

# Batterien. Schlüssel für die Energiewende

Kompendium zu Forschung,  
Entwicklung, Potenzial  
und Systemintegration  
von Batteriespeichern

Mit Unterstützung von



# Das Forum Energiespeicher Schweiz

Das Forum Energiespeicher Schweiz wurde 2014 als Initiative der aeesuisse gegründet. Das Forum und dessen Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft unterstützen die Umsetzung der klimapolitischen Ziele der Schweiz und der Energiestrategie 2050 und damit ein kosteneffizientes, CO<sub>2</sub>-neutrales und erneuerbares Gesamtenergiesystem. Das Forum fungiert als Think Tank und Dialogplattform der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Politik. Aufgabe ist es, fundiertes Wissen zur Vielfalt der Speicheroptionen und Einsatzmöglichkeiten, zum system- und klimadientlichen Einsatz von Energiespeichern sowie zu Rahmenbedingungen und Geschäftsmodellen, die einen solchen Speichereinsatz ermöglichen, zugänglich zu machen. Das Forum Energiespeicher Schweiz versteht Speicher nicht als Selbstzweck. Es ist sektorübergreifend – Wärme, Strom, Mobilität – und technologieneutral organisiert und tauscht sich offen mit anderen Organisationen aus.

**[speicher.aeesuisse.ch](https://speicher.aeesuisse.ch)**

## **Forum Energiespeicher Schweiz**

Falkenplatz 11  
Postfach  
3001 Bern

Telefon: 031 301 89 62  
Fax: 031 313 33 22

E-Mail: [speicher@aeesuisse.ch](mailto:speicher@aeesuisse.ch)

# Batterien, die unbekanntesten Wesen

## Liebe Leserin, lieber Leser

«Batterien, die unbekanntesten Wesen», so launig wollen wir dieses Kompendium zu den zentralen Aspekten moderner Batterietechnologien, vor allem aber deren Bedeutung für die Umsetzung der Energiestrategie 2050 und zur weiteren Entwicklung des Wirtschaftsstandortes Schweiz beginnen. Denn noch immer besteht viel Unwissenheit und Skepsis gegenüber dieser Technologie, um mittels ganz unterschiedlicher Verfahren Strom zu speichern.

Dabei reichen die Anfänge elektrochemischer Batterien in das 18. Jahrhundert zurück. Wissen und Technologien haben sich seit den Forschungen von Luigi Galvani und Alessandro Volta natürlich gewaltig weiterentwickelt. Heute sind Batterien zuverlässig, günstig, flexibel – und weit verbreitet: im Gebäude, im Stromnetz, in Mobiltelefonen und zunehmend in Fahrzeugen. Dass Batterien so vielfältig sind wie die Anwendungen, die sie ermöglichen, wird immer offensichtlicher. Dass aber eine Batterie für ein Spielzeug mit einer Batterie in einem modernen E-Mobil nur wenig und mit einem Pumpspeicherkraftwerk in den Schweizer Bergen gar nichts ausser dem Zweck, Energie dann abzugeben, wenn sie benötigt wird, zu tun hat, ist vielen nicht unbedingt bewusst. Dieses Wissen ist aber erforderlich, wenn wir heute die Weichen stellen wollen, damit Batteriespeicher tatsächlich ihre Aufgabe bei der Dekarbonisierung des Energiesystems übernehmen können.

Dass dies auch für den Forschungs- und Wirtschaftsstandort von grosser Bedeutung ist, dass wir sogar vor einem «Zeitalter der Batterien» stehen, beschrieb die Neue Zürcher Zeitung unter dem Titel «Batterien entwickeln sich zum Erdöl des 21. Jahrhunderts». Während in der Schweiz auch weiterhin Strom vorwiegend in Stauseen gespeichert werden soll und diese entsprechend bevorzugt werden, wird in anderen Ländern intensiv an neuen Batterietechnologien geforscht und deren Einsatz

gefördert. Kann die Schweiz bei diesem Wettrennen um Innovationen nur zusehen? Welche Chancen bieten sich im Kreislauf von der Entwicklung, der Anwendung und dem Recycling von Batterien für Schweizer Unternehmen? Und was brauchen Sie dafür? Antworten auf diese und viele weitere Fragen rund um Batterien will das Forum Energiespeicher Schweiz als Think Tank und Dialogplattform der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Politik geben und zur Diskussion einladen.

Dafür wird diese Kompendium laufend erweitert und aktualisiert – wir hoffen, auch mit Ihren Beiträgen und Anregungen!

**Thomas Nordmann**

Forum Energiespeicher Schweiz  
Sprecher der Wirtschaft

**Dr. Jonas Mühlethaler**

Forum Energiespeicher Schweiz  
Leiter der Arbeitsgruppe  
«Elektrische Speicher»

# Inhalt

## 9 Wie Batteriespeicher «netzdienlich» werden

Dr. Jonas Mühlethaler | Hochschule Luzern, Competence Center Digital Energy and Electric Power

## 15 So werden Batteriespeicher für private Hausbesitzer:innen attraktiv

Dr. Marius Schwarz | ETH Zürich,  
Energy Science Center

## 21 Ein intelligentes Energie- und Lastmanagement für Wohngebäude

Thomas Nordmann | TNC Consulting AG

## 25 Batterien: So schlecht wie ihr Ruf?

Marcel Gauch | Empa, Technology & Society Lab

## 35 Batterie-Recycling: eine Positionsbestimmung

Olivier Groux | KYBURZ Switzerland AG

Marcel Gauch | Empa, Technology & Society Lab

## 41 Die Rolle der Schweiz in der globalen Batteriewert- schöpfungskette

Christian Ochsenbein | BFH-Zentrum  
Energiespeicherung



# «Game Changer»

Die Schweiz hat sich zum Ziel gesetzt, aus der Kernenergie auszusteigen sowie ab dem Jahr 2050 keine Treibhausgasemissionen mehr auszustossen. Das hat grosse Auswirkungen auf das Energie- und Transportsystem der Schweiz. Mit der notwendigen Dekarbonisierung werden viele Anwendungen elektrifiziert.

Batteriespeicher werden ein sehr zentrales Element in dieser erneuerbaren Energiezukunft sein. Sei es als Speichermedium für E-Autos oder für eine optimale Integration erneuerbarer Energiequellen (z. B. für die Nutzung von Solarstrom am Abend). Wir sprechen davon, dass pro E-Auto eine Batterie mit einer Kapazität von ca. 40 bis 100 kWh am Netz hängen wird, was ungefähr dem heutigen Strombedarf eines 4-Personen-Haushalts während 3 bis 8 Tagen entspricht. Gehen wir z. B. von einer Million E-Autos auf Schweizer Strassen aus (ca. 1/5 aller heutigen Autos), so ergibt das eine netzgekoppelte Speicherkapazität von rund dem 5- bis 10-Fachen der Kapazität der Wasserspeicherkraftwerke in der Schweiz. Diese Dimensionen sind immens. Batterien haben damit definitiv das Zeug zum «Game Changer». Der aktuelle Preisverfall von Batteriespeichern wirkt dabei als Beschleuniger: Kostete eine Lithium-Ionen-Batterie im Jahr 2010 noch USD 1200.-/kWh, war diese 2021 im Grosshandel bereits für USD 132.-/kWh zu haben.<sup>1</sup>

Wir vom Forum Energiespeicher Schweiz sind überzeugt, dass Batteriespeicher dennoch eine noch immer massiv unterschätzte Komponente für die Energiewende sind.

Batteriespeicher ermöglichen eine CO<sub>2</sub>-freie Mobilität sowie eine effiziente Integration von erneuerbaren Energiequellen. Die zunehmende Verbreitung von dezentralen erneuerbaren Energiequellen zusammen mit optimal in das System integrierten Batteriespeichern wird das Elektrizitätssystem auf den Kopf stellen – im besten Sinne!

Der systemdienliche Einsatz von Batteriespeichern im Elektrizitätssystem ist jedoch nicht trivial und wird sich keineswegs «von alleine» ergeben. Schon für Hausbesitzerinnen und -besitzer stellen sich anspruchsvolle Fragen, ob für sie schon heute die Investition in eine stationäre Batterie sinnvoll ist oder ob sie besser abwarten sollen. Noch anspruchsvoller ist die Handhabung für Netzbetreiber oder für Regulierungsbehörden: Wie können Batteriespeicher so integriert werden, dass daraus ein effizientes, ökologisches, robustes und zahlbares Energiesystem resultiert? Wie müssen Regulierungen dafür ausgestaltet werden? Diese Fragen werden in diesem Kompendium aufgegriffen. Dabei wird die (öffentliche) Debatte noch immer von der vermeintlich «katastrophalen» Ökobilanz von Batterien beherrscht, oder es werden grosse Vorbehalte bezüglich deren Sicherheit geäussert. Wie es wirklich um

die Ökobilanz steht, wie Recycling und eine konsequente Kreislaufwirtschaft Verbesserungen bringen und welche Rolle die Schweiz bei der Forschung, der Entwicklung und der Herstellung moderner Batterietechnologie spielt respektive spielen könnte, sind weitere Themen dieses Kompendiums. Schon heute steht fest: Batteriespeicher sind nicht nur ein Schlüsselement für die Energiewende, sondern auch ein zukunftsweisendes Feld für den Wissens- und Wirtschaftsstandort Schweiz. Dieses Chance müssen wir erkennen – und ergreifen!

Da sich das Wissen zu Batterien so schnell und grundlegend ändert wie in nur wenigen anderen Gebieten, ist dieses Kompendium bewusst eine lose Sammlung von Artikeln in verschiedenen relevanten Themenfeldern. Aus diesem Grund ist es nicht abgeschlossen, sondern wird laufend aktualisiert und um neue Beiträge ergänzt. Das Kompendium beleuchtet soziale, ökonomische, technische, politische und ökologische Aspekte aus einer gesamtheitlichen Perspektive. Für eine zunehmend vollständige Gesamtsicht beinhaltet es auch Artikel zu nicht elektrochemischen Batteriespeichern. Die Beiträge sind von Expertinnen und Experten verfasst und haben ein Peer-Review durch die Arbeitsgruppe «Elektrische Energiespeicher» des Forums Energiespeicher Schweiz durchlaufen.

Das Kompendium richtet sich an die interessierte Öffentlichkeit, an die Politik und die Verwaltung. Wir versuchen, komplexe Sachverhalte auf naturwissenschaftlichen Grundlagen verständlich zu diskutieren. Wir stellen aber auch gut begründete Forderungen. Dabei sind alle Forderungen vor dem Hintergrund einer systemdienlichen Integration von Batteriespeichern und damit der Umsetzung der Energiestrategie 2050 zu verstehen.

Wir wünschen Ihnen viel Spass beim Lesen!

Für die Autorinnen und Autoren

**Dr. Jonas Mühlethaler**

Forum Energiespeicher Schweiz

Leiter der Arbeitsgruppe «Elektrische Energiespeicher»





# Wie Batteriespeicher «netzdienlich» werden

Oktober 2022

Die optimale Nutzung von Energiespeichern ist essenziell für das Gelingen der Energiewende. Dazu zählt ganz wesentlich auch deren Beitrag zu einem zuverlässigen und effizienten Betrieb der Übertragungs- und Verteilnetze. Voraussetzung ist, dass Batterien die Netzsituation beim Laden und Entladen berücksichtigen.

**Dr. Jonas Mühlethaler** ist Dozent und Stv. Leiter des Kompetenzzentrums «Digital Energy & Electric Power» der Hochschule Luzern. An der HSLU forscht er im Bereich von Intelligenten Energiesystemen zu Themen wie Integration von Energiespeichern, Digitalisierung (z. B. Einsatz von DLT/Blockchain), Microgrids usw. Vor seiner Zeit als Dozent war er in der Schweizer Elektrizitätswirtschaft aktiv, zunächst als Berater und dann als R&D Manager bei Swissgrid. In der Rolle des R&D Managers betreute er das unternehmensweite R&D-Portfolio sowie verschiedene R&D-Projekte. Jonas Mühlethaler leitet die Arbeitsgruppe «Elektrische Speicher» des Forums Energiespeicher Schweiz.



Das künftige Energiesystem wird eine starke dezentrale Komponente aufweisen. Dies ist auf die zunehmende Verbreitung dezentraler erneuerbarer Energiequellen, dezentraler elektrochemischer Energiespeichersysteme (stationär oder in netzgekoppelten Elektroautos) und die Elektrifizierung der Verbraucher zurückzuführen.

Eine der zentralen Herausforderungen der Dezentralisierung wird darin bestehen, die Versorgungssicherheit bei veränderten zeitlichen und örtlichen Energieflüssen zu jeder Zeit zu gewährleisten. Die Netzbetreiber brauchen neue technische Lösungen, um Netzengpässe zu verringern und Spannung und Frequenz in einem zulässigen Bereich zu halten. Batteriespeicher können dafür einen wichtigen Beitrag leisten.

Ohne Zweifel wird die Photovoltaik eine sehr wichtige Rolle spielen, da diese günstig ist und eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung genießt. Würde – theoretisch – die gesamte jährliche Nuklearproduktion von aktuell ca. 23 TWh<sup>1</sup> durch Photovoltaik ersetzt, so ergäbe das eine installierte PV-Leistung von ca. 23 GW<sup>2</sup>. Diese Leistung entspräche rund dem 2,8-Fachen der maximalen Last aller Verbraucher in der Schweiz<sup>3</sup> und würde ohne begleitende Massnahmen an einem sonnigen Sommertag das Stromnetz erheblich belasten:

- Hohe Leistungsspitzen können zu Überlastungen und Spannungsproblemen im Elektrizitätsnetz auf allen Netzebenen führen.
- Die eingespeiste Leistung muss einen Abnehmer finden, sonst steigt die Netzfrequenz.

Natürlich kann der Wegfall der Nuklearenergie durch andere erneuerbare Energiequellen oder durch Importe ersetzt werden, d. h. die installierte Photovoltaik-Kapazität kann kleiner ausfallen. Trotzdem muss von einem erheblichen Ausbau ausgegangen werden. Eine Studie des Bundesamts für Energie BFE schätzt das PV-Potenzial für die Schweiz auf 67 TWh/Jahr<sup>4</sup>.

## Batteriespeicher sind nur eine, aber eine zunehmend bedeutsame Lösung

Es gibt viele Möglichkeiten, die auftretenden Leistungsspitzen zu brechen und damit eine Überlastung des Systems zu vermeiden. Ansätze sind z. B. der Einsatz von Energiespeichern, Demand Side Management (Steuerung der Nachfrage) sowie die Abregelung der Photovoltaik-Einspeisung. Mit der Rundsteuerung hat das Demand Side Management eine lange Tradition in der Schweiz, z. B. werden Elektroboiler vorwiegend in der Nacht eingeschaltet. Dieses Konzept kann «modernisiert» und weiter ausgebaut werden, ohne dass die Nutzer:innen eine Einschränkung spüren, etwa indem Elektroautos dann geladen werden, wenn die Stromproduktion hoch ist.

### **Richtig eingesetzt können Batterien zu einer reduzierten Netznutzung und letztlich zu einem günstigeren Stromnetz führen.**

Im Folgenden wird auf die Lösung «Batteriespeicherung» eingegangen. Die Schlussfolgerungen lassen sich jedoch auch auf das Demand Side Management (DSM) übertragen: Letztlich sind die für DSM in Frage kommenden Lasten oftmals auch Energiespeicher (Boiler sind thermische Speicher, Elektroautos sind «fahrende Batterien»).

Wenn Energiespeicher sinnvoll eingesetzt werden, kann ein Energiesystem resultieren, das effizienter, ökologischer, robuster und – zumindest in absehbarer Zukunft – kostengünstiger als das heutige System ist.

