

# Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

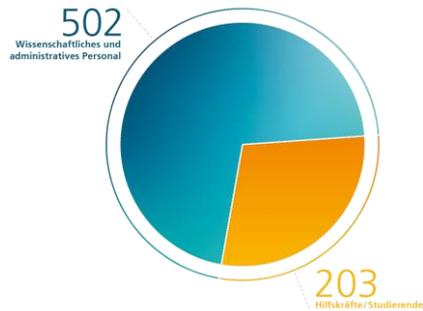
---

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 Mo 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 Solid Power Feststoff-Akku Europa Spanien Korea 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-batteriefabrik-in-europa-oder-usa/>

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

06.12.2017 - 15:11

## BMW und Solid Power entwickeln Festkörperbatterie

Batterie BMW Feststoff-Akku Solid Power

Quelle: <https://www.electrive.net/2017/12/06/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?

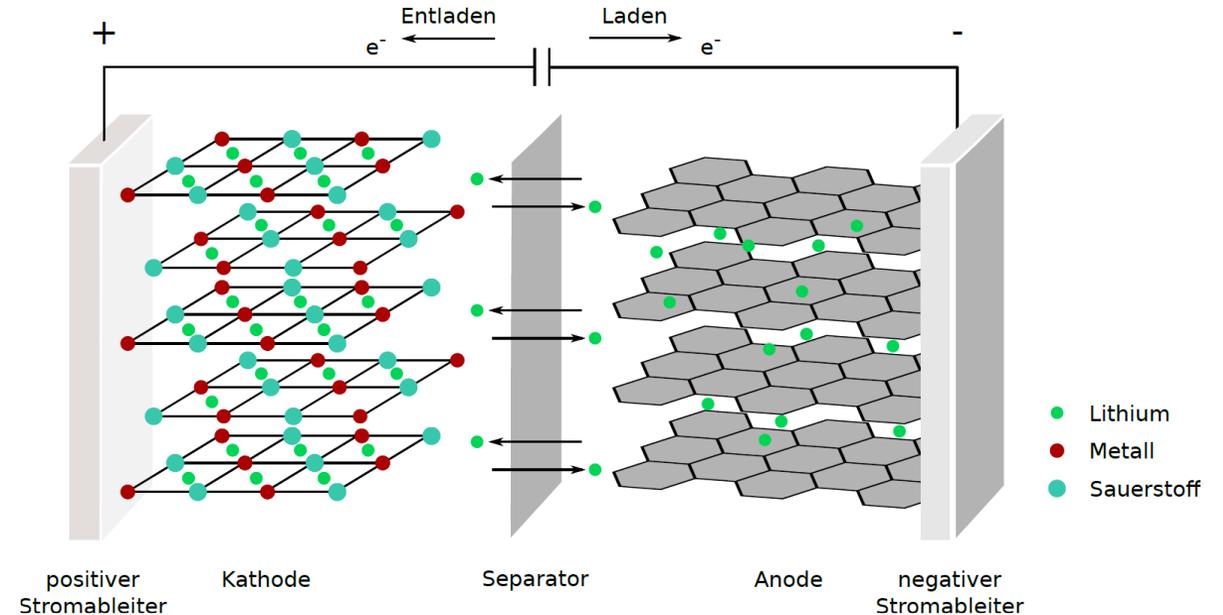


# Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

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 ( $\text{Li}^+$ ) 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**)



