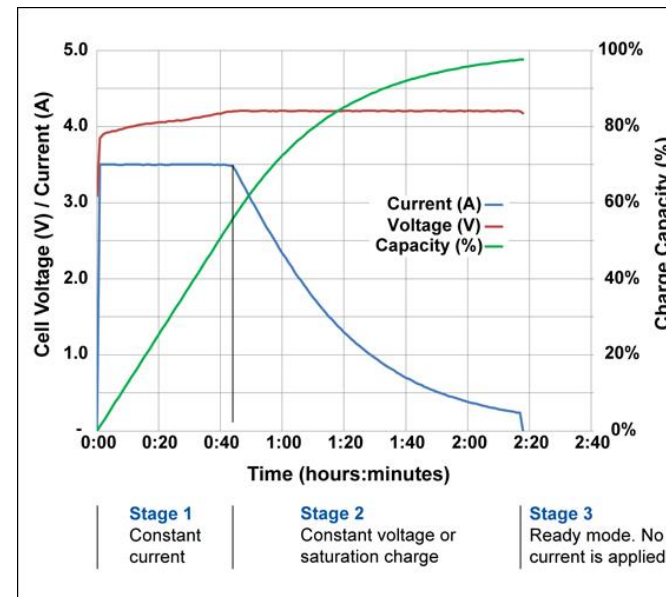


Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

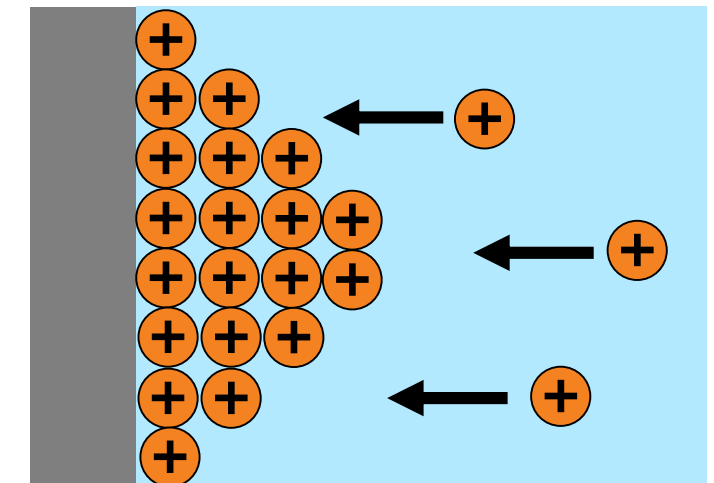
Höhere Leistungsdichten

- Beim Laden der Lithium-Ionen Batterie mit flüssigem Elektrolyten treten Konzentrationsgradienten auf die zu Überpotentialen in der Zelle führen
- Die Lithium-Ionen sammeln sich an der Anode an und blockieren die Interkalation
- Die CV (constant voltage) Ladung ist deshalb notwendig um die gesamte Kapazität des Graphits auszunutzen, benötigt aber deutlich mehr Zeit als die CC (constant current) Ladung



Quelle: <https://batteryuniversity.com/article/how-to-charge-li-ion-with-a-parasitic-load>

Ausbildung eines Konzentrationsgradienten



Anode

Flüssiger Elektrolyt

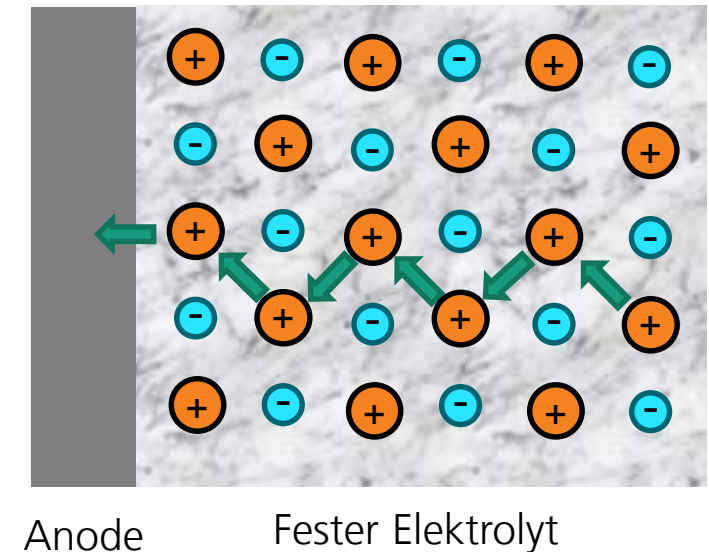
Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Höhere Leistungsdichten

