NEUGIERIG AUF WISSENSCHAFT

techmax

Ausgabe 42 // Herbst 2026

© istockphoto/sarawuth702 // Hintergrundbild: Batene GmbH

Ein Turbo für Batterien –

wie Metallvliese die Akkutechnologie voranbringen

Heutige Lithium-Ionen-Akkumulatoren, also aufladbare Batterien, sind ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Elektromobilität. E-Autohersteller arbeiten an größeren Reichweiten der Fahrzeuge, kürzeren Ladezeiten und geringeren Produktionskosten. Doch die Akkus sind noch vergleichsweise teuer und schwerer, als sie theoretisch sein müssten. Eine wichtige Ursache ist die schlechte Beweglichkeit der Lithium-Ionen. Die Batene GmbH, eine Ausgründung aus dem Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, will das ändern. In Wendlingen am Neckar, wo mehr als 100 Jahre lang ein Textilunternehmen Garn produzierte und Tuch webte, zieht das Start-up heute buchstäblich Fäden für die Energiewende.

Batene hat einen Weg gefunden, feine Metalldrähte zu spinnen und zu fluffigen Vliesen zu verarbeiten. Diese sollen die Kontaktfolien in heutigen Batterieelektroden ersetzen und die Energiespeicher nicht nur wesentlich leistungsfähiger, sondern auch deutlich kostengünstiger machen. Als Joachim Spatz, Direktor am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg im Jahr 2014 anfing, sich Gedanken über die Herstellung solcher **Metallvliese** zu machen, dachte er zunächst gar nicht an Batterien. Ihn interessierten Materialien, die große Oberflächen beinhalten, denn diese können ganz neue Eigenschaften zeigen, erzählt der Physiker: „Ich dachte zuerst daran, zum Beispiel Katalysatoren zu verbessern.“ 2017 gelang dann die Vliesherstellung. „Zwei Jahre später kam die Idee auf, damit Batterien zu bauen“, berichtet er. Schnell wurde klar, dass die Vliese als Elektrodenmaterial die **Akkumulatortechnologie** erheblich verbessern könnten. 2022 gründete Joachim Spatz die Batene GmbH gemeinsam mit Thanh Nguyen und Martin Möller, vier Jahre später arbeiten bereits 19 Forschende im jungen Team.

SCHMELZSPINNEN AUF EINER DREHSCHEIBE

Bei der Herstellung von hauchdünnen Metallfäden ging es zunächst um die Entwicklung der Methode an sich. Bereits seit den 1970er-Jahren gibt es ein Gerät, in dem eine rotierende Walze aus einem Strahl flüssigen Metalls dünne Bänder zieht. Dieses als **Schmelzspinnen** oder Meltspinning bekannte Verfahren hat Joachim Spatz buchstäblich umgeworfen: „Ich habe mir überlegt, wie die Kräfte bei einem Meltspinning wirken“, sagt der Physiker. „Daraus ist dann die Idee entstanden, dass man anstelle von Bändern feinere Metallfäden erhält, wenn das flüssige Metall nicht auf eine Walze, sondern auf eine rotierende Scheibe fließt. Außerdem kann man in diesem Aufbau die Faserlänge besser

ABB. A **FLIEGENDE FÄDEN**

Ein neuartiges Verfahren des Schmelzspinnens, das am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung entwickelt wurde, erzeugt hauchdünne Metallfasern. Dabei fließt oder tropft flüssiges Metall aus dem beheizten Tiegel (links) auf eine rotierende gekühlte Scheibe, sodass es in Fäden gezogen wird.

© Batene GmbH

kontrollieren." **(Abb. A)**. Aktuell erzeugt Batene auf diese Weise Fasern, die weitaus dünner sind als ein menschliches Haar.