Entsprechende Lösungen für Batteriespeicher sind:

### **Lösung 1: Verbrauch, wo produziert wird**

Batteriespeicher gekoppelt mit PV-Systemen ermöglichen Endkund:innen (individuell oder im Zusammenschluss eines Arealnetzes) einen hohen Eigenversorgungsgrad. Dank einer Batterie können Endkund:innen auch abends mittels Entladung der Batterie den eigenen Strom verbrauchen. Verbraucher mit hohem Eigenversorgungsgrad benötigen geringere Netzanschlüsse. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein hoher Eigenversorgungsgrad nur dann mit einem geringeren Netzanschluss einhergeht, wenn die Batterie bei der Ladung und Entladung die Netzbelastung als Entscheidungskriterium berücksichtigt (z. B. durch eine verteilte Batterienutzung über den ganzen Tag, so dass der Batteriespeicher nicht schon am Vormittag vollständig geladen ist). Richtig eingesetzt können Batterien zu einer reduzierten Netznutzung und letztlich zu einem günstigeren Stromnetz führen – so kann das Verteilnetz schlanker mit weniger Kupfer geplant und gebaut werden. Dies gilt allerdings nur, wenn das Batterie/PV-System so ausgelegt und geregelt wird, dass Lastspitzen effektiv gebrochen werden. Dafür wiederum braucht es die richtigen Anreizmechanismen, die eine reduzierte Netznutzung fördern, ohne die Finanzierung des Netzes zu gefährden.

### **Lösung 2: Netzentlastung und -stabilisierung mit Batteriespeichern**

Das, was oben im Kleinen beschrieben wurde («Reduktion von Lastspitzen bei Endverbrauchern»), funktioniert auch im Grossen. Zum Beispiel wurde in Australien im Staat Victoria eine Batterie für das Höchstspannungsnetz installiert, die für diverse Services genutzt wird, unter anderem für die Entlastung des Übertragungsnetzes. Falls die Einspeisung von Erneuerbaren in einer Region zu hoch wird und damit eine Überlastung des elektrischen Netzes droht, so kann die Energie in der Batterie zwischengespeichert werden.<sup>5</sup> Ein ähnlicher Anwendungsfall in der Schweiz könnte die Zwischenspeicherung aufgrund ungeplanter Lastflüsse aus dem europäischen Netz sein. Laut der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid gefährden ungeplante Lastflüsse durch die Schweiz zunehmend die Netzstabilität.<sup>6</sup>

### **Lösung 3: Regelenergieerbringung**

Regelenergie ist ein weiterer wichtiger Service, den elektrische Energiespeicher erbringen können. Das europäische Elektrizitätsnetz funktioniert mit Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hertz. Die Netzfrequenz ist ein gutes Mass dafür, ob Produktion und Verbrauch im elektrischen Netz ausgeglichen sind. Wird mehr Strom produziert, als verbraucht oder eingespeichert wird, so erhöht sich die Netzfrequenz; bei einer Strommangelanlage reduziert sich die Netzfrequenz, im Extremfall kann das zu einem Blackout führen. Swissgrid achtet für die Schweiz darauf, dass zu jedem Zeitpunkt dieser Ausgleich garantiert ist, und setzt dafür so genannte Regelenergie ein. Kraftwerke oder Speicher können im Auftrag von Swissgrid die Stromeinspeisung oder -ausspeisung so anpassen, dass die Systembilanz ausgeglichen ist. Dieser Service wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen, da es schwieriger sein wird, die Systembilanz zu halten, wenn vermehrt wetterabhängige und unflexible Stromquellen (Wind, Solar) in das System einspeisen. Elektrische Energiespeicher wie Pumpspeicherkraftwerke sind bereits heute in der Schweiz sehr wichtig. Wird mehr Regelenergie benötigt, so müssen neue Speichersysteme für diesen Zweck genutzt werden. Schon jetzt werden Batteriespeicher in der Schweiz für Regelenergie eingesetzt, wie z. B. die Batterie der EKZ in Dietikon.<sup>7</sup> Ein wichtiger Vorteil von Batteriespeichern im Vergleich zu Grosskraftwerken ist ihre schnelle Reaktionsfähigkeit. Grosskraftwerke koppeln mittels Synchrongeneratoren grosse und schwere rotierende Massen an das Netz. Eine Änderung der Netzfrequenz bedingt, dass diese Massen ihre Drehzahl ändern. Da die Massen sehr träge sind, weist auch das Elektrizitätssystem eine hohe Systemträgheit auf. Diese Kraftwerksmassen wirken stabilisierend auf das Netz und fangen kürzere Abweichungen in der Systembilanz auf. Wenn im europäischen Verbundnetz vermehrt Grosskraftwerke wie Atom- und Kohlekraftwerke vom Netz gehen, verliert das Netz diese Trägheit. Batterien mit ihrer schnellen Reaktionsfähigkeit können die wegfallende Systemträgheit kompensieren und sind deshalb als Erbringer von Regelenergie für das künftige Energiesystem besonders geeignet.

# Netzdienlichkeit braucht klare Verhältnisse

Richtig eingesetzt ermöglichen Batteriespeicher ein energie- und kosteneffizientes, nachhaltiges Stromsystem. Gerade wenn die Preise für Batterien und Photovoltaiksysteme weiter sinken, können erneuerbare Energiequellen kosteneffizient in das Energiesystem integriert werden. Damit Batteriespeicher verbaut und auch sinnvoll eingesetzt werden, braucht es aber gewisse Voraussetzungen:

## Voraussetzung 1: Gleichbehandlung

Aktuell werden Pumpspeicher gesetzlich einseitig bevorzugt, da sie von Netzentgelten befreit sind. Das ist aus einer Systemperspektive nicht gerechtfertigt und führt zu Fehlentwicklungen: Batteriespeicher werden hinter dem Strommeter trotzdem verbaut; sie werden aber oft nur zur Eigenverbrauchsoptimierung eingesetzt und führen damit oftmals zu keiner Entlastung des Netzes (siehe oben). Für das Verteilnetz könnten auch Quartierspeicher sinnvoll sein, die sowohl für den Eigenverbrauch des Quartiers im Sinne einer Arealnetzoptimierung genutzt werden können, aber auch die Gegebenheiten des Verteilnetzes berücksichtigen. Werden jedoch den Quartierstromspeichern beim Einspeichern Netzkosten verrechnet, so wird dieses Geschäftsmodell verunmöglicht. Deshalb sollen elektrische Speicher, die nicht direkt an einen Endverbraucher angeschlossen sind und somit die gespeicherte Energie wieder in das Stromnetz zurückspeisen, nur für den Nettobezug aus dem Stromnetz (Verluste im Speicher) mit Netzentgelt belastet werden. Das entspricht dem Branchenkonsens (VSE «Handbuch Speicher») sowie der Forderung der «Roadmap Energiespeicher» des Forums Energiespeicher Schweiz<sup>8</sup> und sollte im Gesetz entsprechend abgebildet sein. Dies schafft Rechtssicherheit für Investoren und Betreiber von elektrischen Speichern.

Ein weiteres Argument für die Aufhebung der Diskriminierung ist eine Betrachtung der möglichen Anwendungsfälle verschiedener Energiespeicherplatzierungen. Die folgende Abbildung zeigt die möglichen Anwendungsfälle von Energiespeichern nach ihrer Positionierung im Netz.

Zum Beispiel nutzt Swissgrid den Energiespeicher für die Erbringung von Regelleistung bzw. allgemein für «Systemdienstleistungen» (SDL); oder ein Endkunde nutzt den Energiespeicher zur Eigenverbrauchsoptimierung. Unten ist dargestellt, welche Speicher gemäss dem Ort der Platzierung im Netz für diese Anwendung genutzt werden können. So kann ein Pumpspeicherkraftwerk, das an das Übertragungsnetz angeschlossen ist, nur für die Anwendungen «Engpassmanagement ÜN», «SDL Erbringung» und «Energiearbitrage» genutzt werden. Im Gegensatz dazu kann ein Batteriespeicher, der hinter dem Zähler («Behind-the-Meter») angeschlossen ist, für alle aufgelisteten Anwendungen genutzt werden, auch für das Übertragungsnetz. Ein dezentral verbauter Speicher kann damit breiter eingesetzt werden als ein Speicher am Übertragungsnetz. Eine Bevorzugung seitens des Gesetzgebers für Pumpspeicherkraftwerke am Übertragungsnetz ist damit nicht gerechtfertigt.

Ort des Speichers im Netz

Kundengruppe	Speicheranwendungen	Ort des Speichers im Netz		
		Übertragungsnetz (ÜN)	Verteilnetz (VN)	Behind-the-Meter
Swissgrid	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engpassmanagement ÜN</li> <li>SDL Erbringung</li> </ul>			
VNB / Elektrizitätsunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiearbitrage</li> <li>Bilanzgruppenmanagement</li> <li>Alternative Netzausbau / Engpassmanagement VN</li> </ul>			
Endkunden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microgrids</li> <li>Eigenverbrauch</li> <li>Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)</li> </ul>			

Speichertopologie im Stromnetz

## Voraussetzung 2: Mehrfachnutzung

Energiespeicher können wie in der Abbildung dargestellt sehr vielseitig eingesetzt werden. Sie können für Energie- (z. B. Eigenverbrauchsoptimierung) und für Netzanwendungen (z. B. Engpassmanagement im Netz) eingesetzt werden. Das macht deren Einsatzplanung bzw. die optimale Nutzung eines Speichers sehr anspruchsvoll. Zusätzlich anspruchsvoll wird dies durch die Entflechtung («Unbundling») des elektrischen Energiesystems in einen Monopolbereich «Netze» und einen liberalisierten Bereich «Energiehandel». Diese Trennung macht es anspruchsvoll, Netze, Produktion und Speicher einheitlich und optimal zu planen und zu betreiben<sup>9</sup>. Dem gegenüber stehen die Vorteile eines Marktes mit Wettbewerb, der idealerweise zu tieferen Preisen und einer höheren Effizienz führt. Diese Problematik wurde vom Gesetzgeber anerkannt. Mit dem Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) wird eine gesamtheitliche Planung von Energie- und Netzaspekten in Mehrfamilienhäusern, Arealnetzen und weiteren möglich. Auf Ebene des Verteil- und Übertragungsnetzes ist dies jedoch (noch) nicht zugelassen.

## Energiespeicher können sehr vielseitig eingesetzt werden.

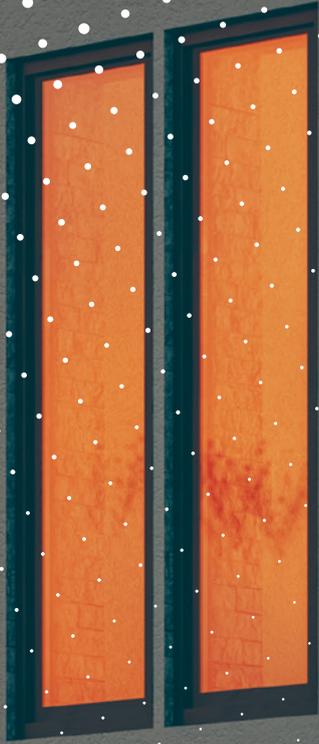
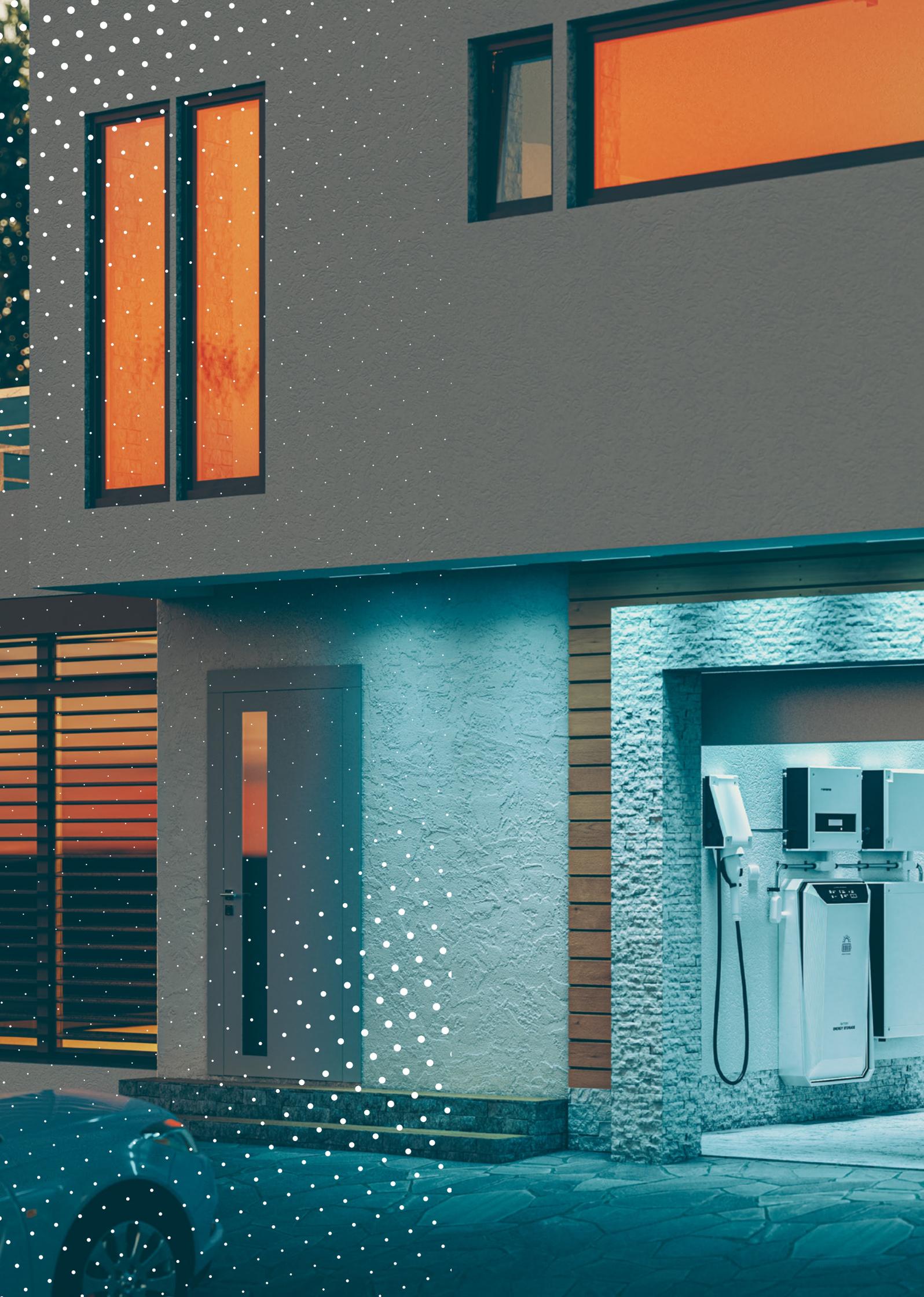
Die optimale Nutzung von Energiespeichern (respektive deren Mehrfachnutzung) ist essenziell für das Gelingen der Energiewende. Es muss aufgezeigt werden, welche Ansätze (z. B. marktbasiert, regulatorisch usw.) in einem entflochtenen Energiesystem einen optimalen Speichereinsatz ermöglichen.

