

# BATTERIEN, REDUZIERT AUF DAS WESENTLICHE

Eine gute Batterie hat eine hohe Energiedichte und kurze Ladezeiten, ist sicher im Betrieb und hält extremen Temperaturen stand. Festkörperbatterien sind eine neue Generation von Lithium-Ionen-Batterien, die ohne flüssige Komponenten auskommen und viele dieser Eigenschaften in sich vereinen. Ein internationales Forschungskonsortium mit Beteiligung der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa arbeitet an der Entwicklung anoden-freier Festkörperbatterien in Kombination mit Dünnschichttechnologie. Mögliche Anwendungsfelder sind der industrielle Internet-of-Things-Sektor, mit zusätzlichen potenziellen Anwendungen in mobilen Bereichen wie Drohnen, Robotik, Luft- und Raumfahrt.



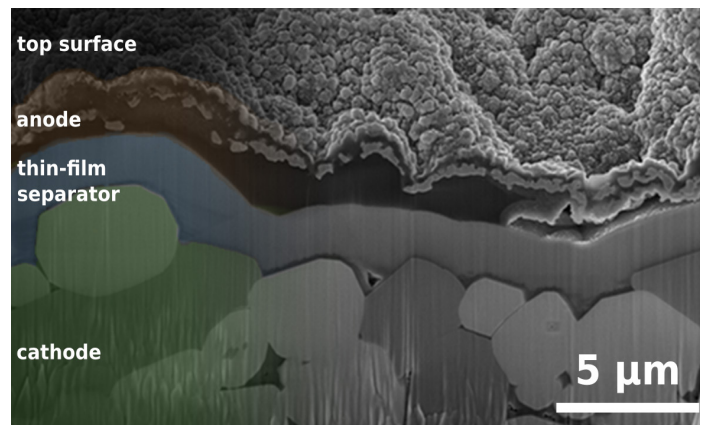
Funktionsmuster der Hybridbatterie. Foto: Empa

Die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) und die Forschungsanstalten des ETH-Bereichs bringen regelmässig Start-up-Unternehmen hervor, die eine innovative Idee zur Marktreife entwickeln wollen. Eines davon ist BTRY (sprich: battery). Die Firma wurde im April 2023 von Abdessalem Aribia, Moritz Futscher und Yaroslav Romanyuk gegründet. Alle drei Wissenschaftler arbeiteten damals zusammen an der Empa, die zum ETH-Bereich gehört. Ziel von BTRY ist der Bau einer kleinen, aber sehr schnell – nämlich in nur einer Minute – aufladbaren Batterie für die Anwendung beispielsweise in Sensoren, Medizintechnik-Produkten oder Uhren.

Möglich wird diese schnell aufladbare Zelle dank Vakuumbeschichtungstechnologie, einem Herstellungsverfahren, bei dem die Empa über besonderes Knowhow verfügt. Mit Vakuumbeschichtung lassen sich sehr dünne Materialschichten auftragen, die nur einen Hundertstelmillimeter oder weniger dick sind. Die Technologie stammt unter anderem aus der Herstellung von Solarzellen und soll nun zur Produktion von sicheren, umweltfreundlichen und langlebigen Dünnschichtbatterien eingesetzt werden. Im Jahr 2026 wollen die «Akku-Revolutionäre», wie die BTRY-Gründer in einer Empa-Publikation genannt werden, mit der Pilotproduktion starten.