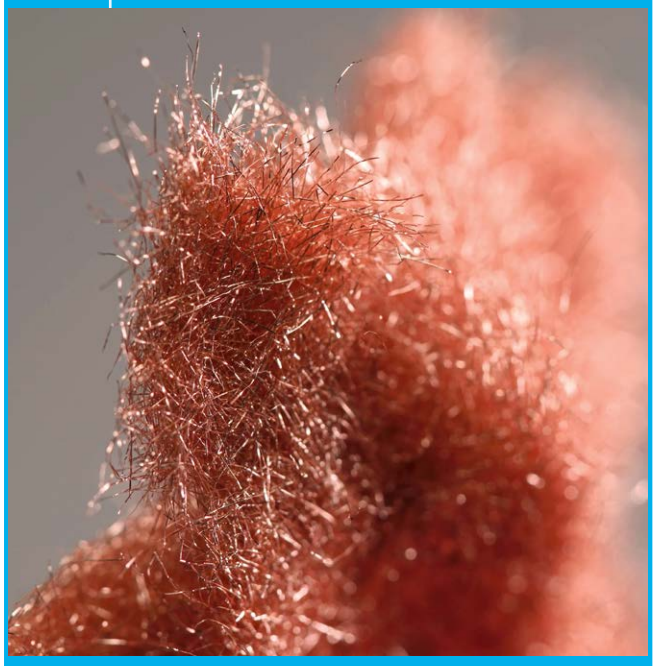
„Die nächsten Produktionsschritte sind der Papierherstellung sehr ähnlich", erläutert Spatz. Die feinen Metallfasern werden wie die Holzfasern in einer Flüssigkeit gewaschen und dann als Schicht abgelagert. Dabei kann man die gewünschte Dicke der Schicht einstellen. Danach wird sie getrocknet. Allerdings ist das Vlies so noch nicht stabil. Hier kommt nun ein wichtiger Trick: Das Vlies wird in einem Ofen bis knapp unter die Schmelztemperatur des Metalls erhitzt. „Wir dürfen nicht über die Schmelztemperatur geraten, sonst erhalten wir eine Flüssigkeit", betont der Physiker. Knapp unterhalb der Schmelztemperatur aber werden die Metallatome beweglich, ohne dass die Fäden zerlaufen. Sie ordnen sich zu Kristallen um, vor allem aber verschweißen dadurch die Fäden an ihren Kontaktpunkten miteinander. So entsteht ein stabiles Vlies **(Abb. B)**. „Das Vlies können wir mit Kupfer und Aluminium machen", erzählt Spatz und ergänzt: „Sogar mit Gold haben wir das schon gemacht". Das klingt teuer, aber ein solches Vlies besteht zum größten Teil aus Luft. Tatsächlich hat es das Potenzial, bis zu etwa 30 Prozent des Metalls in den Elektroden von Akkus einzusparen. Das Start-up will nun demonstrieren, dass sich diese Vliese großtechnisch am Fließband herstellen lassen, so wie riesige Papierrollen. „Wir wollen dieses Material kilogrammweise herstellen können", sagt der Physiker. Neben allen technischen Vorteilen würde das die Batterieproduktion im Vergleich zu heute erheblich vereinfachen und verbilligen.

EIN AUSWEG AUS DEM BATTERIE-DILEMMA

Warum solche Metallvliese für die Elektroden von Akkus so interessant sind, erklärt Spatz als Nächstes. Grundsätzlich gibt es zwei Träger elektrischer Ladung in einem Akku. Die negativ geladenen Elektronen dürfen nur durch einen äußeren Stromkreis von der Kathode in die Anode fließen. So können sie Arbeit verrichten, etwa einen Elektromotor rotieren lassen. Dabei entlädt sich der Akku und wandelt die in ihm chemisch gespeicherte Energie in elektrische Energie um. Diese lässt dann zum Beispiel ein Auto fahren. Beim Laden werden die Elektronen in umgekehrter Richtung gepumpt. Innerhalb des Akkus fließen zum Ausgleich positive Ladungsträger, in diesem Fall sind das die Lithium-Ionen **(s. TECHMAX 13)**.