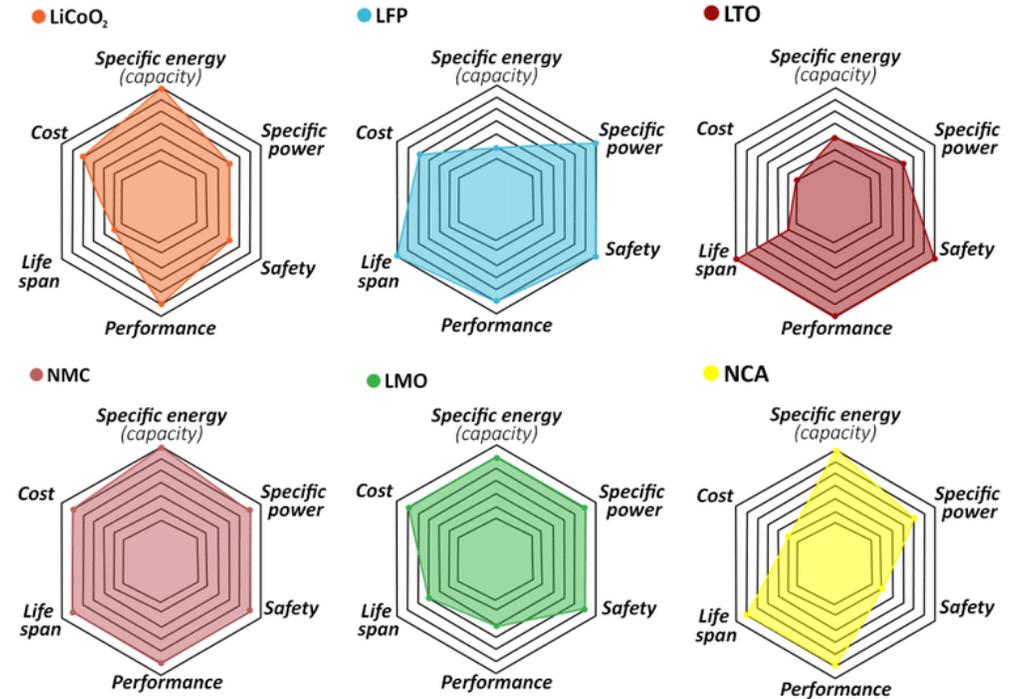
Die Variation der Materialien in der Kathode entscheidet maßgeblich über die Eigenschaften der finalen Batterie

# 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



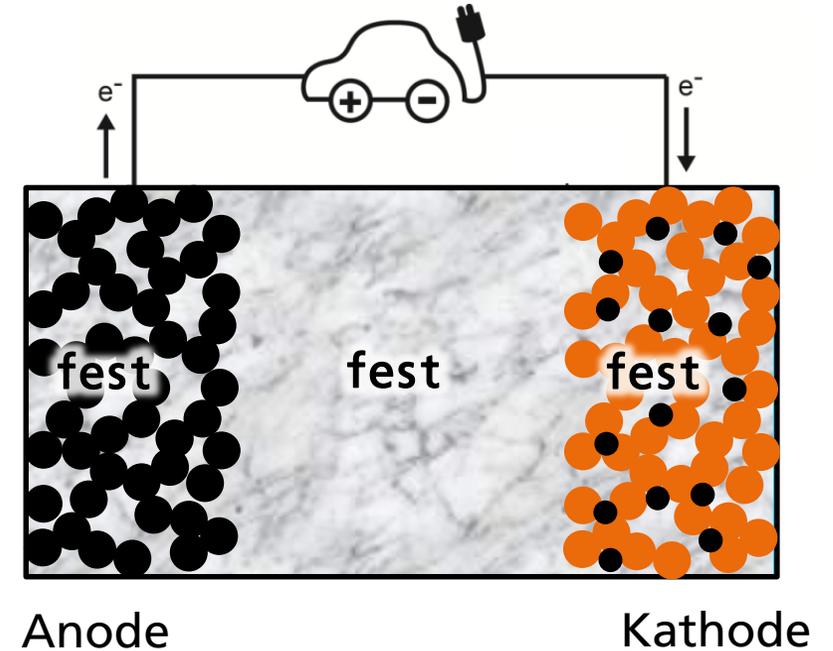
Quelle: Salgado, R.M.; Danzi, F.; Oliveira, J.E.; El-Azab, A.; Camanho, P.P.; Braga, M.H. The Latest Trends in Electric Vehicles Batteries. Molecules 2021, 26, 3188. <https://doi.org/10.3390/molecules26113188>