### Empa erforscht Festkörperbatterien

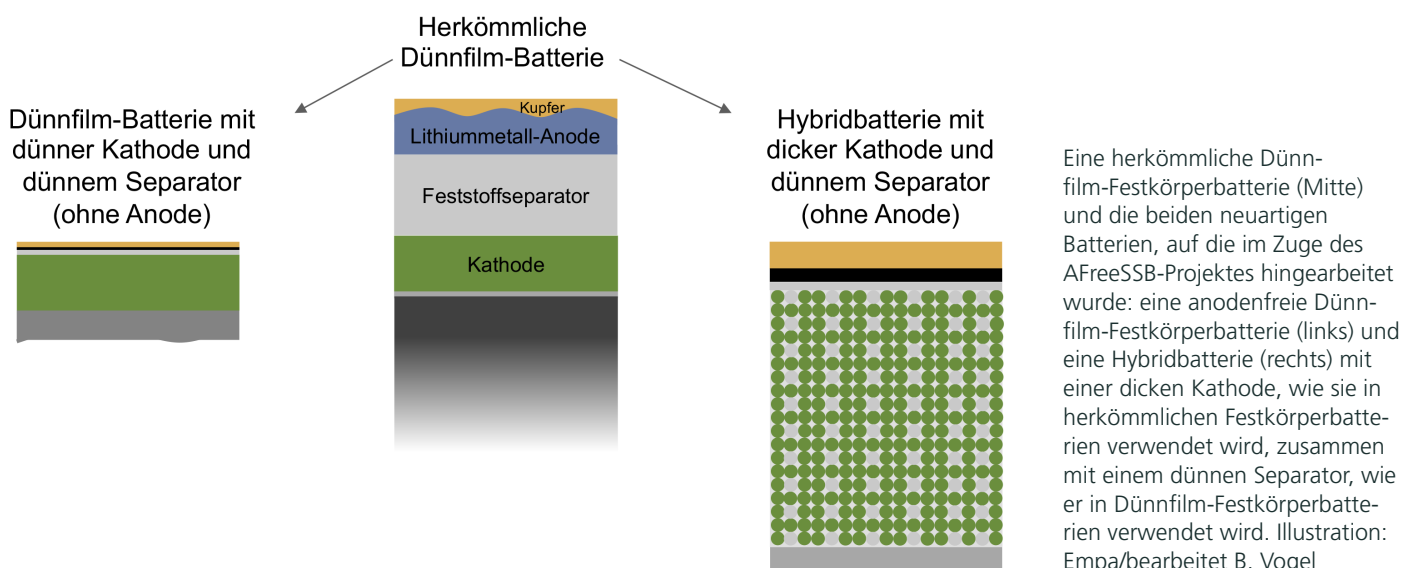
Die BTRY-Batterie ist eine Festkörperbatterie (auch als Feststoffbatterie bezeichnet). Sie funktioniert wie die Lithium-Ionen-Batterien, die gewöhnlich in Mobiltelefonen und Elektroautos eingesetzt werden, enthält aber keine Flüssigkeit, sondern besteht allein aus Feststoffen. Festkörperbatterien sind sicherer, denn der flüssige Elektrolyt in herkömmlichen