In diesem Artikel wurde aufgezeigt, dass Batteriespeicher im künftigen Energiesystem eine wichtige Rolle einnehmen werden, da sie vielfältige netzdienliche Anwendungen bei hoher Reaktionsfähigkeit ermöglichen. Dafür müssen sie aber regulatorisch mit anderen Speicher- oder generell Flexibilisierungstechnologien gleichgestellt werden. Die noch immer bestehende Bevorteilung von Pumpspeicherkraftwerke gegenüber anderen netzdienlichen Speichern muss abgeschafft werden – eine Forderung zahlreicher Akteure. Des Weiteren müssen (technische) Lösungen und Regulierungen entwickelt werden, die eine Mehrfachnutzung von Batteriespeichern für Netz- und Energieanwendungen ermöglichen. Beispielsweise geht die heutige ZEV-Regulierung in die richtige Richtung, könnte aber dahingehend ausgeweitet werden, dass ein ZEV-Verbund das Verteilnetz nutzen darf.

---

1 strom.ch  
2 swissolar.ch  
3 swissgrid.ch  
4 bfe.admin.ch  
5 greentechmedia.com  
6 swissgrid.ch  
7 swisscleantech.ch  
8 [https://speicher.aeesuisse.ch/wp-content/uploads/sites/15/2022/06/FESS\\_Roadmap\\_Speicher\\_2\\_220620.pdf](https://speicher.aeesuisse.ch/wp-content/uploads/sites/15/2022/06/FESS_Roadmap_Speicher_2_220620.pdf)  
9 Das «Gutachten zum regulierungsrechtlichen Umgang mit Energiespeichern in der Schweiz» (Simone Walther im Auftrag des Forums Energiespeicher Schweiz, 17. Oktober 2018) behandelt dieses Thema im Detail.

---



# Batteriespeicher werden attraktiv für private Hausbesitzer:innen

Oktober 2022

Noch sind viele Hausbesitzer:innen nicht von den Vorteilen von Batteriespeichern überzeugt. Gezielte Förderung und geeignete regulatorischen Rahmenbedingungen wie die Befreiung von Netznutzungsentgelten könnten das ändern.

**Dr. Marius Schwarz** ist Postdoktorand am Energy Science Center der ETH Zürich, wo er das Nexus-e-Projekt leitet, ein Kooperationsprojekt von vier Lehrstühlen zur Entwicklung einer Modellierungsinfrastruktur für Energiesysteme. Seine Forschung konzentriert sich auf die Rolle der öffentlichen Politik bei der Transformation von Energiesystemen zur Erreichung von Klima- und Energiezielen. Zuvor schloss er seine Promotion unter der Leitung von Prof. Volker Hoffmann an der Gruppe für Nachhaltigkeit und Technologie ab.



Batteriespeicher können Besitzer:innen von Solarstromanlagen helfen, einen höheren Anteil des selbst produzierten Solarstroms zu verbrauchen. So genannte «Solarstromspeicher» nehmen den Anteil von selbst produziertem Strom, der tagsüber nicht gebraucht wird, auf und geben diesen Anteil abends, wenn der Strombedarf steigt, wieder frei. Damit können Solarstromspeicher nicht nur die Profitabilität von Investitionen in PV-Anlagen erhöhen, sondern auch relevante Aufgaben für das zukünftige Energiesystem erbringen: Sie helfen, Stromverbrauch und -produktion – sowohl zeitlich als auch örtlich – zusammenzubringen und unterstützen damit die Integration von neuen erneuerbaren Energien in das Stromsystem. Solarstromspeicher können auch durch das Verringern der Einspeisung das Verteilnetz entlasten.<sup>1</sup>

## **Solarstromspeicher können nicht nur die Profitabilität von PV-Anlagen erhöhen, sondern auch relevante Aufgaben für das künftige Energiesystem erbringen.**

Die «Energieperspektiven 2050+»<sup>2</sup> gehen davon aus, dass bis 2050 70 Prozent der Photovoltaikanlagen mit Solarstromspeichern kombiniert werden. Dass eine Verzehnfachung des heutigen Anteils von 7 Prozent<sup>3</sup> nicht unmöglich ist, zeigt die Entwicklung in Deutschland. Dort werden schon heute 60 Prozent der neuen PV-Anlagen mit Solarstromspeichern kombiniert. In der Schweiz ist dies erst bei 12 Prozent der neu installierten PV-Anlagen der Fall.<sup>4</sup>

Im Folgenden wird diesen beiden Fragen nachgegangen:

- Ist in der Schweiz trotz signifikanter Unterschiede der regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen eine ähnliche Entwicklung wie in Deutschland zu erwarten?
- Wie müssen die politischen Rahmenbedingungen angepasst werden, falls die gesetzten Zielwerte verpasst werden?

## **Attraktivität abhängig von vielen Faktoren**

Während die Entwicklung von Solarstromspeichern von vielen Faktoren abhängig ist, wie z. B. verfügbaren Informationen (durch Installateure), dem Umweltbewusstsein der Investoren und von Nachbarschaftseffekten,<sup>5</sup> steht hier die Profitabilität der Investition in einen Solarstromspeicher im Fokus. Die Haupteinflussfaktoren sind:

- Investitionskosten, welche sich aus den Anschaffungskosten für den Speicher und den Installationskosten zusammensetzen;
- Menge an selbst produziertem Solarstrom, die täglich im Speicher aufgenommen und anschliessend für die Deckung des Strombedarfs des Haushaltes genutzt wird;
- Kosten für den Strombezug aus dem Netz und die Vergütung für die Netzeinspeisung des Solarstroms.

Hinzu kommen

- Wirkungsgrad der Batterie (Wie viel Strom geht bei einem Lade- und Entladevorgang des Speichers «verloren»?);
- Finanzierungskosten (Häufig muss ein Kredit für die Finanzierung des Solarstromspeichers aufgenommen werden.);
- Lebensdauer der Batterie (Die Kapazität einer Batterie verringert sich mit deren Nutzung; ab einem bestimmten Kapazitätsverlust hat die Batterie ihr «Lebensende» erreicht.).

Politische Massnahmen können diese Faktoren beeinflussen. Während es aktuell (noch) keine schweizweiten Subventionen für Solarstromspeicher gibt, bieten einige Kantone eine finanzielle Förderung. So fördert z. B. der Kanton Appenzell Ausserrhoden Solarstromspeicher bis 80 kWh mit einem Grundbetrag von CHF 1'000 und einem Leistungsbetrag von CHF 300 pro kWh.

Eine andere Rahmenbedingung, die Investitionen in Solarstromspeicher indirekt beeinflusst, sind Rückliefertarife, welche die Höhe der Vergütung für das Einspeisen von selbst produziertem Solarstrom in das Verteilnetz festlegen. Während hohe Rückliefertarife die Profitabilität von Investitionen in Solarstromanlagen steigern, verringern sie die Anreize, den Solarstrom selbst zu verbrauchen.

Insbesondere die Differenz zwischen Bezugstarif (Kosten für den Bezug von Strom) und Rücklieferarif ist entscheidend für die Profitabilität von Solarstromspeichern. Sind die Rücklieferarif gleich den Bezugstarifen, wie dies lange in Kalifornien der Fall war,<sup>6</sup> kann das Stromnetz aus

Sicht des Haushalts als virtueller, zu 100 Prozent effizienter und kostenloser Speicher genutzt werden. In der Schweiz legen die Verteilnetzbetreiber den Rücklieferarif fest. Im Durchschnitt beträgt dieser 9,4 Rp/kWh (Stand 2022) pro eingespeiste kWh. Im Vergleich dazu kostet bezogener Strom im Jahr 2022 für Endkonsumenten im Schnitt 21,2 Rappen pro kWh.

### Beispielrechnung zur Profitabilität von Solarstromspeichern

Angenommen der Solarstromspeicher hat eine Kapazität von 13,5 kWh (Grösse der Tesla Powerwall), wird jeden Tag vollständig mit Solarstrom beladen und abends entladen bei einem Wirkungsgrad von 90 Prozent, so können die Stromkosten um

$13.5 \text{ kWh} \times (21,2 \text{ Rp/kWh} - 8,1 \text{ Rp/kWh}) \times 90 \text{ Prozent} = 1,45 \text{ CHF/Tag} = 530 \text{ CHF/Jahr}$

reduziert werden. Hierbei sind die 21,2 Rp/kWh die durchschnittlichen Stromkosten für Endkonsumenten und die 8,1 Rp/kWh die durchschnittlichen Rücklieferarife in der Schweiz.

Rücklieferarife müssen in dieser Rechnung berücksichtigt werden, da ohne den Solarstromspeicher der gespeicherte Strom in das Netz eingespeist und vergütet würde. Über eine Lebensdauer von 10 Jahren (und mit der Annahme, dass Rücklieferarife, Strompreise und Batteriekapazität gleich bleiben) ergibt dies einen Cashflow von 5'300 CHF.

Bei heutigen Investitionskosten von 10'200 CHF für eine Tesla Powerwall (ohne Installations- und Wartungskosten) und Finanzierungskosten von 5 Prozent ergibt sich ein Kapitalwert von -6'100 CHF.

Die Investition in einen Batteriespeicher ist folglich auch in solch einem bewusst unrealistisch günstigen Fall (Speicher werden vor allem im Winter nicht mehr täglich ge- und entladen) nicht attraktiv.

Diese Beispielrechnung veranschaulicht, dass Solarstromspeicher heute selten eine profitable Investition sind. Ein Grund dafür sind vor allem hohe Investitionskosten von rund 1'000 CHF pro kWh<sup>7</sup> (Stand 2021). Hinzu kommen höhere Installationskosten in der Schweiz als in den meisten anderen Ländern.

Doch wie sieht es mit der Entwicklung bis 2050 aus? Wie für die meisten Technologien sinken auch für Solarstromspeicher die Kosten mit zunehmender Produktion aufgrund von Skalen- und Lerneffekten. So sind für Lithium-Ionen-Batterien historisch die Preise mit jeder Verdopplung der Produktionsmenge um rund 15 Prozent gesunken<sup>8</sup>. Von 2010 bis 2020 sind die Preise für «battery packs» (Grundbausteine von Solarstromspeichern) von 668 \$/kWh auf 137 \$/kWh gesunken. Ende letztes Jahres wurden sogar schon Preise unter der 100 \$/kWh Marke gemeldet.<sup>9</sup> Es bleibt jedoch offen, wie sich die Preissenkungen von «battery packs» auf die Marktpreise von Solarstromspeichern auswirken. Für Europa wird angenommen, dass die Preise für Solarstromspeicher auf ungefähr 300 €/kWh bis 2040 sinken werden.<sup>10</sup> «Second Life»-Batterien, wie zum Beispiel von Kyburz, könnten mittelfristig zu weiteren Kostensenkungen führen, sind jedoch heute noch auf einem ähnlichen Preisniveau wie die Tesla Powerwall.<sup>11</sup> Neben den Kosten für Solarstromspeicher werden sich auch andere Faktoren wie Stromkosten und Rücklieferarife bis 2050 verändern.

Am Energy Science Center der ETH Zürich wurden mithilfe der Nexus-e Plattform die Auswirkungen dieser Entwicklungen auf die Verbreitung von Solarstromspeichern untersucht. Dabei wurden Haushalte und die Erhöhung der Eigenverbrauchsquote fokussiert und andere Anwendungen ausgeblendet. Ein Resultat dieser Untersuchung ist, dass unter aktuellen Rahmenbedingungen (und vielen weiteren getroffenen Modell- und Datenannahmen) ein Anteil von 70 Prozent von Photovoltaikanlagen mit Solarstromspeicher bis 2050 nicht erreicht wird, sondern ein Anteil von 45 bis 55 Prozent (abhängig von angenommenen Investitions- und Finanzierungskosten) wahrscheinlich ist. Dies würde einer Gesamtkapazität von 7 GWh Solarstromspeichern bei 18 GWp installierter PV-Anlagen entsprechen.

## Nützliche Alleskönner – aber Zielerreichung ist schwer

Welche Möglichkeiten zur Anpassung der politischen Rahmenbedingungen gibt es, um das Ziel von 70 Prozent Photovoltaikanlagen mit Solarstromspeicher zu erreichen? Am Energy Science Center wurden unter anderem die Auswirkungen von zwei Massnahmen getestet: Rückliefer-tarife und Einmalvergütung.

### Rückliefer-tarife

Wie zu Beginn angenommen zeigen auch diese Modell-ergebnisse, dass hohe Rückliefer-tarife den Anteil von Solarstromspeichern verringern. Eine Erhöhung der Rück-liefer-tarife von 8,1 Rp/kWh um 50 Prozent verringert den Anteil von Solarstromspeichern von 50 auf 42 Prozent. Zudem zeigt sich, dass nur wenn der Rückliefer-tarif auf 0 Rappen gesetzt wird, in dem Modell ein Anteil von 70 Prozent Solarstromspeicher erreicht wird.

Aber Vorsicht: Dieser Anteil ergibt sich nicht aufgrund einer höheren Anzahl installierter Solarstromspeicher (Die installierte Kapazität bleibt nämlich gleich.), sondern aufgrund der geringeren Menge installierter Photovoltaik-Anlagen. Der Effekt von Rückliefer-tarifen auf Solarstrom-speicher ist daher nicht trivial. Niedrige Rückliefer-tarife erhöhen die Profitabilität von Solarstromspeichern, aber verringern die Profitabilität der Solarstromanlagen.

### Einmalvergütung

Ähnlich wie für Photovoltaikanlagen (und weitere er-neuerbare Energien) wäre eine Einmalvergütung für Solarstromspeicher eine mögliche Massnahme, um Solarstromspeicher zu fördern (wie bereits von mehreren Kantonen umgesetzt). Das Modell untersucht Einmal-vergütungen, welche die Investitionskosten um bis zu 30 Prozent reduzieren. Es zeigt sich jedoch, dass selbst mit einer solch starken Subventionierung die installierten Kapazität von Solarstromspeichern nur auf etwas mehr als 60 Prozent ansteigt.

Gemäss unserer Untersuchung ist ein Anteil von 70 Pro-zent Solarstromspeichern bei PV-Anlagen auch unter vor-teilhaften politischen Rahmenbedingung nur sehr schwer zu erreichen.

## Batteriespeicher für mehrere Anwendungen könnten schon heute profitable Investitionen sein – ganz ohne staatliche Subventionierung.

Bis hierhin wurde jedoch ein wichtiger Aspekt vernach-lässig: Solarstromspeicher können neben der Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils auch für weitere Anwendun-gen genutzt werden, wie zum Beispiel eine Teilnahme am Regelenergiemarkt, Bereitstellung von Netzdienstleis-tungen oder Arbitrage bei dynamischen Strompreisen.<sup>12</sup> Batteriespeicher, die für mehrere Anwendungen genutzt werden, könnten auch schon heute profitable Investiti-onen sein, ganz ohne staatliche Subventionierung.<sup>13</sup> Vor allem über den Zusammenschluss zu virtuellen Kraftwer-ken<sup>14</sup> können Batteriespeicher Spitzenlasten reduzieren und lokale kritische Netz-situationen oder Netzengpässe im Übertragungs- und Verteilnetz begrenzen.

## Gleiche Spielregeln für alle

Bisher verhindern regulatorische Vorgaben jedoch eine Nutzung der verschiedenen möglichen Anwendungen von Solarstromspeichern. Insbesondere eine Befreiung von Netznutzungsentgelten (wie für Pumpspeicherkraftwerke) wäre eine wichtige Voraussetzung. Schon seit Längerem wird gefordert, dass alle Speicher (technologieneutral) von Netznutzungsentgelten befreit werden sollten. Dies wurde jedoch bisher mit der Begründung abgelehnt, dass eine Befreiung einen netzdienlichen Einsatz der Speicher voraussetzt; bisher soll dies bei dezentralen Speichern nicht immer der Fall sein.