- Bei Festkörperbatterien handelt es sich (zumeist) um Ein-Ionenleiter
 - In Festelektrolyten kann sich immer nur eine Art von Ionen bewegen, in diesem Fall nur die Lithium-Ionen
 - In flüssigen Elektrolyten bewegen sich sowohl die Kationen (positiv geladene Teilchen) und Anionen (negativ geladene Teilchen)
- Die Ionen „springen“ zwischen den Gitterplätzen, so dass ein Ion von der Kathode im Elektrolyten aufgenommen wird und dafür eines auf der Anodenseite herausfällt
- Es bildet sich kein Konzentrationsgradient aus, da sich keine Ionen an der Elektrodenoberfläche ansammeln können
 - Keine Polarisation im Elektrolyten!

Keine Ausbildung eines Konzentrationsgradienten



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

Zentrale Versprechen der Festkörperbatterie

1

Höhere Sicherheit

→ Entfernung des Brennstoffes (flüssiger Elektrolyt)

2

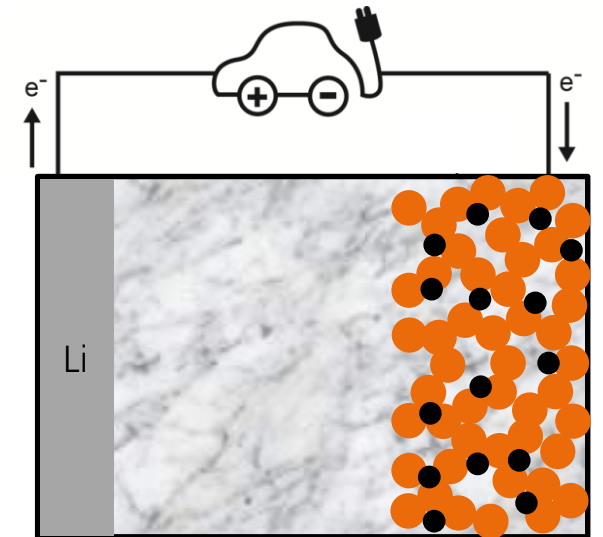
Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität

→ Verwendung von Lithium Metall und Hochvoltkathoden

3

Höhere Leistungsdichten → Schnellladefähigkeit

→ Ein-Ionen Leiter verhindern die Polarisierung im Elektrolyten



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

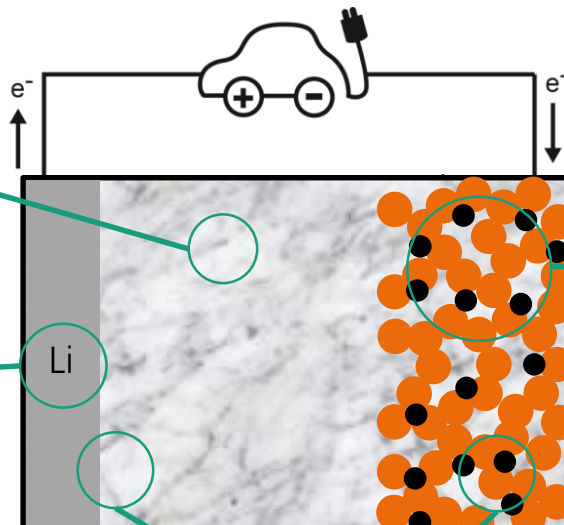
Zentrale Herausforderungen der Festkörperbatterie

Elektrolyt

- Aufskalierung der Synthese
- Prozessierung

Anode

- Herstellung



Kompositkathode

- Herstellung
 - Homogenität
 - Porenfrei, 100% dicht

Vielversprechende Ansätze sind entwickelt und werden derzeit auf skaliert!

Grenzflächen

- Mechanische Stabilität

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Wer entwickelt Festkörperbatterien?

Stand der Entwicklung

- Neben den schon erwähnten vorrangig asiatischen Unternehmen, die sich im Bereich der Festkörperbatterie positionieren, gibt es vor allem im Bezug auf die Automobilisten unterschiedliche Wege verfolgt
- Die **Volkswagen AG** investiert in das US-amerikanische Start-Up **QuantumScape** (<https://www.quantumscape.com>)
 - Die QuantumScape Corporation ist eine Ausgründung der Stanford Universität und hält mehr als 60 Patente im Bereich der Festkörperbatterien
 - Die Technologie setzt auf keramische Elektrolyte, die chemisch und mechanisch besonders stabil sind
 - Volkswagen hat bereits über 100 Mio. \$ in das Unternehmen investiert, das seit 2020 an der Börse notiert ist



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Wer entwickelt Festkörperbatterien?