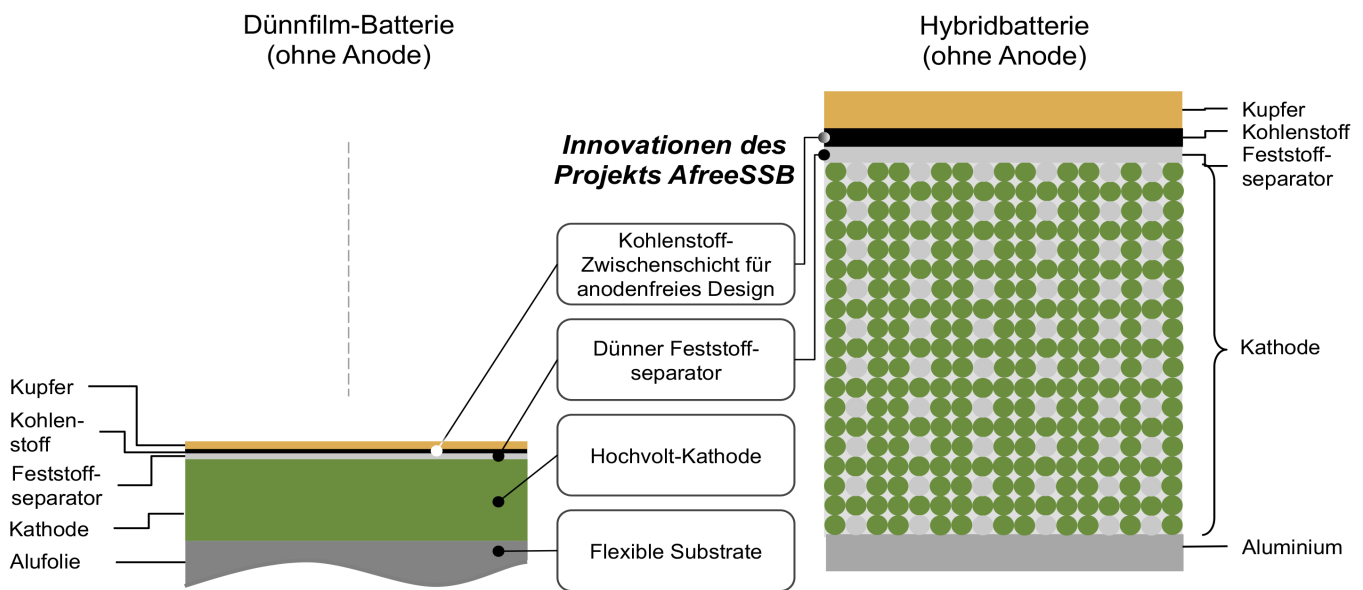


Rasterelektronenmikroskop-Querschnitt einer Hybridbatterie. Die Kathode des Forschungszentrums Jülich wurde mit einem Dünnschicht-Separator und einer Anode bei der Empa beschichtet, um die Zelle zu vervollständigen. Foto: Empa

Lithium-Ionen-Batterien ist für deren Brennbarkeit verantwortlich. Ferner reagieren Batterien mit nicht-flüssigen Elektrolyten weniger empfindlich auf tiefe Temperaturen. Diese Vorteile erklären, warum Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler heute intensiv an Feststoffbatterien mit Lithium-Ionen-Chemie arbeiten.

In der Schweiz widmet sich die Empa seit Jahren der Erforschung von Festkörperbatterien. Das Empa-Spin-off BTRY ist mit seinen Dünnschicht-Festkörperbatterien eine Frucht dieser Forschungsaktivitäten am Empa-Labor für Dünnschichten und Photovoltaik. 2022 startete das Labor mit Partnern aus Deutschland und Spanien das zweijährige Forschungsprojekt Anode-free all-solid-state batteries: From thin film to bulk (AFreeSSB), das vom BFE mitfinanziert wird.





Die Innovationen innerhalb des AFreeSSB-Projektes zielen sowohl auf die Verbesserung von Dünnschichtbatterien (links) als auch der Hybridbatterie (rechts). Illustration: Empa

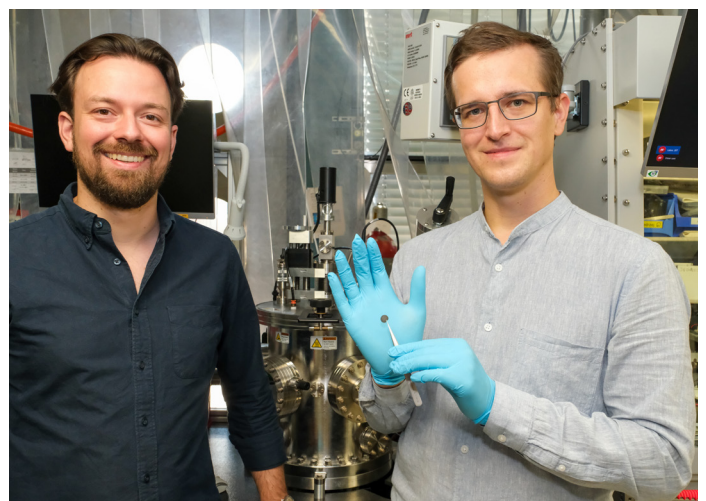
### Hybridbatterie aus dicken und dünnen Schichten

Festkörperbatterien können vollständig aus dünnen Materialsichten bestehen, so wie im Fall von BTRY. Solche Batterien sind leicht und kompakt, aber in der Speicherkapazität zum Beispiel für Elektroautos bauen, muss man mit dicken Materialsichten arbeiten, die viel Energie pro Fläche aufnehmen können. Im Projekt AFreeSSB wird deshalb das Konzept einer Hybridbatterie erforscht, das die Vorteile beider Batterietypen miteinander kombiniert. Die Hybridbatterie besteht aus einer dicken Kathode, wie sie in einer herkömmlichen Festkörperbatterie verbaut ist, und einem neuartigen, dünnen Separator als Abstandshalter zwischen beiden Elektroden.