Bei Pumpspeicherkraftwerken fallen Preismechanismen im Strommarkt mit netzdienlichem Verhalten zusammen, da Grosshandelspreise ein geeigneter Indikator für den Zustand im Übertragungsnetz sind. Das Laden und Entladen von dezentralen Speichern verbessert jedoch nicht immer den Zustand im Verteilnetz, zum Beispiel wenn der Speicher bereits vor den Mittagsstunden voll geladen ist. Des Weiteren ist der Einsatz von Solarstromspeichern für das Engpassmanagement in Verteilnetzen heute noch oft erschwert durch die geringe Anzahl von installierten Messsystemen und dadurch einem unbekanntem Netzzustand. Neben den regulatorischen Vorgaben braucht es mehr Forschung zu den weiteren Einflussfaktoren für Solarstromspeicher: So ist z. B. ein wichtiger Faktor das Zusammenspiel zwischen stationären (Solarstromspeicher) und mobilen Batteriespeichern (E-Fahrzeuge). Werden diese harmonieren oder werden Letztere den Nutzen von Bat-

teriespeichern kannibalisieren? So könnten Elektroautos, welche als Zweitauto angeschafft werden und dadurch hohe Standzeiten zu Hause haben, den selbst produzierten Solarstrom speichern und einen weiteren – stationären – Batteriespeicher überflüssig machen. Ein anderer Bereich, welcher noch mehr Forschung benötigt, ist die Rolle von Solarstromspeichern in Quartierstromlösungen. So erhöht z. B. der Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV)<sup>15</sup> den Eigenverbrauchsanteil von Solarstrom – auch ohne Batteriespeicher.

## Monetäre Anreize sind nicht alleine entscheidend für Haushalte, um in Batteriespeicher und generell nachhaltige Technologien zu investieren.

Schliesslich ist nochmal zu betonen, dass monetäre Anreize nicht alleine entscheidend sind für Haushalte, um in Batteriespeicher und generell nachhaltige Technologien zu investieren. Daher ist fraglich, ob alleine höhere Subventionen und weitere Anwendungsbereiche zu einem grösseren Anteil von Solarstromspeichern führen. Genauso wichtig könnte eine Informationskampagne sein, um zu vermitteln, dass Solarstromspeicher ein wichtiger Baustein für den Weg hin zu einer erneuerbaren, dezentralen und sicheren Energieversorgung sind.

---

1 vgl. auch den Beitrag «Wie Batteriespeicher «netzdienlich» werden» in diesem Compendium  
2 Energieperspektiven 2050  
3 Swissolar  
4 BFE  
5 iopscience.iop.org  
6 cpuc.ca.gov  
7 cleanenergyreviews.info  
8 nature.com  
9 about.bnef.com  
10 publications.jrc.ec.europa.eu  
11 kyburz-switzerland.ch  
12 vgl. Beitrag «Netzdienlichkeit» in diesem Compendium  
13 nature.com  
14 z. B. sonnengroup.com  
15 pubdb.bfe.admin.ch

---



# Ein intelligentes Energie- und Lastmanagement für Wohngebäude

Oktober 2022

Speicher in Wohngebäuden übernehmen verschiedene Rollen: Sie erhöhen den Grad der Eigenversorgung und ermöglichen einen netzdienlichen Betrieb. Der folgende Beitrag ist ein «Werkstattbericht» aus der Praxis.

**Thomas Nordmann** beschäftigt sich als einer der Schweizer Solarpioniere seit 1974 mit der konsequenten Nutzung der Sonnenenergie und der rationellen Energienutzung. 1985 gründete er die TNC Consulting AG, die schon 1989 die weltweit erste 100kW-Photovoltaikanlage auf den Schallschutzmauern entlang der Autobahn A13 bei Chur konzipierte, plante und errichtete. Seit 2010 ist die TNC Consulting AG zusammen mit der Tochterfirma Effienergie AG in Zürich mit dem Vollzug des nationalen Gebäudeprogrammes für 13 Kantone und fünf ProKW Stromeffizienz-Programmen befasst. Er ist dreifacher Gewinner des Schweizer Solarpreises (1994, 1998 und 1999) und Träger des Europäischen Solarpreises 1997. Thomas Nordmann ist Sprecher der Wirtschaft des Forums Energiespeicher Schweiz und vertritt die Initiative im Vorstand der aeesuisse.



Dank Photovoltaik werden Wohngebäude vom Energieverbraucher zum Prosumer. Damit vereint ein modernes Gebäude:

- Energieeffizienz
- clevere PV-Erzeugung
- thermisches Energiemanagement und Speicher
- Elektromobilität und Batteriespeicher

Der Einsatz eines intelligenten Energie- und Lastmanagements als «Mastermind» innerhalb des Gebäudes regelt und optimiert die PV-Erzeugung und den Stromverbrauch. Das Management vorhandener Lasten kann dazu beitragen, den Bedarf an zusätzlicher Speicherung mittels heute noch teuren Batterien zu reduzieren, gleichzeitig Eigenverbrauch und Netzdienste zu optimieren und so den möglichen PV-Ertrag zu erhöhen.

## Immer mehr Strom

Um eine hohe nationale PV-Marktdurchdringung zu ermöglichen, ist der Wohngebäudebestand zu berücksichtigen. In der Schweiz ist die Nachfrage dieser Energieverbraucher verantwortlich für über 50 Prozent des nationalen Energieverbrauchs – einschliesslich des Energieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und private Mobilität (heute noch mehrheitlich mit fossil betriebenen Autos). Eine grosse installierte PV-Leistung erzeugt im Sommer einen Stromüberschuss, in drei Wintermonaten bleibt allein mit Photovoltaik noch eine unvollständige Versorgungssituation.

Die Schweiz und viele andere Länder elektrifizieren das Energiesystem weiter: Fossile Heizungen werden auf elektrische Wärmepumpen und die Mobilität auf elektrische Antriebe umgestellt.

Damit kommen zusätzliche Stromverbraucher zur bisherigen Nutzung von Elektrizität in Wohngebäuden für Beleuchtung, Kochen, Wäsche, Lüftung, Telekommunikation und andere elektrische Geräte hinzu. Ein ideales PV-Wohngebäude hat einen maximalen PV-Anteil am Gesamtenergiebedarf, also einen maximalen Eigenstromverbrauch. Um die Photovoltaik wirtschaftlich zu nutzen und gleichzeitig einen netzfreundlichen Betrieb durch ausgeglichenen Stromverbrauch zu gewährleisten. Spitzen und Überlastsituationen müssen vermieden werden. Eine zusätzliche Herausforderung liegt darin, dass der Gebäudebestand der Schweiz (ca. 2,3 Mio. Gebäude) nicht zurückgebaut und neu errichtet, sondern möglichst nachgerüstet werden soll.

## Immer mehr Koordination

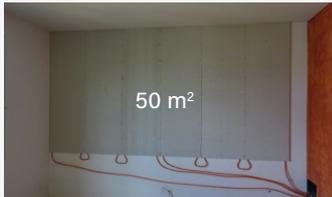
Heute bestehen viele verschiedene Elektro-, Öl- und Gasverbraucher im Gebäude mit individuellem Steuerungssystem. Diese Systeme sind untereinander nicht koordiniert oder harmonisiert, um eine PV-freundliche Nachfrage bei minimaler Interaktion mit dem Stromnetz zu gestatten. Für einen reibungslosen Übergang zu einem fast 100 Prozent erneuerbaren Stromversorgungssystem ist entscheidend, dass die zusätzlichen Investitionen in das Stromnetz kostenoptimal erfolgen.

Seit sechs Jahren entwickeln, testen und optimieren die TNC ein intelligentes System zur Vernetzung von Photovoltaik, E-Mobilität, Wärmepumpe und Stromnetz. Ein 1999 im Kanton Zürich gebautes Minergiehaus mit dem Zertifikat Nr. 64 wurde nach 15 Betriebsjahren ausgebaut und ergänzt und so für die Haustechnik 2.0 fit gemacht. Es wird für die Erprobung des neu entwickelten System TNC. ALL verwendet. 2014 wurde die Gaskondensationsheizung durch eine Wärmepumpen-Erdregister-Heizung ersetzt. Die thermische Leistung der Wärmepumpe beträgt max. 8 kW, die Stromaufnahme max. 2,5 kW. Für den Wärmebezug reicht eine Erdsonden-Bohrung mit 200 m Tiefe. Die Leistung der Photovoltaikanlage wurde von 3 auf 6 kW verdoppelt. Die Verteilung, ursprünglich als kontrollierte Wohnungslüftung und Heizung realisiert, wurde durch eine Wandheizung mit einer Oberfläche von total 50 m<sup>2</sup> ergänzt. Zur Erprobung der Elektromobilität steht ein Elektromobil mit einem elektrischen Speicher zur Verfügung.

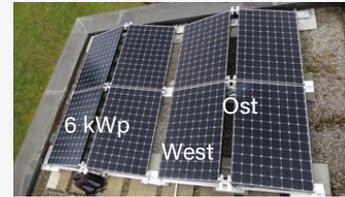
**Mit der Koordination der energetischen Gewerke und lokaler Speicherung im Gebäude erzeugen wir mit PV künftig während 8 Monaten ca. 50 Prozent des Energiebedarfs.**

Projekt am:  
**Minergie EFH Nr. 64**  
**Baujahr 1999**

257 m<sup>2</sup> EBF Erlenbach Zürich



Modernisiert 2014



Strom- und Wärmespeicher im Smart Home

## Welche energetischen Speicher im Smart Home?

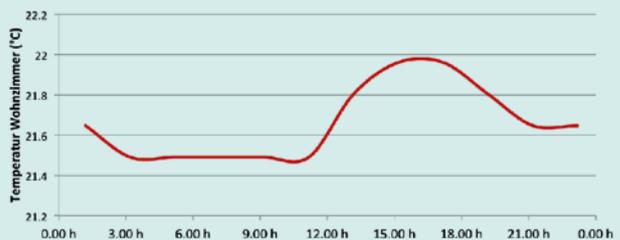
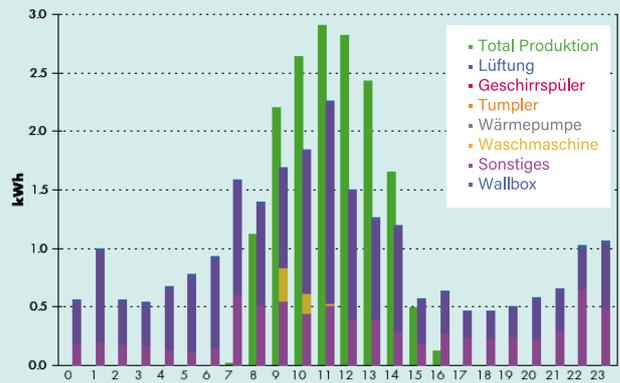
Im hier beschriebenen Objekt geht es um den Brauchwasserspeicher mit 220 Liter Volumen (ca. 8 kWh<sub>th</sub>). Durch die individuelle Raumregelung kann die Gebäudemasse aufgeladen durch die Wandheizung als thermoaktiver Speicher eingesetzt werden. Es wurde ein Speichervermögen von 40 kWh<sub>th</sub> pro Grad Kelvin ermittelt. Das Elektrofahrzeug verfügt mit 75 kWh<sub>el</sub> über eine Reichweite auf der Strasse von 450 km. Zusätzlich wurde im späteren Projektverlauf eine lokale Batteriespeicherung von 8, später 16 kWh<sub>el</sub>, für die Überbrückung Tag/Nacht eingesetzt.

## Wandheizung als thermoaktiver Speicher

Mit vorgefertigten Heizelementen wurde jeweils eine Wand pro beheiztem Raum belegt. Man verliert so nur 2,5 cm Raumtiefe. Nach dem Wiederverputz ist der Unterschied nicht erkennbar.

Tagsüber wird die Raumtemperatur mit dem PV-Strom und der Wärmepumpe von 21,5 auf bis zu 22 °C angehoben. Das erlaubt, die Wärmepumpe am Abend und nachts ganz auszuschalten, und das isolierte Gebäude kühlt nur langsam von 22 °C auf immer noch komfortable 21,5 °C ab. Um die gleiche Energiemenge in das Gebäude einzubringen, sind 40 bis 45 kWh<sub>th</sub> notwendig oder 10 kWh elektrische Energie für den Betrieb der Wärmepumpe in der Nacht.

## Auswertungen der Messungen im TNCALL Pilotheus



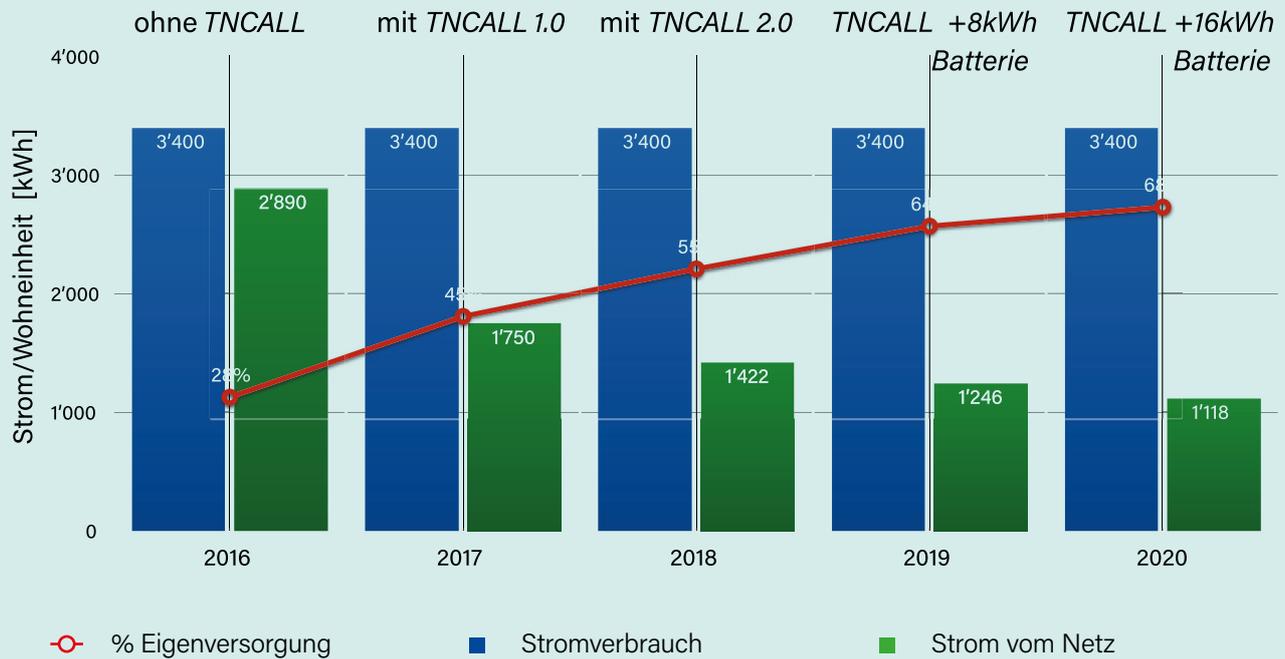
### PV-optimierter Wärmepumpenbetrieb - Tagesbeispiel 31.10.2017

- PV-Ladung bei gleichzeitiger Kontrolle der Raumtemperaturen
- Th. Speichermasse Gebäude: 40 - 45 kWh /°K
- $\Delta$  10 kWh el. Speicher
- int. Warmwasserbereitung: + 2.5 kWh<sub>el</sub> / 8 kWh<sub>th</sub>

Mit diesen und weiteren Massnahmen konnte der Netzbezug mit gleicher Haustechnik beim Bedarf von 3'400 kWh (2016) schrittweise von 2'890 auf 1'120 kWh (2020) reduziert werden. Gleichzeitig wurde der Eigenversorgungsgrad bei gleicher Haustechnik von 28 auf knapp 70 Prozent gesteigert.