# 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

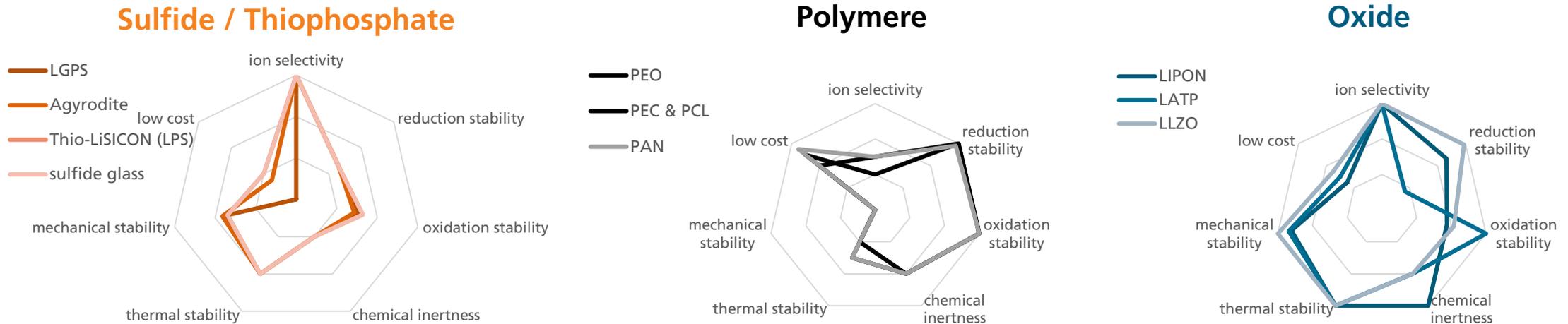


**Festkörperbatterien sind Lithium-Ionen-Batterien, in denen der flüssigen Elektrolyten durch ein „festes“ ionenleitendes Material ersetzt wurden**

# 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

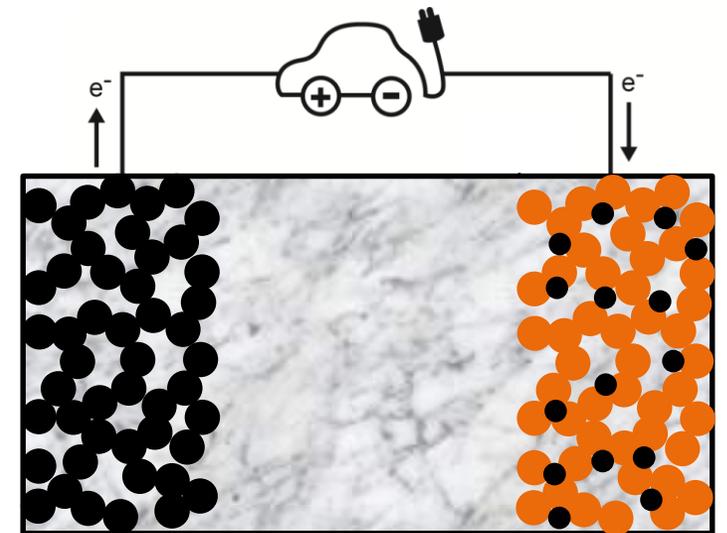
### Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität

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



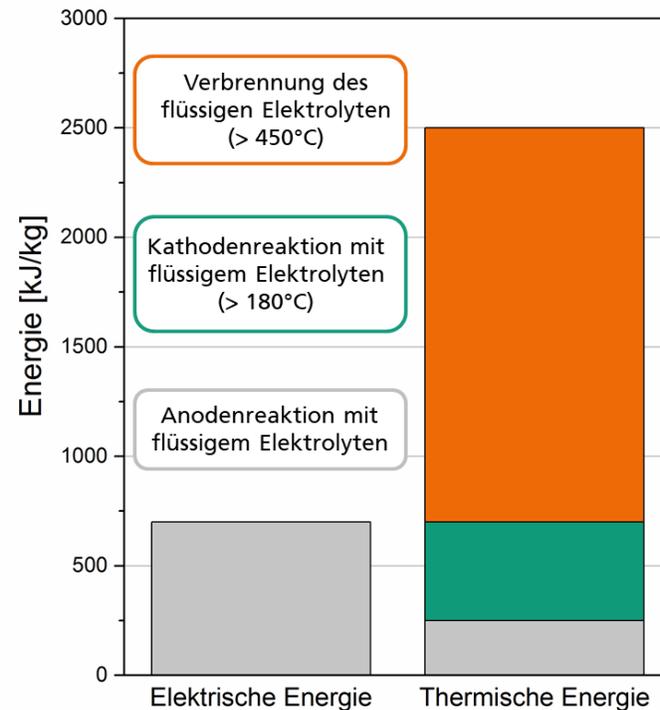
Umgebungsluft (Schaden) oder instabile Kathoden