Die Batterieelektroden bestehen im Wesentlichen aus einem **Stromsammler** und einem porösen **Aktivmaterial**, das von einem flüssigen **Elektrolyten** durchdrungen wird. Das Aktivmaterial speichert Lithium-Ionen, die mittels Elektrolyte transportiert werden. Elektronen werden über den Stromsammler in das Aktivmaterial eingespeist oder diesem entzogen. Der Stromsammler der heute industriell hergestellten Lithium-Ionen-Batterien ist beim Minuspol eine Kupferfolie, beim Pluspol eine Aluminiumfolie. Das Aktivmaterial nimmt die Lithium-Ionen beim Laden und Entladen auf beziehungsweise gibt sie ab. Batteriehersteller verwenden dafür beim Minuspol Graphit und beim Pluspol verschiedene Lithiumverbindungen. Die Materialien sind porös und von einem flüssigen Elektrolyten durchdrungen. Dieser enthält gelöste Lithiumsalze (wie $LiPF_6$) und organische Stoffe wie Dimethylcarbonat (DMC) und Ethylencarbonat (EC). Der Elektrolyt soll aber nicht nur die Lithium-Ionen möglichst gut leiten, sondern auch als Isolator einen Elektronenfluss im Akku verhindern. Dafür sorgen die organischen Stoffe. Der Nachteil: Um die Lithium-Ionen bildet sich eine Hülle von organischen Molekülen. Deshalb wandern die Ionen sehr langsam durch den Elektrolyten. „Wenn man mit Freunden untergehakt durch eine volle Innenstadt drängelt, kommt man auch langsamer voran als ein Einzelner", veranschaulicht Spatz die Entstehung solcher „Molekülklumpen".

ABB. B **METALLISCHES GEWEBE**

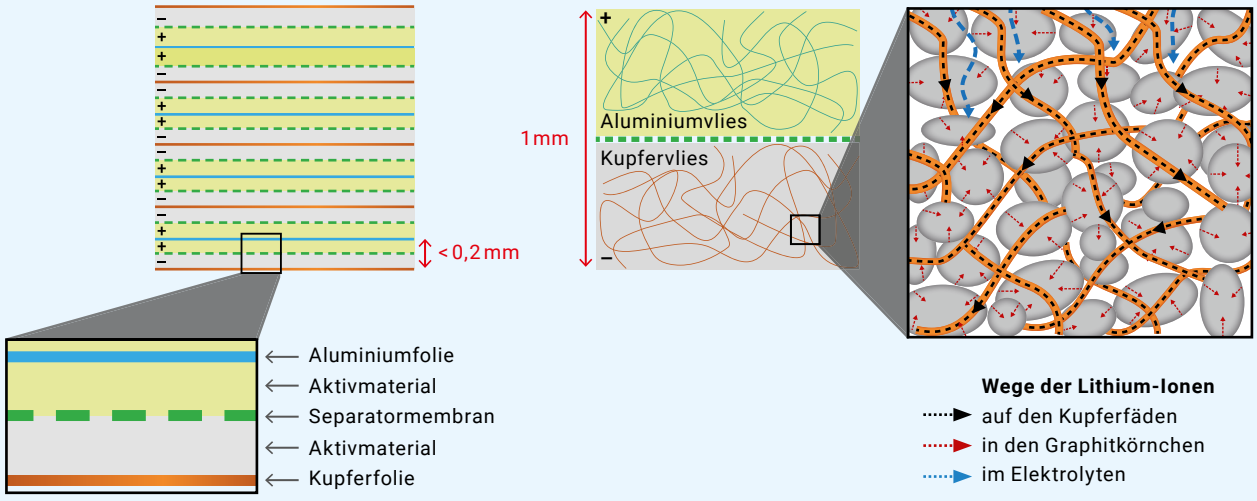


Das Vlies besteht aus Kupferfäden, die dünner sind als circa 1/10 eines menschlichen Haares.

© Batene GmbH

© Links und Mitte: Batene GmbH; Rechts: verändert nach ACS Nano 13.5.2025; 19 (18): 17917–17928.
https://doi.org/10.1021/acsnano.5c04343 // CC BY 4.0