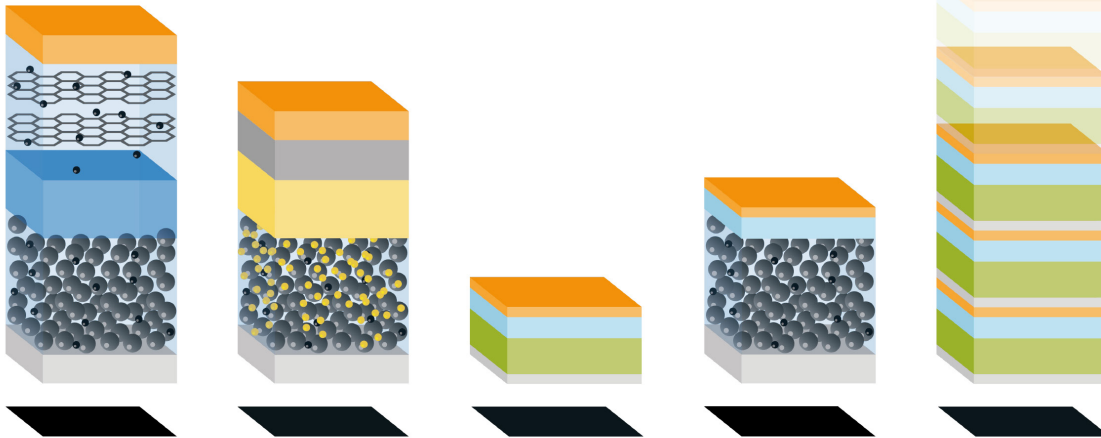
Bei der Herstellung der Hybridbatterie wird die Kathode mit einem Material beschichtet, das als Separator dient. Das mag einfach klingen, ist aber eine technische Herausforderung: Damit die Kathode beschichtet werden kann, muss sie eine sehr flache Oberfläche haben. Die Empa-Forschenden greifen auf eine Kathode aus dem deutschen Forschungszentrum Jülich zurück, das auf die Herstellung von Kathoden für Festkörperbatterien spezialisiert ist. Auf die Kathode wird eine nur wenige Tausendstelmillimeter dicke Schicht aus Lithiumphosphoroxynitrid (LiPON) aufgetragen, die als Feststoff-Separator dient. Diese Schicht ist mindestens zehnmals dünner als bei einer herkömmlichen Festkörperbatterie. Damit diese gleichmässig ist und keine Löcher hat, wird das sogenannte

Magnetron-Sputter-Verfahren verwendet. Die Beschichtung erfolgt im Vakuum unter Einbezug von Magnetfeldern.

«Wir konnten an einem Funktionsmuster unserer Hybridzelle eine stabile offene Klemmspannung erzeugen und auch Lithium-Ionen von der Kathode in Richtung Anode bewegen, wie es für den Ladevorgang einer Lithium-Ionen-Batterie typisch ist», fasst Empa-Wissenschaftler Moritz Futscher ein Hauptergebnis des AFreeSSB-Projekts zusammen. «Auch wenn unsere Beschichtung grundsätzlich funktioniert, ist weitere Forschung nötig, um einen kompletten Lade-Entla-



Moritz Futscher (l.) und Jędrzej Morzy erforschen im Empa-Labor neuartige Batterien. Foto: Empa



Die im Projekt entwickelte Hybrid-Batterie (4. von links) verbindet die Kathode einer Festkörperbatterie mit Komponenten (Separator, Anode) einer Dünnschichtbatterie. Ganz rechts eine gestapelte Dünnschichtbatterie, wie sie von BTRY entwickelt wird. Illustration: BTRY

de-Zyklus hinzubekommen. Wir hoffen, bis zum Abschluss des Projektes einen funktionierenden Prototypen vorweisen zu können.»

### Dünnschichtbatterie ohne dauerhafte Anode

Ein anderes Teilprojekt von AFreeSSB widmet sich der Erforschung von Festkörperbatterien, die wie die BTRY-Batterien einzig aus dünnen Schichten bestehen. Das Forschungsziel besteht darin, die Dünnschicht-Festkörperbatterie ohne Anode zu bauen. Gemeint ist damit eine Batterie, die im entladenen Zustand über keine Anode verfügt und damit kostengünstiger und mit weniger Ressourcen hergestellt werden kann. Erst beim Laden der Batterie bildet sich die Anode als eine Ansammlung von Ladungsträgern aus Lithiummetall. Wird die Batterie entladen, löst sich die Anode wieder auf.

Um eine anoden-freie Batterie zu bauen, wird zwischen dem Separator und dem Stromkollektor eine sogenannte Keimschicht eingefügt, an der sich die Ladungsträger aus Lithiummetall im Zuge des Ladungsvorgangs ansammeln. Die Empa-Forschenden untersuchten verschiedene Keimschichten, die das Anwachsen der Anode im Zuge des Ladens möglichst gut unterstützen. Sie fanden heraus, dass Gold, Platin und amorpher Kohlenstoff als Keimschichten die Lithium-Abscheidung verbessern. Besonders die amorphe Kohlenstoffschicht erleichterte das Wachsen einer Lithiummetall-Anode und erwies sich als mögliche kostengünstige Alternative zu Edelmetallen.