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

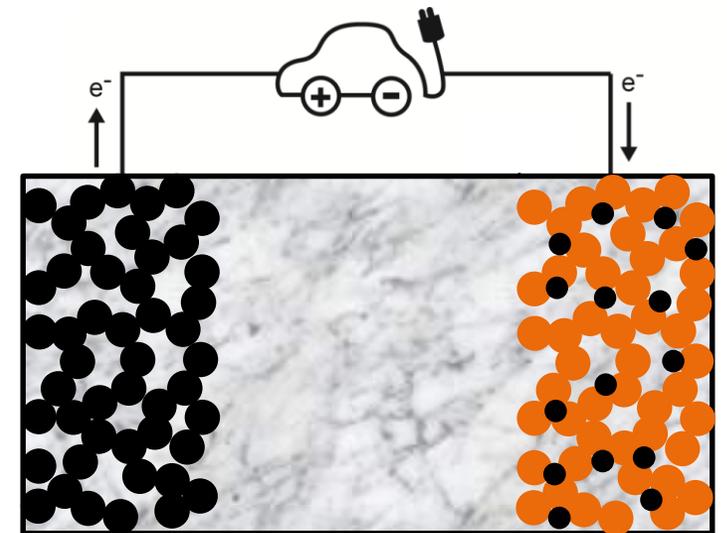
Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität

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

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

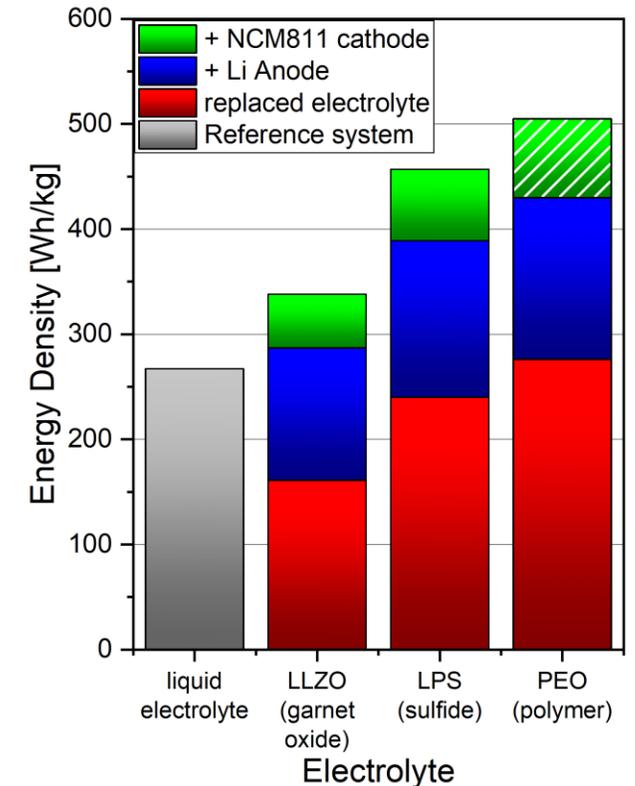
➤ Geringere **Wh/kg**, gleiche Wh/L

### 1. Austausch der Graphitanode durch eine Lithium Metall Anode

- $Q_{\text{Li}} = 3860 \text{ mAh/g} \ll Q_{\text{Graphit}} = 360 \text{ mAh/g} \rightarrow$  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

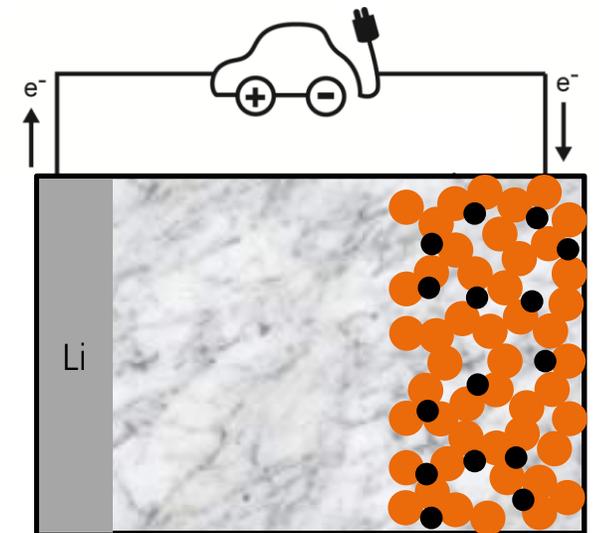
**Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität**