ABB. C **VON DER FOLIE ZUM NETZ**



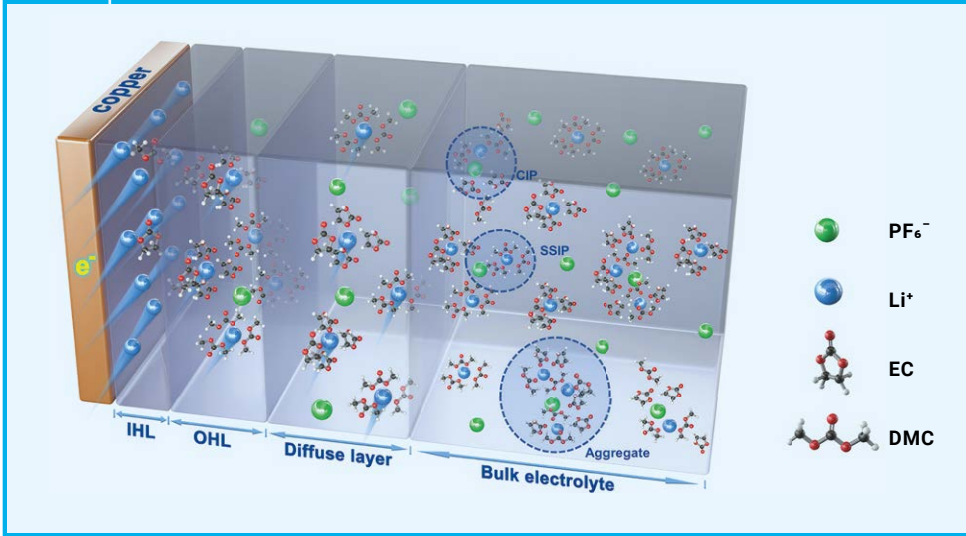
Links: In einer heutigen Batterie sind viele Zellen (mit < 0,2 mm Dicke) übereinander gestapelt. In den Zellen wandern die Lithium-Ionen durch den Elektrolyten in das poröse Aktivmaterial. **Rechts:** In einer wesentlich dickeren Batene-Zelle durchdringt das dreidimensionale Vlies das gesamte Aktivmaterial. Die Lithium-Ionen bewegen sich im Elektrolyten (blaue Pfeile) und zusätzlich sehr schnell über die Oberflächen der Metallfäden (schwarze Pfeile) zum Aktivmaterial (Graphitkörnchen, grau). Das beschleunigt den Ladungstransport deutlich, sodass Zellen mit einer Dicke von bis zu etwa einem Millimeter möglich werden.

Damit heutige Batterien überhaupt in akzeptablen Zeiten geladen werden können, stapeln sich in ihnen zahlreiche Zellen übereinander **(Abb. C, links)**, die jeweils nur bis zu zwei Zehntel Millimeter dünn sind. So müssen die Ladungsträger keine weiten Wege zu den Kontakten zurücklegen. Der Anteil der Kontaktfolien und des Separatormaterials, das Plus- und Minuspol voneinander trennt, summiert sich jedoch zu einer beträchtlichen Menge. Die Materialien brauchen Platz und bringen Gewicht mit, tragen aber nichts zur Speicherung bei. Deshalb gehen Batteriehersteller heute stets einen Kompromiss zwischen Energiedichte, also der Speicherkapazität pro Masse, und Lade- beziehungsweise Entladegeschwindigkeit ein. Wenn eine Batterie in kurzer Zeit viel Leistung bringen muss, in einem Sportwagen beispielsweise oder beim Start eines Elektrohubschraubers, entscheiden sie sich für besonders dünne Zellen. Das geht dann auf Kosten der Speicherkapazität, oder die Batterie wird sehr groß und schwer. „Die Versorgung eines Materials mit Ladung über zweidimensionale Schichten ist jedoch in keiner Weise effizient", sagt Joachim Spatz und verweist auf das Vorbild der Natur: Sie versorge Organismen über ein dreidimensionales Netzwerk an Gefäßen. „Und das ist das Ziel unserer Technologie: ein 3D-Versorgungsnetz für Ladungsträger, über das sich Batterien effizient laden und entladen lassen." Vliese aus Metallfasern, die das gesamte Aktivmaterial einer Elektrode durchdringen **(Abb. C, rechts)**, heben das Dilemma heutiger Batterien auf. Sie ermöglichen deutlich dickere Batteriezellen, die ihre Ladung trotzdem blitzschnell aufnehmen und abgeben. Ein weiterer Vorteil: Die dickeren Zellen sind stabiler als die hauchdünnen Zellen herkömmlicher Akkus. Das ist ein wichtiger Grund, warum die Batene-Technik Batterien auch sicherer macht.