## Optimierung Eigenverbrauch und Energie Effizienz

Messungen ▪ 5 Monate März - Juli



### Mehr Vernetzung und Denken in Systemen gefordert!

Für einen hohen PV-Marktanteil von 50 bis 90 Prozent ist ein koordinierendes Leitsystem erforderlich, um unwirtschaftliche Überinvestitionen in das Stromverteilnetz sowie in die lokalen Installationen zu vermeiden.

Hier braucht es neue und bessere Rahmenbedingungen für die intelligente Vernetzung der Photovoltaik, der Elektromobilität, der Speicher und der Wärmepumpen – im Gebäude, im Areal und im Verteilnetz (Netzebene 7).

**Batterien brauchen wir so wenige wie möglich und gleichzeitig so viele wie nötig. Wo wir Speicherung thermisch lösen, ist das ökonomischer. Gleichzeitig ist Strom für Licht, Kraft und EDV nicht substituierbar**

Dies führt zu drei Schlussfolgerungen:

1. Mit der Koordination der energetischen Gewerke im Gebäude erzeugen wir alleine mit PV zukünftig während 8 Monaten des Jahres (März/April bis Oktober/November) bis zu 50 Prozent des Schweizer Energiebedarfs. Dieser wird stark reduziert und netzdienlich gemacht!
2. Lokale elektrische Speicher (Batterien) brauchen wir so wenige wie möglich und gleichzeitig so viele wie nötig. Überall dort, wo wir das «Speicherproblem» thermisch lösen können, ist das ökonomisch vorteilhaft. Gleichzeitig ist Elektrizität für die Anwendungen Licht, Kraft und Kommunikation nicht substituierbar.
3. Es braucht die koordinierte Entwicklung von der Netzebene 1 «top down» und von Netzebene 7 «bottom up».

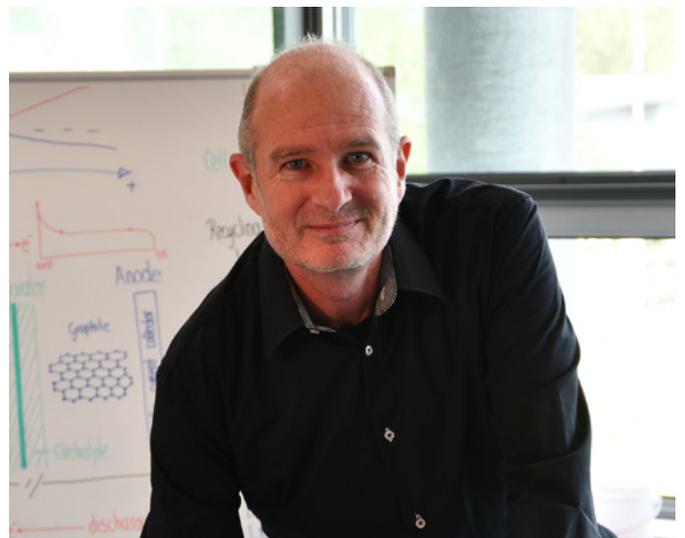


# Batterien: So schlecht wie ihr Ruf?

Oktober 2022

Batterien erlauben die Nutzung von erneuerbarer Energie in der Mobilität und in Elektrizitätsnetzen. Trotzdem ist ihr Ruf hinsichtlich ihrer Ökobilanz zweifelhaft. Was ist dran?

**Marcel Gauch** untersucht am Technology & Society Lab der Empa Fragen zur Nachhaltigkeit von heutigen und zukünftigen Technologien und ist Nachhaltigkeitsdelegierter der Empa. Der Fokus liegt auf Studien für öffentliche und private Institutionen zu Ressourcen, Energie und Mobilität. Er kann auf praktische Erfahrungen als Maschineningenieur in der Umwelttechnologiebranche und als Berater für Umwelt- und Energietechnologien im Nord-Süd-Kontext zurückgreifen. Seine speziellen Interessen liegen bei zukünftigen Energie- und Mobilitätsoptionen unter Anwendung von Methoden zur Betrachtung des gesamten Lebenswegs.



Elektrische Energiespeicher – insbesondere Batterien – werden trotz breitem Einsatz in tragbaren Geräten wie Handys als problematisch wahrgenommen. Sie gelten als umweltschädlich, gefährlich und teuer. Doch was bleibt bei nüchterner Betrachtung von dieser Skepsis übrig? Nobelpreisträger John Goodenough gilt als Vater des Prinzips heutiger Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion-Batterien). Die ersten kommerziellen Batterien dieses Typs verwendeten 1991 reines Cobaltoxid als Kathodenmaterial. Heute kommen Mischungen aus verschiedenen Metallen, meist Nickel, Mangan und Cobalt, zum Einsatz. Beim Material für die Anode wird seit den Anfängen hauptsächlich Graphit verwendet, in letzter Zeit teilweise mit Silizium angereichert.

## **Rohstoffe werden kritischer betrachtet, wenn diese für aufkommende neue Technologien eingesetzt werden.**

Eine «gute» Batterie zeichnet sich in erster Linie durch eine hohe Speicherkapazität im Verhältnis zu ihrem Gewicht oder Volumen aus (gravimetrische und volumetrische Energiedichte). Doch es muss eine ganze Reihe weiterer Kriterien erfüllt sein: eine schnelle Lade/Entladefähigkeit, eine lange Lebensdauer bis zum Nachlassen der Kapazität (Anzahl Ladezyklen), eine hohe Betriebssicherheit unter allen Umständen sowie Recycling-Tauglichkeit. Und natürlich: Die für die Batterie benötigten Elemente sollten möglichst unkritisch sein (Verfügbarkeit, Toxizität, Preis), bei der Bereitstellung der Rohstoffe und beim Bau der Batterie muss auf Umweltverträglichkeit geachtet werden.

## **Die Ökobilanz von Batterien**

Bei Diskussionen über die Problematik von Batterien tauchen Stichworte auf wie Materialverfügbarkeit, Kinderarbeit in Afrika, Wasserprobleme in den Anden, grosser CO<sub>2</sub>-Rucksack, brennende Fahrzeuge, mangelhaftes Recycling. Dieser Artikel konzentriert sich auf Material- und Umweltaspekte moderner Batterietechnologie. Schliesslich scheint der Bedarf an Rohstoffen für künftige Speicheranforderungen der E-Mobilität und Elektrizitätsnetze gewaltig und kaum zu decken.

Ökobilanzen helfen bei der Beurteilung von Produkten über ihren gesamten Lebensweg – von der Gewinnung der Rohstoffe über die industrielle Herstellung des Produkts und die Nutzung bis zum Recycling. Recherchen über die Energie- und Rohstoffbilanz für die Herstellung von Li-Ion-Batterien zeigen eine enorme Streubreite, entsprechend kommen Ökobilanzanalysen zu ganz unterschiedlichen Resultaten. In letzter Zeit zeichnet sich jedoch ab, dass Analysen mit schlechten Ökobilanzwerten auf unrealistischen Annahmen beruht haben. Die bekannte «Schwedenstudie»<sup>1</sup> oder die Arbeiten mit hohen Werten aus Norwegen<sup>2</sup> etwa wurden zwischenzeitlich durch die Autoren selbst aktualisiert<sup>3</sup>, Ökobilanzresultate aus verschiedenen Quellen liegen nun recht einheitlich in einem tieferen Bereich.

Der umstrittene Ruf von Batterien hat auch mit einer interessanten Wahrnehmung über die Problematik gewisser Materialien zu tun: Rohstoffe gelten eher als unproblematisch, wenn sie traditionell seit langer Zeit (wie Stahl, Blei, Erdöl) eingesetzt werden. Hingegen werden Rohstoffe kritischer betrachtet, wenn diese für aufkommende neue Technologien eingesetzt werden. In Li-Ion-Batterien gibt es nebst gut bekannten Elementen (wie Kupfer und Aluminium) auch einige «ungewohnte» Elemente, welche entsprechend kritisch beurteilt werden.

## Mehr als Lithium

Lithium-Ionen-Batterien scheinen aus heutiger Sicht alternativlos, gibt es doch kein elektronisches Gerät (Handy, Laptop) und kein E-Auto mehr ohne diese. Dabei macht das Element Lithium nur ca. 2 Prozent der Masse einer Batterie aus – der Name der Technologie ist deshalb etwas irreführend. Die Lithium Ionen sind jedoch als Ladungsträger bestimmend für die Funktion. Lithium hat als drittes Element des Periodensystems (nach Wasserstoff und Helium) den Vorteil, das leichteste Metall des Periodensystems zu sein bei gleichzeitig höchstem elektrochemischen Potenzial. Schon rein theoretisch ist die Favoritenrolle damit klar: Höchste Spannung bei geringstem Gewicht gibt es bei Lithium. Die Frage der Umweltfreundlichkeit von Lithium wird kontrovers diskutiert, verglichen mit anderen Rohstoffen zeigt sich aber keine besondere Problematik bezüglich Vorkommen, Produktionsaufwand und Toxizität.

## Batterien können auch andere Ladungsträger als Lithium enthalten.

Tatsächlich kommen auch andere Elemente in Betracht mit vielversprechenden Eigenschaften und – in jüngster Zeit – beeindruckenden nachgewiesenen Leistungen. Das Grundprinzip ist einfach, die Umsetzung schwierig ... man muss «nur» zwei Partner mit möglichst verschiedenem elektrochemischen Potenzial finden (hohe Spannung), welche sich über lange Zeit (Zykluszahl) unter allen Umständen (hoher möglicher Lade- und Entladestrom, Temperatur) gut mit den harten Arbeitsbedingungen in einer Batteriezelle vertragen. Beispielsweise werden im Labor- und Pilotmasstab Batterien gebaut mit anderen Ladungsträgern als Lithium-Ionen (z. B. Natrium, Magnesium, Aluminium), aus geschmolzenen Salzen (z. B. Natrium-Nickelchlorid), aus geschmolzenen Metallen (z. B. Calcium-Antimon), aus Schwefel oder einfach aus Eisen (z. B. metallisches und oxidiertes Eisen). Ein Fokus liegt auf dem Ersatz von heute üblichen flüssigen organischen Elektrolyten durch nicht-brennbare feste Stoffe. Weil Alternativen erst in einer frühen Entwicklungsphase sind, werden Lithium-Ionen-Batterien wohl noch für längere Zeit die Technologie der Wahl für anforderungsreiche Anwendungen sein. Alternativen sind bezüglich Ökobilanzen und Kosten in Anwendungen wie stationären Stromspeichern aber sehr vielversprechend für die Zukunft.

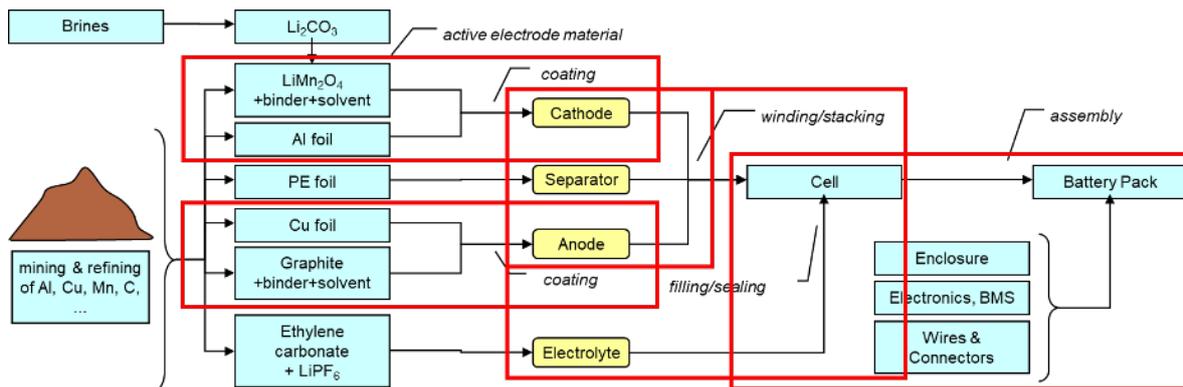
- 
- 1 Romare, Dahllöf; The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries; Report number C 243; IVL Swedish Environmental Research Institute 2017
  - 2 Ellingsen et.al.; 2017; Identifying key assumptions and differences in life cycle assessment studies of lithium-ion traction batteries with focus on greenhouse gas emissions: Transportation Research Part D (2017) 82-90; DOI 10.1016/j.trd.2017.06.028
  - 3 Emilsson, Dahllöf; Lithium-Ion Vehicle Battery Production; Report number C 444; IVL Swedish Environmental Research Institute 2019
-

## Mehr als Elektrochemie

Der Erkenntnisfortschritt über die elektrochemischen Prozesse in Batterien ist beachtlich. Die Leistungsfähigkeit hat mit neuen Materialkombinationen deutlich dazugewonnen, einhergehend mit einer dramatischen Kostenreduktion und Verbesserung der Qualität sowie Erhöhung der Lebensdauer. Aber nicht nur die eigentliche Zellchemie ist entscheidend, sondern auch der komplette Weg von der Beschaffung der geeigneten Rohstoffe bis zur Herstellung der einbaufertigen Batterie.

### Weniger «Verpackung», Ballast abstoßen

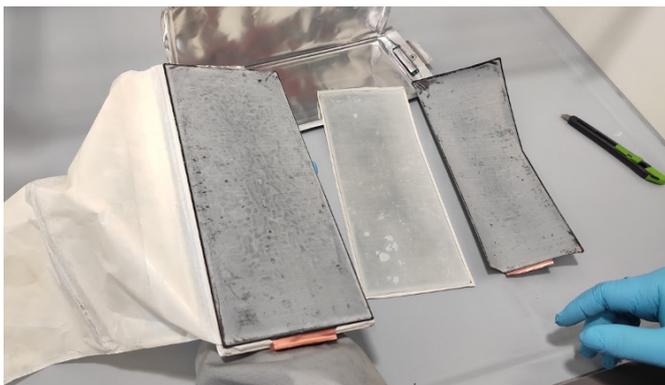
In einer Batteriezelle sind nur die sogenannten aktiven Schichten entscheidend für die Energiespeicherung. Auf der negativen Seite (Minus-Pol) der Batterie ist diese aktive Schicht zu praktisch 100 Prozent aller Batterien das Material Graphit, aufgebracht auf eine dünne Kupferfolie. Die aktive Schicht der positiven Seite (Plus-Pol) besteht aus einem Metalloxid, aufgebracht auf eine dünne Aluminiumfolie. Die beiden Pole werden durch eine ionendurchlässige Folie voneinander getrennt, um einen Kurzschluss zu vermeiden. Die Schichten werden durch ein leitfähiges Medium (Elektrolyt) miteinander verbunden, in eine beliebige Form gebracht (rund oder flach geschichtet) und durch eine Verpackung geschützt. Je mehr nicht-aktiven Ballast man aus einer Batteriezelle entfernen kann, desto höher ist die Energiedichte. In anderen Worten: Je dünner die Metallfolien, je weniger Elektrolyt und je leichter die Verpackung, desto mehr Energie kann die Zelle speichern im Verhältnis zu ihrem Gewicht. Berücksichtigt werden müssen die Robustheit und Langlebigkeit, das Verbesserungspotenzial ist somit beschränkt.