→ Verwendung von Lithium Metall und Hochvoltkathoden

3

**Höhere Leistungsdichten → Schnellladefähigkeit**

Vollständiges Laden des Elektroautos in 15 Minuten oder weniger

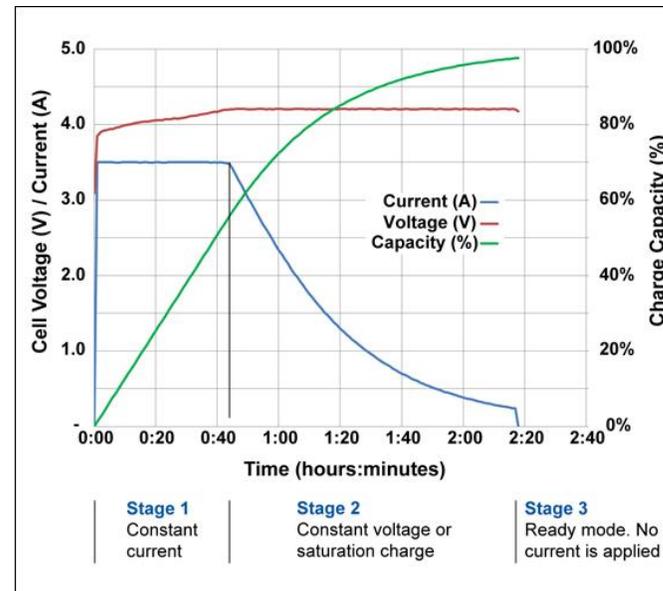


# Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

Welche Vorteile versprechen Festkörperbatterien?

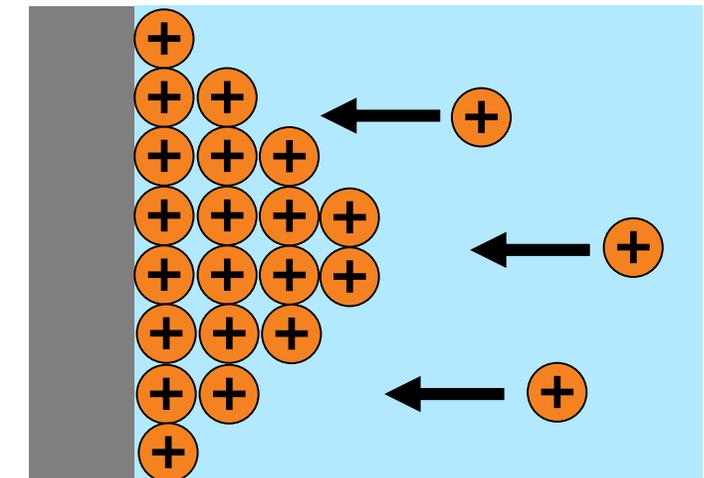
## Höhere Leistungsdichten

- 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

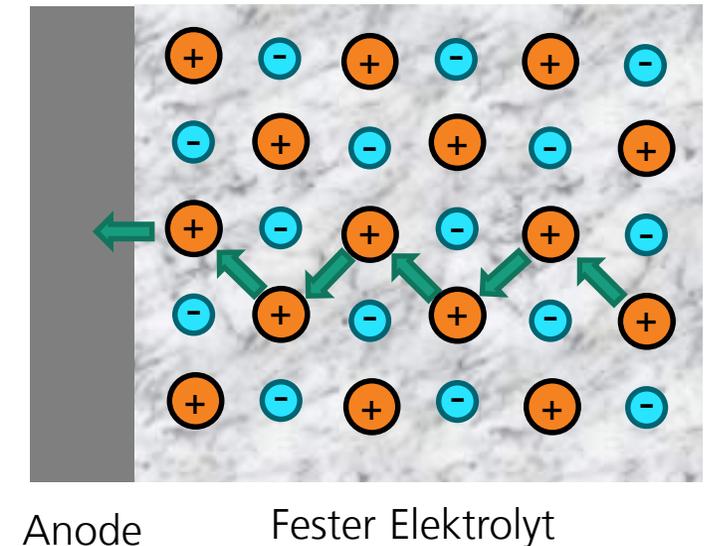
# Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