### Messgerät für Batterien

Am AFreeSSB-Forschungsprojekt war die Fluxim AG (Winterthur) beteiligt. Sie nutzte die Projektzusammenarbeit mit erfahrenen Batterieforschern zur Entwicklung eines Batterietestgeräts für Forschungseinrichtungen, die neue Batterien

## DREI LÄNDER VEREINT

Das internationale Forschungsprojekt AFreeSSB läuft unter dem Dach von M.ERA-NET, einem Netzwerk von 49 öffentlichen Förderorganisationen aus 39 EU- und Nicht-EU-Staaten, an dem auch die Schweiz beteiligt ist. Inhaltlich fokussiert sich M.ERA-NET auf die Erforschung von Materialien und Batterietechnologien, die die Nachhaltigkeitspolitik der EU (European Green Deal) unterstützen.

Das Forschungskonsortium AFreeSSB (kurz für: Anode-free all-solid-state batteries; dt.: Anoden-freie Festkörperbatterien) umfasst Partner aus drei Staaten. Aus der Schweiz sind das die Empa und die Firma Fluxim AG (Winterthur), aus Deutschland das Forschungszentrum Jülich GmbH und die Firma AIXTRON SE, eine Herstellerin von Beschichtungsgeräten für die Halbleiterindustrie. Aus Spanien beteiligen sich das Katalanische Institut für Energieforschung (IREC) und die Mikroelektronik-Firma AEInnova. Die Forschungspartner werden jeweils durch nationale Fördereinrichtungen finanziert. Im Fall der Schweiz ist dies das Bundesamt für Energie.

entwickeln. Das neuartige, kompakte Messgerät kombiniert etablierte Messmethoden wie Lade- und Entladezyklen mit zusätzlichen Methoden zur Charakterisierung der Materialparameter wie z.B. Impedanzspektroskopie. Im Zuge des Projekts entstand ein Prototyp des Messsystems, das mit 8 Kanälen Ströme mit einer Stärke von 100 mA bis 1  $\mu$ A misst und in einem Temperaturbereich von 5 bis 80 °C arbeitet. «Dank den Erkenntnissen aus dem AFreeSSB-Projekt kann Fluxim Messroutinen und Analysen in das Messsystem einbauen, um so die langfristige Entwicklung von neuen Zelltypen zu beschleunigen», sagt Beat Ruhstaller, Gründer und CEO der Fluxim AG.

- Weitere **Informationen** zum Forschungsprojekt «Anode-free all-solid-state batteries: From thin film to bulk» (AFreeSSB):  
[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=51129](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=51129)
- **Auskünfte** erteilt Stefan Oberholzer, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Batterien:  
[stefan.oberholzer@bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Batterien finden Sie unter [www.bfe.admin.ch/ec-batterien](http://www.bfe.admin.ch/ec-batterien).

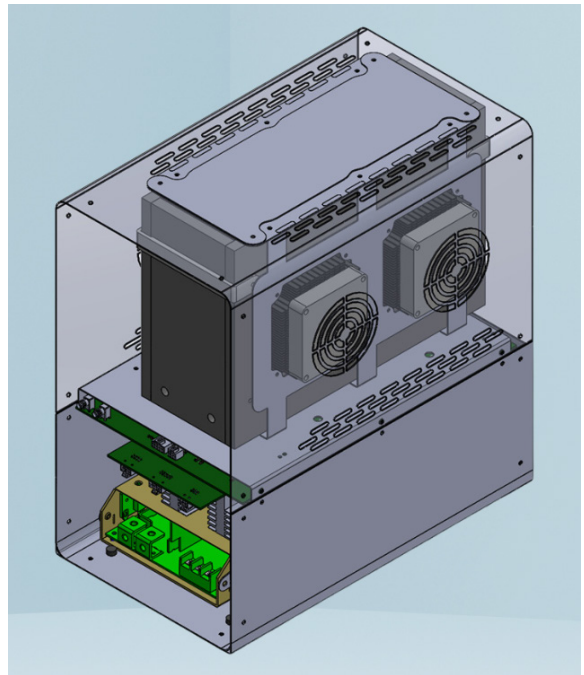


Illustration des Batteriemesssystems, das die Firma Fluxim als Prototyp im AFreeSSB-Projekt entwickelt hat. Illustration: Fluxim