Produktionsschritte einer Lithium-Ionen-Batterie

### Innovative Prozesse

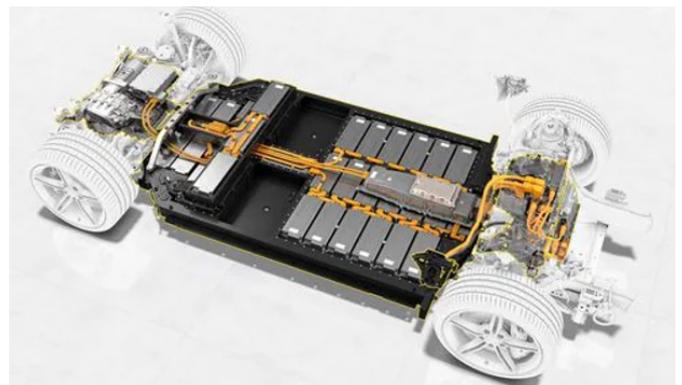
Die heute übliche Herstellung von Batterien ähnelt stark dem Buchdruck: Zähflüssige Mischungen aus verschiedenen Materialien werden hergestellt (Elektrodenmaterial), dann auf ein Trägermaterial (Metallfolien) aufgebracht und getrocknet. Verschiedene Schichten werden anschliessend gefaltet oder aufgerollt und in einer Schutzhülle verpackt. Vielversprechende Ansätze verbessern den Misch- und Homogenisierungsprozess und können das Elektrodenmaterial lösungsmittelfrei auftragen, wodurch vollständig auf thermische Energie für die Trocknung und Lösungsmittelrückgewinnung verzichtet werden kann. Das «Antrainieren» der Materialien an die Funktion als Energiespeicher kann mit wenig elektrischem Energieaufwand durch pendelartige Lade- und Entladeprozesse vorgenommen werden. Der Energiebedarf für die moderne Produktion der Batteriezellen kann dadurch deutlich gesenkt werden, in Kombination mit dem Einsatz erneuerbarer Elektrizität würden die produktionsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen dramatisch reduziert.



Innenleben einer Batteriezelle für ein Elektroauto (Beispiel Renault Zoe)

### Verarbeitung der Zellen zu einer kompletten Batterie

Üblicherweise werden Batteriezellen zu Modulen und diese Module zu einer kompletten Batterie verarbeitet. Bei Batterieproblemen wurde bisher ein Austausch von einzelnen Modulen vorgesehen, was sich im Alltag jedoch dank wenigen Ausfällen als kaum je notwendig erwiesen hat. Neuere Trends verzichten daher auf Module, sondern verbinden sämtliche Zellen zu einer kompletten Batterie. Dadurch wird Komplexität reduziert sowie in Kombination mit verbessertem Temperaturmanagement auch Bauvolumen und Gewicht eingespart. Bei geschickter Konstruktion kann die Batterie sogar zur Erhöhung der Verwindungsfestigkeit des Fahrzeuges eingesetzt werden, wodurch wiederum Gewichtseinsparungen am Fahrzeug-Chassis möglich werden (z. B. BYD, Tesla). Das Verbesserungspotenzial ist hoch, es muss aber beachtet werden, dass mit der hochintegrierten Bauweise dennoch eine hohe Recycling-Fähigkeit der Batterie gegeben ist.



Traktionsbatterien werden meist schwerpunktünstig im Fahrzeugboden verbaut

## Raum für Forschung und Entwicklung

Es brodelt in der Wissenschaft und der Wirtschaft: Meldungen in kurzem Rhythmus zeigen die Dynamik der Batterieentwicklung sowohl in der Grundlagenchemie als auch bei den Konstruktions- und Herstellungstechnologien.

Radikale Visionen über zukünftige, von heutigen Prinzipien abweichende Batterien lassen aufhorchen. Dieser Kreativität sollte Raum gelassen werden, keinesfalls sollte zu früh mit regulatorischen Massnahmen wie Normen oder Standardisierungen eingegriffen werden. Ein innovations- und investitionsfreundliches politisches Umfeld in der Schweiz sollte dazu beitragen, das Feld elektrischer Energiespeicher führend mitgestalten zu können.

Auf der anderen Seite muss frühzeitig damit gerechnet werden, dass mit dem Ausbau erneuerbarer Energiesysteme der Bedarf an Speichern massiv steigen wird, um gleichzeitig die Ziele der Klimapolitik und eine stabile Energieversorgung zu erreichen. Dies bedeutet eine vorausschauende Planung, bei der aus Sicht des Gesetzgebers Aspekte wie Ressourcenverfügbarkeit, CO<sub>2</sub>-arme Produktionsweise und hohe Anforderungen an die Recycling-Fähigkeit eine Rolle spielen müssen. Elektrische Speicher können einen wichtigen Beitrag für ein nachhaltigeres Energiesystem leisten, Potenziale für Reduktionen der Umweltbelastung sind vorhanden und sollen mit Unterstützung der Politik genutzt werden.

## Die wichtigsten Rohstoffe in heutigen Li-Ion-Batterien

Rohstoff	Merkmale in Klammern: aktuelle Herausforderungen für eine nachhaltige Gewinnung	Verwendung in üblichen Lithium-Ionen-Batterien
Lithium Li	Gewinnung hauptsächlich aus Oberflächenminen in Australien (Landverbrauch, Landschaftsbild, Biodiversität) und aus Salzseen in den Anden (Wasserverbrauch, seltene Flamingos). Die Produktion ist einfach und günstig. Die Li-Vorkommen werden kontrovers diskutiert. Im Meerwasser gibt es sehr grosse Reserven, die Konzentration ist jedoch tief im Unterschied zu den festen (Minen) und flüssigen (Salzseen) Lagerstätten.	Li ist der eigentliche Ladungsträger, welcher die Funktion bestimmt. Li-Ionen werden beim Laden in die Anode, beim Entladen in die Kathode integriert. Die Masse an Lithium beträgt nur etwa 2 Prozent im Verhältnis zur Masse der Batteriezelle.
Cobalt Co	Gewinnung hauptsächlich aus Oberflächenminen in der Demokratischen Republik Kongo (Kinderarbeit, Kontrolle durch militärische Gruppierungen, Arbeitsbedingungen). Die Verarbeitung ist aufwändig (thermische und elektrolytische Prozesse mit hohem Chemikalien- und Energiebedarf).	Co ist in Form von Cobaltoxid ein Bestandteil der Kathode. Früher war der Anteil hoch, heute sind auch Co-freie Batterien möglich.
Kupfer Cu	Kommt aus Minen verschiedener Kontinente, wird im Kongo zusammen mit Cobalt gefördert, die Verarbeitung ist ähnlich aufwändig. Gilt trotz hoher Umweltbelastung als unkritisch, wahrscheinlich weil das Metall schon lange bekannt und weit verbreitet ist.	Trägerfolie der Anode
Aluminium Al	Das Aluminium-Erz Bauxit wird in grossen Mengen in verschiedenen Ländern gefördert. Das Element kommt häufig vor und ist unproblematisch, die Produktion ist jedoch sehr energieintensiv.	Trägerfolie der Kathode. Bei NCA Zellen von Tesla auch Bestandteil der Kathode
Nickel Ni	Wie Kupfer ist Nickel ein altbekanntes Metall mit ähnlichem Vorkommen und ähnlich aufwändiger thermischer und chemischer Aufbereitung. Es wird vorwiegend für die Legierung von Stahl verwendet. Auf viele Menschen hat Nickel die Wirkung eines Allergens.	Bestandteil der Kathode
Mangan Mn	Mangan wird wie Nickel vorwiegend zur Legierung von Stahl verwendet. Es kommt häufig vor in der Erdkruste und gilt als unkritisch.	Häufiger Bestandteil der Kathode
Eisenphosphat FePO4	Aus dieser Verbindung kann ein Kathodenmaterial hergestellt werden, welches häufig in grossen schweren Fahrzeugen (Busse, Lastwagen), zunehmend jedoch auch in Personenwagen eingesetzt wird. Die Energiedichte ist geringer als bei Li-Ion-Batterien mit Kathoden aus Metalloxiden, die Zellen gelten jedoch als robust und langlebig.	Bestandteil der Kathode
Graphit C	Graphit ist eine Erscheinungsform von Kohlenstoff. Im Unterschied zu anderen Kohlenstoffverbindungen wie Kohle oder Diamant ist Graphit blättchenförmig angeordnet. Natürliches oder künstlich hergestelltes Graphit bildet die Anode, zwischen den Schichten können sich Lithium-Ionen einlagern. Kohlenstoff wird auch für die Verbesserung der Leitfähigkeit eingesetzt.	Anodenmaterial bei praktisch allen Li-Ion-Batterien.



# Batterie-Recycling: eine Positionsbestimmung

Oktober 2022

Tatsachen und Meinungen treffen aufeinander beim Thema «Recycling von Batterien». Viele Fragen tauchen auf, einfache Antworten sind schwierig. Deshalb versuchen wir hier eine Bestandsaufnahme aus dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit.

**Olivier Groux** ist Leiter der Batterieabteilung bei KYBURZ Switzerland AG. Er ist verantwortlich für die Prozessentwicklung und die erfolgreiche Implementierung eines direkten Recycling-Prozesses zur Trennung der verschiedenen Komponenten von gebrauchten Lithiumbatterien ohne chemische Behandlung. Seine Forschung und Entwicklung durfte er an Fachpräsentationen wie die Green Battery Conference, EV Battery Recycling & Reuse präsentieren und war Teil der EU finanzierten re-sourcing.eu Plattform sowie der EU Raw Materials Week in Brüssel.

Zuvor arbeitete er als Chemielaborant und spezialisierte sich während seines Studiums zum Bachelor of Science ZFH in Umweltingenieur/Erneuerbare Energien auf die umweltschonende Batteriezzerlegung.



Mitautor: Marcel Gauch |  
Empa, Technology & Society Lab

Batterien ermöglichen in der Mobilität und im Stromnetz die Abkehr von fossilen Energieträgern und die Nutzung erneuerbarer Energie. Diese Umstellung erfordert jedoch grosse Mengen an Energie, Kapital und Rohstoffen mit entsprechendem Anteil an grauer Energie. Einmal gefördert, können stoffliche Ressourcen jedoch praktisch ewig in der Technosphäre verbleiben (Kreislaufwirtschaft), unter der Voraussetzung von gutem Recycling mit niedrigen Leckagen (Verluste in die Umwelt). Vor dem stofflichen Recycling sollte aber ein möglichst langer Gebrauch stehen. Gerade bei Fahrzeugbatterien eröffnen sich interessante Möglichkeiten für die Verlängerung der Nutzungsdauer: Nach dem Erstgebrauch in einem Fahrzeug könnte die Batterie in einer zweiten Lebensphase beispielsweise als stationärer Stromspeicher (für Strom aus einer PV-Anlage oder als Notstrom-Speicher) oder in einem weniger leistungsfähigen Fahrzeug eingesetzt werden (2nd-Life-Anwendungen).

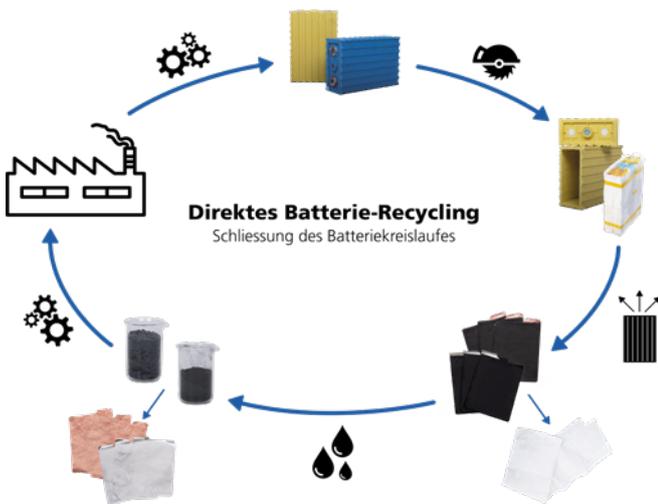
**Heute sind Recycling-Quoten von ca. 90 Prozent üblich, fortschrittliche Firmen nennen Werte um 95 Prozent.**

## Heutige Situation

Im Gegensatz zur weitverbreiteten Meinung ist Batterie-Recycling (nicht nur in der Schweiz) seit Jahren eine gesetzliche Pflicht. Durch eine vorgezogene Entsorgungsgebühr VEG können Batterien kostenlos den Sammelsystemen übergeben werden, wodurch finanzielle Anreize für unzulässige Entsorgungswege entfallen. Ausnahmen von der Rücknahmepflicht und der Entsorgungsgebühr gelten für Inverkehrbringer von Industriebatterien in Autos unter der Auflage, dass sie für die Batterien «eine umweltverträgliche Entsorgung der Batterien und die Deckung der gesamten Entsorgungskosten gewährleisten» (ChemRRV, Stand 1.5.2022). Das Batterie-Recyclingsystem in der Schweiz wird durch Inobat verwaltet, beauftragt durch das Bundesamt für Umwelt BAFU. Die gesammelten Batterien gehen, mit Ausnahme von altbekannten Blei-Säure-Starterbatterien für Autos, zur Firma Batrec nach Wimmis, wo die kleineren Batterien in einem thermischen Prozess verwertet werden. Grössere Batterien wie für E-Fahrzeuge oder stationäre Anwendungen werden mechanisch vorbehandelt (geschreddert), Zwischenprodukte gehen zur Weiterverarbeitung an spezialisierte und zugelassene Firmen im Ausland (v. a. in Frankreich, Deutschland, Belgien). Bei grösseren Batterien aus der Industrie und aus Fahrzeugen sind heute Recycling-Quoten von ca. 90 Prozent üblich, fortschrittliche Firmen nennen Werte um 95 Prozent. Dies liegt über der gesetzlichen Anforderung von 85 Prozent für die Rezyklierfähigkeit bei der Zulassung neuer Autos (mit Elektro- und Verbrennungsmotoren). Aktuelle Recycling-Quoten für Autos liegen bei ca. 70 Prozent (hohe Verluste durch Verbrennung von brennbaren Komponenten/RESH). Es existiert bisher keine einheitliche Definition, was an die Recyclingquote angerechnet wird. Klar anzustreben ist ein hoher stofflicher Verwertungsgrad, welcher auf die weitgehende Rückgewinnung der Komponenten als hochwertige Sekundärrohstoffe abzielt. Angerechnet werden können aber gegebenenfalls auch Komponenten, welche als Zuschlagstoff im Strassenbau eingesetzt oder als Brennstoffersatz thermisch verwertet werden. Heute lassen sich Batterien zu ca. 80 Prozent mit wirtschaftlichem Anreiz rezyklieren. Der restliche Anteil ist technisch weitgehend machbar und umwelttechnisch sinnvoll, aber wirtschaftlich noch nicht lohnenswert. Diese finanzielle Lücke kann durch die vorgezogene Entsorgungsgebühr gedeckt werden.

## Recycling-Prozesse

Bei der Verarbeitung lassen sich drei Prozessvarianten unterscheiden, welche in unterschiedlicher Kombination eingesetzt werden können: mechanisch, thermisch und chemisch. Jede dieser Methoden hat Stärken und Schwächen und wird von verschiedenen Recycling-Firmen angewandt. Ein Trend zur möglichst umfassenden dezentralen mechanischen Vorbehandlung ist erkennbar. Die aufwändigere thermische und/oder chemische Weiterbehandlung der schwierig zu trennenden Komponenten (aktive Anoden- und Kathodenmaterialien) erfolgt dann in grösseren zentralen Anlagen.



### Mechanische Prozesse

Die Hauptkomponenten einer Batterie sind einfach aufgebaut, das Prinzip ähnelt einem (langweiligen) Buch mit zwei sich abwechselnden Seiten (Anode aus graphitbeschichteter Kupferfolie, Kathode aus metalloxidbeschichteter Alufolie), getrennt durch eine dünne Ionendurchlässige Kunststoffolie (Separator), benetzt durch eine Ionen-leitfähige Flüssigkeit (Elektrolyt), das Ganze luftdicht eingepackt in ein Gehäuse mit verschiedenen möglichen Formen. So wie die gestapelten Folien mechanisch zusammengelegt, gerollt, gefaltet und eingepackt wurden, lassen sie sich im Prinzip auch wieder mit sehr hoher Trennungseffizienz auseinandernehmen. Alternativ werden auch Schredder eingesetzt, welche die Batterien in kleine Teilchen zerstückeln, die anschliessend wieder getrennt und weiter aufbereitet werden müssen. Damit es nicht zu Kurzschlüssen und Bränden kommt, geschieht das Schreddern meist unter einer Schutzgasatmosphäre.