Stand der Entwicklung

- Neben den schon erwähnten vorrangig asiatischen Unternehmen, die sich im Bereich der Festkörperbatterie positionieren, gibt es vor allem im Bezug auf die Automobilisten unterschiedliche Wege verfolgt
- Die **BMW Group** und die Ford Motor Company investieren in das Start-Up **Solid Power** (<https://www.solidpowerbattery.com/>)
 - Die Solid Power Inc. ist eine Ausgründung der Universität von Colorado und existiert bereits seit 2012
 - Das Unternehmen setzt auf Sulfide als Festkörperelektrolyten und produziert diese auch selber
 - In der letzten Investitionsrunde 2021 haben sich Ford und BMW an einer 130 Mio. \$ Summe beteiligt



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Wer entwickelt Festkörperbatterien?

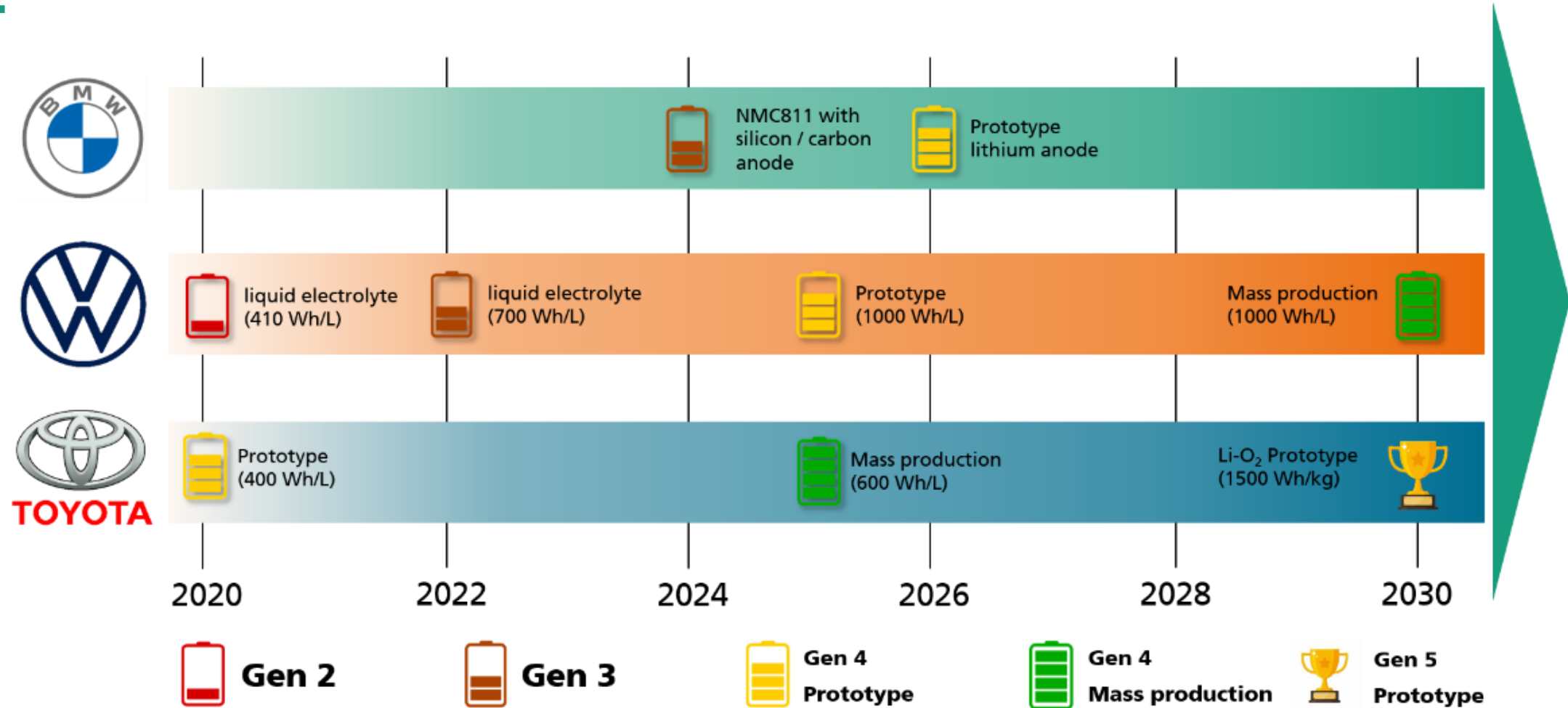
Stand der Entwicklung

- Neben den schon erwähnten vorrangig asiatischen Unternehmen, die sich im Bereich der Festkörperbatterie positionieren, gibt es vor allem im Bezug auf die Automobilisten unterschiedliche Wege verfolgt
- **Toyota** ist der einzige Automobilhersteller, der direkt selber in die Batterieforschung investiert
 - Toyota unterhält eine eigene Forschungsabteilung für Festkörperbatterien und hält über 250 Patente in dem Gebiet
 - Wie Solid Power setzt auch Toyota auf Systeme mit sulfidischem Elektrolyten
 - Zu den Olympischen Spielen in Tokyo 2021 sollte das erste Auto mit einer Festkörperbatterie gezeigt werden
 - 11 Sekunden Video zur Testfahrt auf Youtube (<https://youtu.be/cfSSHYOrQNI>)



Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Wer entwickelt Festkörperbatterien?

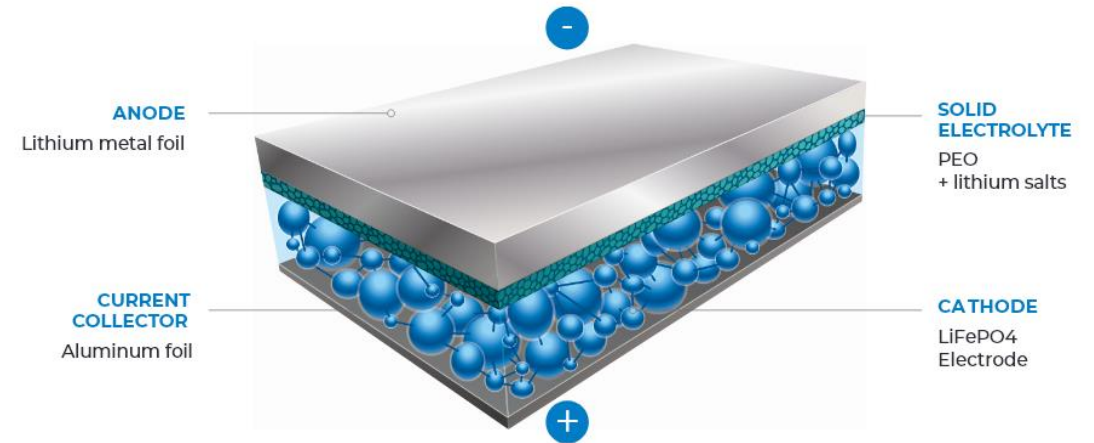


Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Kann ich Festkörperbatterien bereits kaufen?

Was bereits existiert

- Die Entwicklung der Lithium-Ionen Festkörperbatterie ist derzeit in vollem Gange
- Eine bereits länger existierende Variante ist die sogenannte „LMP battery“ entwickelt von **Hydro-Quebec** und vertrieben von der **Bolloré Group**
 - Herz ist eine polymere Festkörperbatterie, die allerdings bei 80 °C betrieben werden muss
 - Sie ist derzeit die einzige Dickschicht-Festkörperbatterie und wurde und wird bereits in Autos eingebaut
 - Ebenso hat Mercedes-Benz angekündigt eine Variante ihres eCitaro G Buses mit der LMP Batterie auszustatten



LMP Battery, Quelle: <https://www.blue-solutions.com/en/battery-technology/>



Bolloré Bluecar, Quelle: Wikipedia.org,

Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Zusammenfassung – Take Home Message

Festkörperbatterien sind Lithium-Ionen-Batterien, in denen der flüssigen Elektrolyten durch ein „festen“ ersetzt werden

Festkörperbatterien versprechen höhere Energie- und Leistungsdichten sowie eine erhöhte Sicherheit

Alle Automobilisten beteiligen sich derzeit an der Entwicklung hauptsächlich durch Investitionen in Start-ups

Die derzeit bereits verfügbare Festkörperbatterie ist die LMP Batterie die bereits in Kleinwagen und Bussen eingesetzt wird



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Kontakt

Dr. Ingo Bardenhagen
Elektrische Energiespeicher
Gruppe Festkörperionik und Grenzflächen
Tel. +49 4221 2246 7342
Fax +49 4221 2246 300
Ingo.bardenhagen@fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
Wiener Straße 12
28359 Bremen
www.ifam.fraunhofer.de