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

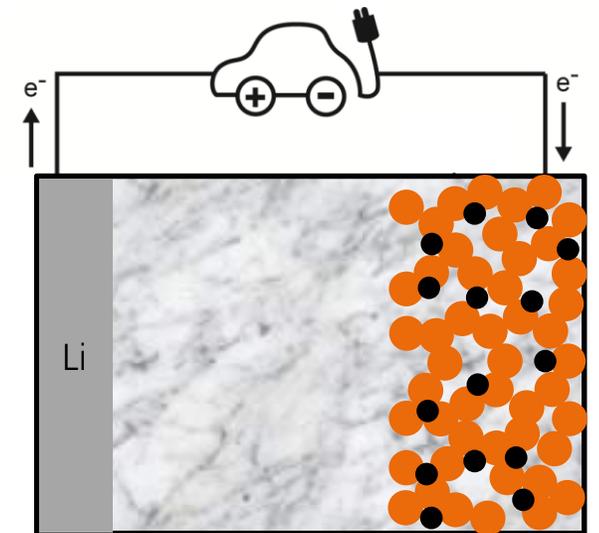
**Höhere Energiedichte → Höhere Reichweite für Elektromobilität**

→ 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?

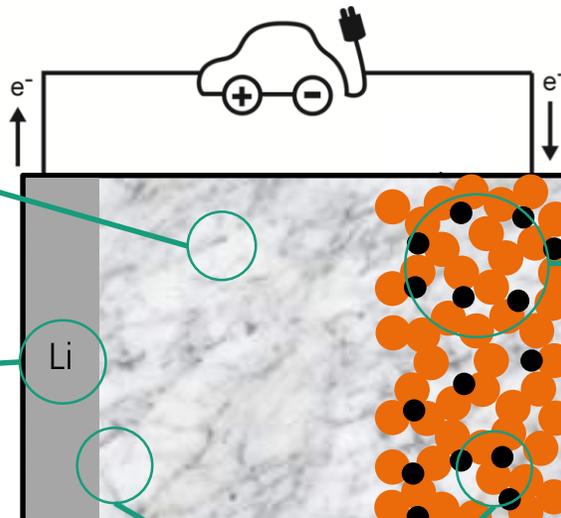
## Zentrale Herausforderungen der Festkörperbatterie

### 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 Festkörperionenleiter 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?