EINE SCHNELLSTRASSE FÜR IONEN

Doch wie kommen die kurzen Lade- und Entladezeiten der Batene-Batterien zustande? Das Kupfervlies durchdringt das Aktivmaterial mit einer Maschenweite von etwa 80 Mikrometern, sodass die Lithium-Ionen im Elektrolyten nur sehr kurze Wege bis zur Elektrode haben. Das allein sollte das Laden und Entladen beschleunigen, war die ursprüngliche Idee des Batene-Teams. Doch dann zeigten die ersten Experimente: Die Vlies-Elektroden konnten viel schneller und effizienter elektrische Energie speichern und abgeben, als Computersimulationen es vorhersagten. Was passiert da? Das konnten die Forschenden mit hochauflösenden Methoden zeigen: An der Kupferoberfläche verlieren die Lithium-Ionen ihre Hülle aus organischen Molekülen **(Abb. D)**. „An den Kupferfäden bildet sich eine sogenannte **Helmholtzschicht**", erklärt Spatz. „Diese war schon lange bekannt. Dass sie den Ladungstransport durch das Speichermaterial beschleunigt, hat uns aber überrascht und war gänzlich neu." Ohne den bremsenden „Molekülklumpen", der die Lithium-Ionen im Elektrolyten umgibt, werden sie auf der Metalloberfläche bis zu hundertmal beweglicher. Diese hohe Beweglichkeit der Ionen beschleunigt das Laden und Entladen des Akkus erheblich. „Metalloberflächen sind also eine Art Autobahn für die Metallionen", sagt der Wissenschaftler. Zudem vergrößert sich die Oberfläche, auf der sich die Ionen bewegen können, denn das Vlies durchdringt das gesamte Aktivmaterial dreidimensional, ähnlich wie die Kapillaren des Blutgefäßsystems. Auch die feinen Graphitkörner in der Elektrode am Minuspol in der Batene-Zelle tragen zu der Beschleunigung bei. Sie besitzen eine große Oberfläche und stehen in engem Kontakt mit den feinen Kupferfäden. So können die Lithium-Ionen viel schneller zu einem freien Platz im Aktivmaterial gelangen. Wie schnell die freien Plätze im Aktivmaterial von Ionen besetzt werden, beeinflusst die Ladekurve heutiger Lithium-Ionen-Akkus, erklärt Spatz: „Erst steigt die Ladung schnell an, bis der Akku ungefähr zu 30 Prozent voll ist, danach geht es immer langsamer." Genau dieses Problem könnten die neuen Akkus mit den Vlies-Elektroden entschärfen und auch damit zur Beschleunigung des Ladevorgangs beitragen.

ABB. D **BEFREITE LITHIUM-IONEN**



Die Grafik zeigt, was bei einer Annäherung der Lithium-Ionen an die Kupferoberfläche passiert. Rechts: Im Elektrolyten liegt das Lithiumhexafluorophosphat in Form von Ionen (Li^+ und PF_6^-) vor. Die Li^+-Ionen sind von organischen Molekülen umhüllt (DMC: Dimethylcarbonat, EC: Ethylencarbonat). Dabei gibt es verschiedenen Formen (s. gestrichelte Kreise). Nach links folgt eine diffuse Mischungsschicht, dann die äußere Helmholtzschicht (OHL) sowie direkt am Kupfer die innere Helmholtzschicht (IHL). Durch elektrostatische Kräfte zwischen Elektronen im Kupfer und den Li^+-Ionen brechen deren Umhüllungen auf. Ohne Hülle können sich die Li^+-Ionen in der IHL sehr schnell bewegen.