### Vorteile

- Mechanische Trennung ermöglicht hohe Reinheit der verwerteten Materialien
- Recycling-Quote von über 96 Prozent möglich, damit weitgehende Kreislaufschliessung der Batteriematerialien
- Geringer Energieverbrauch
- Geringe Investitionskosten für die Anlagen

### Nachteile

- Batterien müssen vorsortiert werden
- Kleiner Durchsatz
- Begrenzter Automatisierungsgrad, ggf. mehr Handarbeit
- Automatisierte Prozesse müssen individuelle auf die Form der Batterie abgestimmt werden

### Thermische Prozesse (Pyrometallurgie)

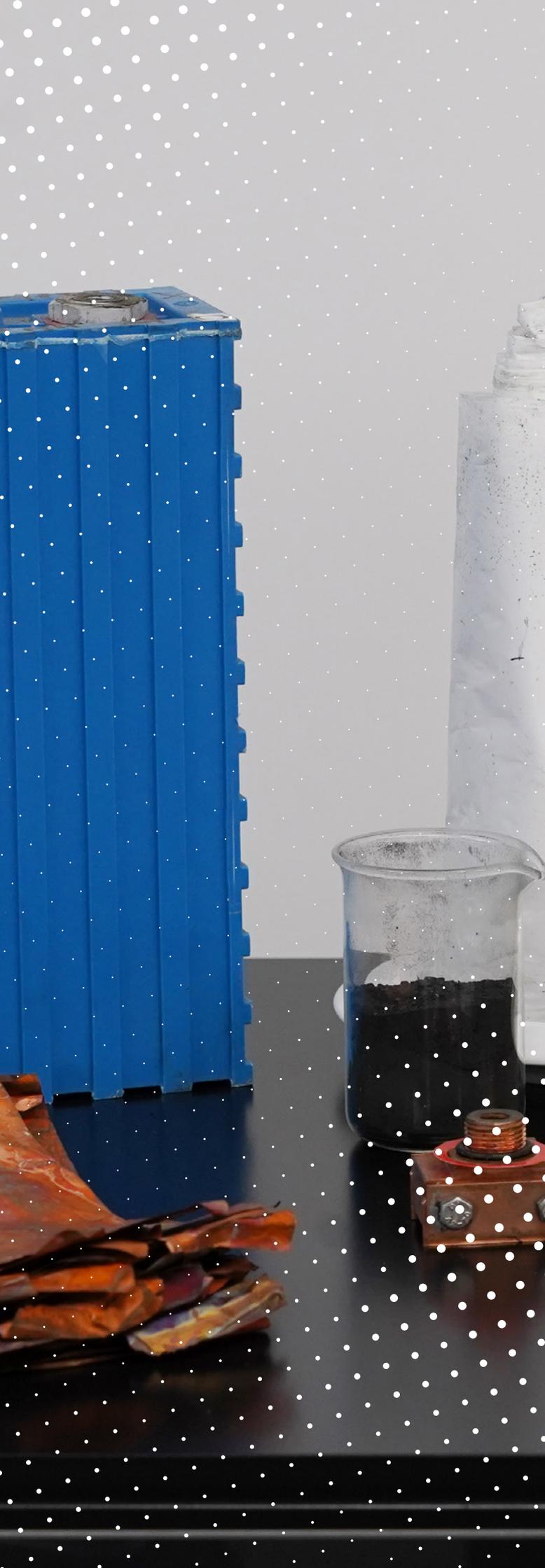
Pyrometallurgie behandelt Stoffe so, wie man es seit Langem vom Schmelzen metallischer Rohstoffe kennt. In Bädern z. B. aus flüssigem Kupfer oder Blei können Metalle bei sehr hoher Temperatur Legierungen bilden, welche anschliessend in die einzelnen reinen Metalle (wie Kupfer, Cobalt und Nickel) aufgetrennt werden. Batterie-Bestandteile wie ein Plastikgehäuse, die brennbare Elektrolytflüssigkeit oder das Anodenmaterial Graphit werden dabei verbrannt bzw. dienen als Brennstoff. Die Metalle Lithium und Aluminium gelangen in oxidierte Form in die Schlacke und werden so weiterverkauft (z. B. als Zuschlagstoff in der Betonindustrie) oder können in einem Zusatzschritt (Reduktion) wieder zu reinen Metallen aufbereitet werden.

### Vorteile

- Alle Arten von Batterien sind thermisch rezyklierbar
- Keine vorgängige Sortierung nach chemischen Bestandteilen oder Formen notwendig
- Hoher Durchsatz
- Kein Vorwissen über die Batterien, deren Einsatzgebiet und deren Zustand nötig

### Nachteile

- Hoher Energieverbrauch
- Hohe Emissionen
- Stoffliche Recycling-Quote limitiert (40 bis 60 Prozent), damit Schliessung des Batteriekreislaufes nur teilweise möglich
- Sehr hohe Investitionskosten für Recycling-Anlagen, Economy of Scale



### Chemische Prozesse (Hydrometallurgie)

Mit Hilfe von Lösungsmitteln, Säuren und Elektrizität kann die «Black Mass», d. h. das Aktivmaterial auf den Elektroden, ohne Einschmelzen mit hoher Reinheit aufgetrennt werden. Zu beachten ist der professionelle Umgang mit den Chemikalien, welche nicht in die Umwelt gelangen oder die Gesundheit der Mitarbeitenden gefährden dürfen. Voraussetzung für die chemische Behandlung ist eine mechanische Vorbehandlung (Schredder plus Abscheidung von Schwer- und Leichtmetallen).

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>- Prinzipiell möglich für alle Arten von Batterien</li><li>- Hohe Recyclingrate, bis zu 95 Prozent</li><li>- Keine vorgängige Batterietrennung nach Chemisorten oder Formen nötig</li><li>- Batteriekreislaufschließung weitgehend möglich</li><li>- Kleiner Energieverbrauch möglich</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Einsatz von Chemikalien mit Kontrollaufwand für die Sicherheit</li><li>- Schredder-Verfahren nötig als Vorprozess</li><li>- Mehrere Teilprozesse benötigt</li><li>- Verunreinigung der Chemikalien muss verhindert werden, Wiederaufbereitung nötig</li></ul>

## Was zeichnet sich ab?

Die «Batterieszene Schweiz» ist sehr aktiv und vernetzt. Der Austausch wird (Stand 2022) hauptsächlich durch zwei nationale Initiativen gefördert: durch den Verein iBAT und das Projekt CircuBAT.

### **Die «Batterieszene Schweiz» ist aktiv und vernetzt: mit iBAT und CircuBAT.**

Mitglieder des Vereins iBAT mit dem Präsidium an der Berner Fachhochschule sind 14 Forschungspartner (Fachhochschulen, Universitäten, Forschungsanstalten) und 52 Netzwerkpartner (Industrie, Rohstoffe, Verkehrsbetriebe, Recycling-Betriebe). Der Verein will den Weg von Innovationen zu Produkten beschleunigen, einen Austausch von Wissen ermöglichen und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz im Batteriebereich von der Produktion bis zum Recycling stärken.

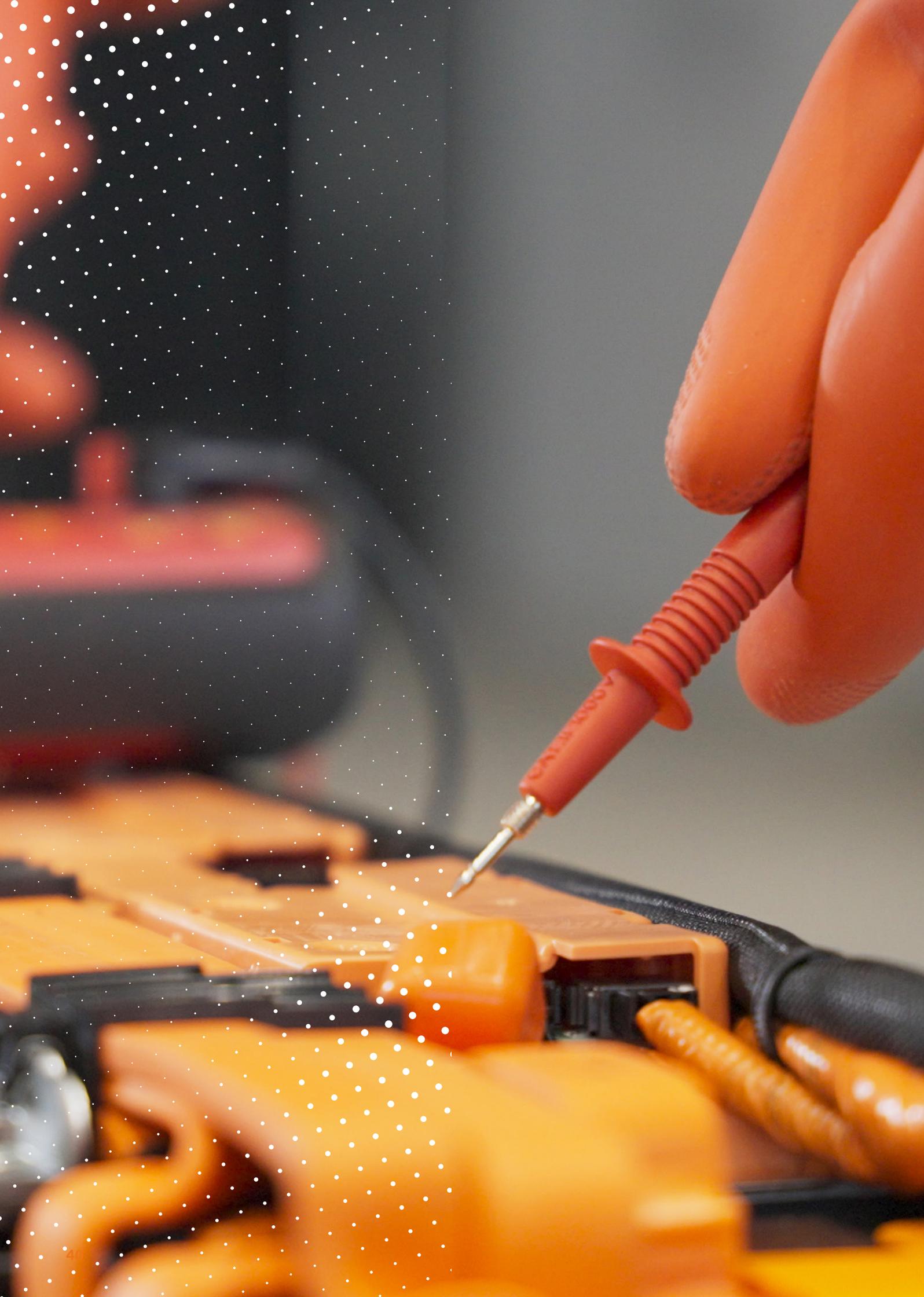
CircuBAT ist ein Leuchtturmprojekt von Innosuisse, der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung. Es soll direkt Einfluss nehmen auf die Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Elektrofahrzeugbatterien. Mit der transdisziplinären Zusammenarbeit von 11 Forschungs- und 24 Industriepartnern werden nicht nur übliche Recycling-Aspekte untersucht, sondern beispielsweise auch die Verlängerung der Lebensdauer einschliesslich 2nd-Life-Anwendungen, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Kritikalität von Rohstoffen. Firmen wie Kyburz Switzerland AG und Librec liefern mit ihrem Wissen Beiträge zu CircuBAT. Insgesamt soll der ökologische Fussabdruck von E-Fahrzeugbatterien durch umfassende Optimierung der Kreislauffähigkeit reduziert werden.

Aus der Automobilindustrie sind in nächster Zeit die grössten Mengen an Batterien zu erwarten. Es bestehen immer noch Unsicherheiten über die Geschwindigkeit der Umstellung auf E-Fahrzeuge und über technologische Entwicklungen. Weil einige Autohersteller im Ausland sich noch nicht entschieden haben, wie sie mit ihren Batterien am Nutzungsende umgehen sollen, streben die Autoimporteure eine Verlängerung der mit dem Bund ausgehandelten Ausnahmebewilligung an (Erlass der vorgezogenen Entsorgungsgebühr VEG). Einige Firmen sind am Aufbau eigener Systeme (z. B. Volkswagen und Tesla, welche ihre Produktionsanlagen von Anfang an mit integriertem Recycling-Teil auslegen). Für kleinere Autoimporteure, zusammengefasst im Verband freier Autohandel Schweiz (VFAS), wurde durch das Bundesamt für Umwelt BAFU eine Branchenlösung akzeptiert. Die SENS eRecycling stellt sicher, dass Antriebsbatterien von Fahrzeugen umweltverträglich verwertet werden. Diese Branchenlösung wird mit einem

vorgezogenen Recycling-Betrag (vRB) finanziert. Das Recycling von Batterien steckt insgesamt noch in den Kinderschuhen. Nicht, weil es technisch schwierig ist, sondern weil der Druck durch die Gesetzgebung und momentan verhältnismässig kleine Mengen an zu verwertenden Batterien noch gering ist. Progressive Firmen schreiten nun voran mit eigenen Lösungen, was wiederum die Gesetzgebung beeinflussen wird. Sobald etwas mehr Klarheit herrscht über Möglichkeiten und Grenzen, wird die europäische Batterieverordnung voraussichtlich die Anforderungen an das Recycling verschärfen, absehbar durch die Forderung nach individuellen Recycling-Quoten für verschiedene Materialien. Eine Anforderung, welche nicht nur für Batterien, sondern generell für die Verwertung aller Abfälle gelten sollte.

### **Das Recycling von Batterien steckt noch in den Kinderschuhen. Nicht aus technischen Gründen, sondern wegen geringem Druck durch die Gesetzgebung und noch kleinen Mengen an Batterien.**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei einer durchaus realistischen Recycling-Quote von deutlich über 90 Prozent die eingangs genannten Herausforderungen hinsichtlich des Energie- und Rohstoffbedarfs von Batterien in der Mobilität und im Stromnetz mittelfristig durch Recycling entschärft werden können. Kurzfristig müssen die neuen Materialien selbstredend zuerst abgebaut werden, um in den Batterie-Rohstoff-Kreislauf aufgenommen zu werden.



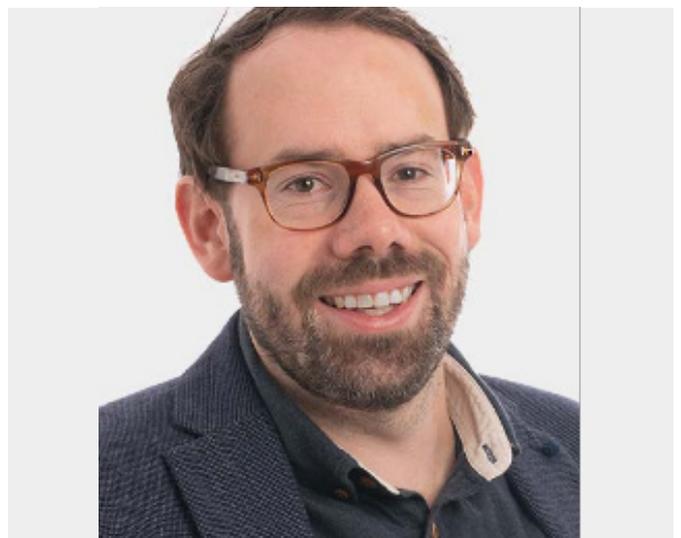
# Die Rolle der Schweiz in der globalen Batterie- wertschöpfungskette

Oktober 2022

In Europa entsteht ein grosser Markt zur Herstellung von Batterien. Die Schweiz hat bisher von der neuen Wertschöpfungskette kaum profitiert. Wie lässt sich das ändern?