---

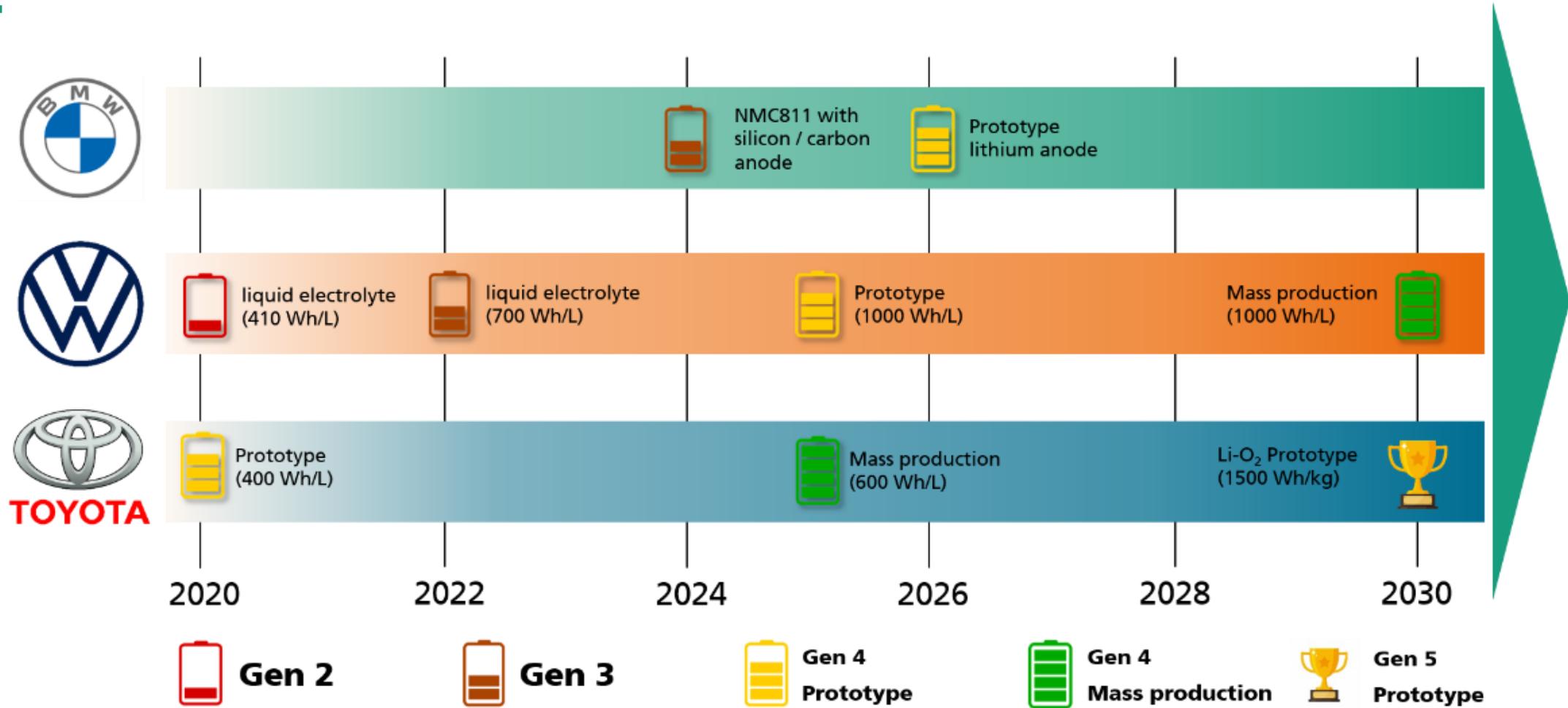
## Stand der Entwicklung

- 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?

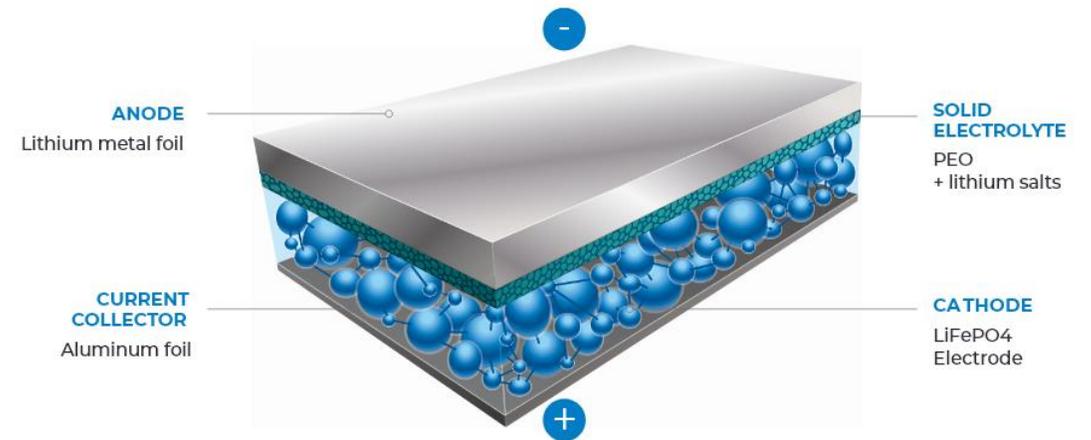


# Festkörperbatterien – Neue Zellchemie für die Elektromobilität

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 **Bollere 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/>



Bollere 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](mailto:Ingo.bardenhagen@fraunhofer.de)

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