© ACS Nano 13.5.2025; 19 (18): 17917–17928. https://doi.org/10.1021/acsnano.5c04343 // CC BY 4.0

DIE NÄCHSTE AKKU-GENERATION

Batteriehersteller interessieren sich allerdings für die neue Technik vor allem, weil sie eine deutlich einfachere und kostengünstigere Produktion von Batterien ermöglicht. Denn die Herstellung der vielen dünnen Schichten herkömmlicher Akkus ist fehleranfällig und erzeugt viel Ausschuss. Außerdem müssen die Unternehmen bei der Fabrikation der Dünnschichtelektroden einen vollkommen glatten Film des aufgeschlämmten Aktivmaterials nahtlos auf die Kontaktfolie aufbringen. Dafür benötigen sie zum Teil krebserregende und umweltschädliche Lösungsmittel. Und das heißt: Sie müssen nicht nur Trockenstraßen errichten, die ganze Hallen füllen, damit die Lösungsmittel aus den hauchdünnen feuchten Schichten verdampfen können. Sie müssen die giftigen Substanzen auch zurückgewinnen, ohne dass die Beschäftigten die Dämpfe einatmen. Das macht die Sache sehr aufwendig und teuer. Viele Batteriehersteller suchen daher nach Wegen, um das Aktivmaterial trocken zu verarbeiten. Bislang verwendet zwar auch das Batene-Team Lösungsmittel, um die Aktivmaterialien in die Vliese einzubringen. Doch Joachim Spatz ist sicher, dass sich die Produktion der Batene-Elektroden tatsächlich trocken legen lässt. „Mit der Trockenbefüllung können wir vermutlich 30 bis 40 Prozent der Produktionskosten sparen, und die Anlagen brauchen ein Drittel weniger Platz."

EIN VLIES FÜR ALLE FÄLLE

Batterien sind eine Schlüsseltechnologie der Energiewende: Sie können die elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen für Zeiten speichern, in denen Fotovoltaik und Windkraft keinen Strom liefern. Und sie ermöglichen es, Fahrzeuge klimafreundlich anzutreiben. Für den Erfolg von E-Autos sind leistungsfähige Batterien entscheidend. Bis vor Kurzem galt ein Lithium-Ionen-Akku mit einem Pluspol aus Nickel, Mangan und Kobalt als erste Wahl. Doch Nickel und Mangan sind teuer, letzteres wird zudem unter problematischen sozialen und ökologischen Bedingungen gewonnen. Inzwischen fahren auch viele Elektrofahrzeuge mit Lithium-Eisenphosphat-Batterien. Darüber hinaus sind Natrium-Ionen-Batterien im Rennen, die kein teures und schlecht verfügbares Lithium mehr brauchen. Und dann gibt es auch noch Feststoffbatterien, die ohne flüssige Elektrolyte auskommen und daher sicherer und kompakter als die heute gängigen Akkus sein sollen. Welcher Zelltyp sich am Ende durchsetzen wird, ist noch offen. Vermutlich werden es je nach Anwendung verschiedene sein. Für Batene ist das egal: „Unsere Technik ist für alle Zelltypen und Zellmaterialien geeignet", sagt Joachim Spatz.

Schlüsselbegriffe

Akkumulatortechnologie, Aktivmaterial, Elektrolyt, Helmholtzschicht, Lithium-Ionen, Lithium-Ionen-Akku, Metallvlies, Schmelzspinnen, Stromsammler

Link-Tipps

- **Energie für die Zukunft**
  www.mpg.de/t421
- **Batterien für Elektroautos – Faktencheck und Handlungsbedarf**
  www.mpg.de/t422
- **Stromspeicher**
  www.mpg.de/t423

Video-Tipps

- **Die Batene-Technologie** ▶ QR
  www.mpg.de/t424
- **Neue Batterietechnologie: 80 % mehr Energiedichte (Videopodcast)**
  www.mpg.de/t425

Max-Planck-Gesellschaft, Abteilung Kommunikation, Hofgartenstraße 8, 80539 München | E-Mail: service@max-wissen.de | Redaktion: Tanja Fendt, Elke Maier | Text: Peter Hergersberg, Roland Wengenmayr | Gestaltung: Büro 7, www.buero7.de

www.max-wissen.de
der Link zur Forschung für Schulen ▶

Hier finden Lehrkräfte Hintergrundinformationen und Materialien für den Unterricht zu den Ausgaben von **BIOMAX, GEOMAX** und **TECHMAX**. Weitere Exemplare können Lehrkräfte auf der Website kostenfrei bestellen.

MIX Papier aus verantwortungsvollen Quellen FSC® C018312

CC-Lizenztexte sind unter https://creativecommons.org/licenses und im Detail bei den einzelnen Heften auf www.max-wissen.de zu finden.