**Christian Ochsenbein** ist als Managing Co-Director im BFH-Zentrum Energiespeicherung für Speicher in der Mobilität und den Betrieb des Battery Testing Laboratory verantwortlich.

Mit dem Swiss Battery Technology Center leitet er eines der vier Forschungszentren des Switzerland Innovation Park Biel/Bienne. Dabei forscht er in den Bereichen Batterie-Recycling und Batterieintegration in Applikationen. Als Leiter des iBAT Management Office setzt er sich für die Innovationskraft der Schweizer Batterieindustrie ein.



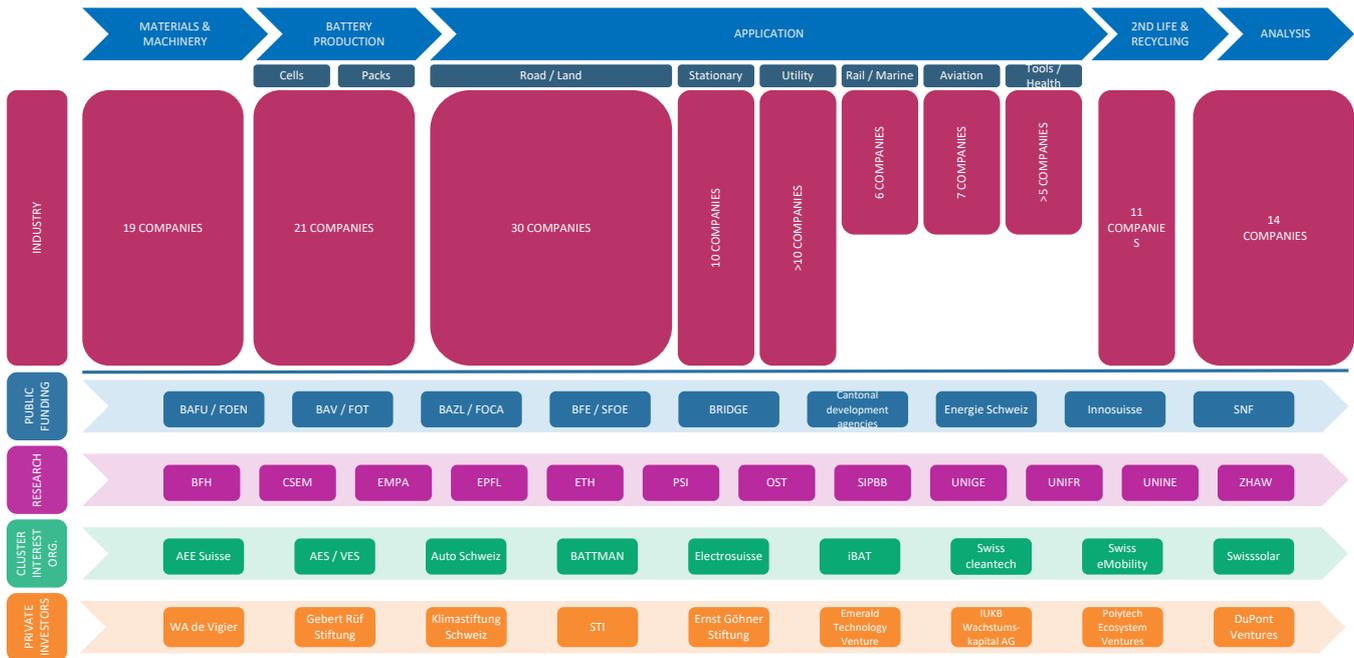
Der globale Markt für Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) wächst rasant – massgeblich ausgelöst durch den Trend zur Elektromobilität. Die steigende Nachfrage nach E-Fahrzeugen und das drohende Zulassungsverbot ab 2035 für Verbrennungsmotoren in der Europäischen Union sind die Treiber der Transformation der europäischen Automobilindustrie. So haben Europas grösste Fahrzeughersteller die Absicht, bis 2030<sup>1</sup> bzw. bis 2035 auf elektrische Antriebe umzustellen. Andere Branchen wie die Energiewirtschaft oder Nutzfahrzeugindustrie folgen diesem Trend, was zu einem zusätzlichen Bedarf an Batterien führt. Die Abkehr von fossilen Treibstoffen in der Mobilität bringt einen steigenden Elektrizitätsbedarf mit sich. Die Transformation hat gewaltige Auswirkungen auf die Supply Chain und die Zulieferindustrie. Die wichtigste Komponente eines E-Fahrzeugs ist die Batterie, da diese den grössten Wertschöpfungsanteil ausmacht und bei deren Herstellung signifikante Treibhausgasemissionen entstehen.

Wurden Batterien bis vor Kurzem fast ausschliesslich in Asien hergestellt, ist seit einiger Zeit eine Batterieindustrie in Europa im Aufbau. Aktuell sind in Europa rund 30 sogenannte Gigafactories zur Herstellung von Batteriezellen mit einem Speichervolumen von über 600 GWh Jahresproduktion in Planung, im Bau oder bereits in Betrieb<sup>2</sup>.

## Mit der massiv steigenden Nachfrage nach Batterien steigt gleichermaßen der Bedarf an Rohstoffen.



Geplante Gigafactories zur Batteriezellherstellung in Europa<sup>3</sup>

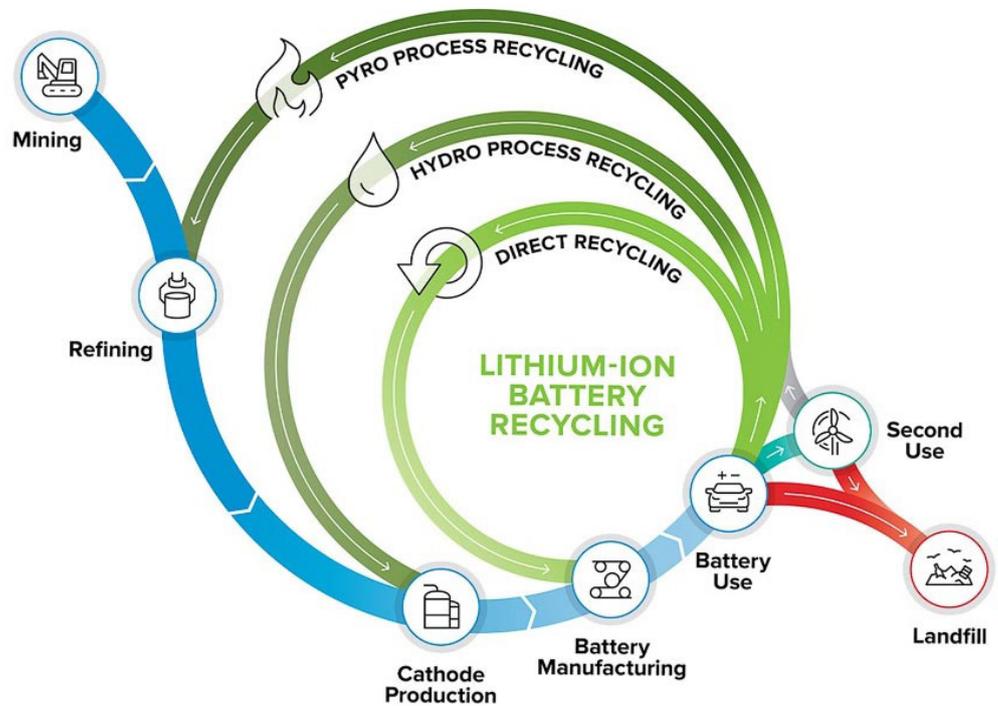


Die Schweizer «Batterielandschaft»<sup>4</sup>

Dieser Artikel beleuchtet die Rolle der Schweiz in der globalen Batterie-Wertschöpfungskette. In einer ersten Analyse konnten in der Schweiz gut 100 Firmen evaluiert werden, welche verteilt über die gesamte Batteriewertschöpfungskette arbeiten. Vertreten sind Start-ups, KMUs und Grosskonzerne, welche erfolgreich an dem neuen kapitalintensiven Markt partizipieren.

Mit der massiv zunehmenden Nachfrage nach Batterien steigt gleichermassen der Bedarf an Rohstoffen. Dies sind vor allem Nickel, Lithium, Kobalt, Mangan, Graphit, Kupfer und Aluminium. Einige dieser Rohstoffe werden als kritisch eingestuft.<sup>5</sup> Das wird in den nächsten Jahren zu Versorgungsengpässen führen und kann den Hochlauf der Elektromobilität und Batteriespeicher gefährden. Die Europäische Union hat diese Probleme erkannt und wird mit der neuen Batterie-

rierordnung verfügen, dass Batterien recycelt werden und die Rohstoffe im Kreislauf bleiben.



Kreislaufwirtschaft für Batterien mit unterschiedlichen Recycling-Verfahren<sup>6</sup>

## Trotz Spitzenforschung den Anschluss verpasst

Die Schweiz hat bisher vom Boom der Elektromobilität und dem damit verbundenen Aufbau der europäischen Batterieindustrie nur wenig profitiert. Die von der Europäischen Kommission, den EU-Ländern, der Industrie und der Wissenschaft getragene European Battery Alliance (EBA) erwartet einen globalen jährlichen Umsatz mit Li-Ion-Technologie von 250 Milliarden Euro ab 2025.<sup>7</sup> Trotz internationaler Spitzenforschung von Schweizer Instituten (Empa, ETH, PSI und anderen) wurde das volkswirtschaftliche Potenzial der E-Mobilität und der damit verbundenen Batterieherstellung bisher nicht erkannt.

Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern wie z. B. Norwegen oder Deutschland fehlt der Schweiz eine langfristige Batterie-Roadmap. Auch gibt es bei den Bundesämtern keine klaren Zuständigkeiten zum Thema Batterien und Speicher. So ist die Verantwortung für das Thema E-Mobilität beim Bundesamt für Energie BFE, das Thema Recycling beim Bundesamt für Umwelt BAFU. Für eine langfristige Entwicklungsperspektive gibt es aber keine Zuständigkeit und somit ist die Schweiz in europäischen Initiativen nicht aktiv vertreten.

Batterien werden eher als ein notwendiges Übel denn als Chance für die Schweizer Wirtschaft wahrgenommen. In der Schlussfolgerung ist es logisch, dass in der Schweiz keine Gigafactory aufgebaut wird, auch wenn gute Grundvoraussetzungen vorhanden sind wie eine treibhausgasarme Energieproduktion oder gut ausgebildete Fachkräfte.

Ein weiteres Problem für die Schweizer Industrie ist die Abhängigkeit von asiatischen Produzenten. Die Schweizer Hersteller sind vor allem in Spezialmärkten wie Nutz- und Kommunalfahrzeuge, Züge oder E-Bikes vertreten. Da diese Hersteller nicht dieselben Batteriekapazitäten verbauen wie in der Automobilindustrie, ist es äusserst schwierig, zuverlässig von Zellherstellern beliefert zu werden. Diese Unsicherheiten hindern daran, dass mehr in nachhaltige Technologien investiert wird.

## Mehr «Swissness» in der Batteriewertschöpfungskette

Hat die Schweiz den Eintritt in den europäischen und globalen Markt tatsächlich bereits verpasst? Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Gigafactory für Li-Ion-Batterien in der Schweiz gebaut wird, ist sehr gering. Dennoch ist ein Markteintritt für die Schweizer Industrie möglich, wenn der gesamte Wertschöpfungskreislauf betrachtet wird.

### **Mit einigen Jahren Verzögerung zum Hochlauf der E-Mobilität wird ein grosser Recycling-Markt für Batterien entstehen.**

Mit einigen Jahren Verzögerung zum Hochlauf der E-Mobilität wird ein grosser Recycling-Markt für Batterien entstehen. Da die Verfahren für Recycling aktuell auf dem Stand der Forschung und Entwicklung sind, entstehen Chancen für einen Markteintritt zum Beispiel im Bereich des Sondermaschinenbaus für Firmen, die Sensorik herstellen oder Daten verwalten. Mit dem neuen Regulatory Framework for Batteries<sup>8</sup> schafft die Europäische Union auch die Grundlage, damit eine lokale Batterie-Recyclingindustrie aufgebaut werden kann. Bereits ab 2030 sind für die Fertigung neuer Batteriezellen Rohstoffanteile aus dem Recycling zu verwenden.

Neben den Li-Ion-Batterien werden sich auch andere elektrochemische Speicher am Markt etablieren. Einerseits werden dies Feststoffbatterien sein, die längerfristig die Li-Ion-Batterien in mobilen Anwendungen verdrängen könnten. Eine interessante Technologie für stationäre Speicher werden Batterien mit Natrium sein. Dazu gehören Natrium-Ionen-Batterien oder Salzwasserbatterien. Die Schweiz könnte bei diesen neuen Batterie-Typen eine wichtige Rolle spielen, wie z. B. die Firma FZSoNick aus dem Tessin oder Natron Energy aus dem Wallis.

Andererseits kann sich die Schweiz im Bereich von Spezialmärkten etablieren, wo zum Beispiel sehr lange Lebensdauern oder hohe Energiedichten notwendig sind und die Wertschöpfung pro Batterieeinheit damit höher ist. Anwendungsgebiete sind im Fernverkehr von Lastwagen und Zügen oder für die Luftfahrt zu finden.

# Erfolgreich im Innovationsökosystem

Um den Markteintritt von Schweizer Firmen zu erleichtern und Innovationen aus dem Innovationsökosystem zu fördern, schlagen wir eine Reihe von Massnahmen vor:

- eine übergeordnete Koordinationsstelle im Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, welche die Abstimmung mit den Bundesämtern BFE und BAFU und dem Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI orchestriert und die Schweiz in offizieller Mission international vertritt sowie einen direkten Kommunikationskanal mit dem Branchenverband iBAT pflegt;
- Aufbau eines nationalen Nachhaltigkeitsfonds, mit welchem wissenschaftliche und wirtschaftliche Grossprojekte finanziert werden können;
- eine Kommunikationsoffensive bei grossen Branchenverbänden der Schweiz wie Swissmem, Swiss Mechanic, aeesuisse, VSE, Economiesuisse, swisscleantech, Energie-Cluster, um die Marktchancen, aber auch die ökologischen Vorteile zu vermitteln;
- Schaffen von Ausbildungsmöglichkeiten für elektrochemische Speicher auf verschiedenen Ebenen;
- Aufbau von Kompetenz-Clustern und Innovationsplattformen zu den verschiedenen Speicherthemen;
- Forschungs- und Innovationsförderung für spezifische Anwendungen im Batteriemarkt, z. B. Luftfahrt, Nutzfahrzeuge, stationäre Speicher.

Mit diesen Massnahmen kann die Schweiz in Zukunft einen wichtigen Beitrag zum globalen Batteriespeichermarkt leisten.

- 
- 1 EU to Urge 2035 Goal to End Combustion-Engine Era in Autos - Ewa Krukowska, Alberto Nardelli - 2021  
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-07-09/europe-to-propose-end-of-combustion-engine-era-in-green-overhaul>
  - 2 Gigafactories: Europe's major commitment to economic recovery through the development of battery factories - Sara Ortiz, 2021 -  
<https://cicenergigune.com/en/blog/gigafactories-europe-commitment-economic-recovery-battery-factories>
  - 3 CIC energiGUNE; Version 7, 2/2022
  - 4 Batterie-Stakeholder Befragung, Christian Ochsenbein, iBAT Association - 2021
  - 5 [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_nl](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_nl)
  - 6 DOE launches its first lithium-ion battery recycling R&D center: ReCell - Tona Kunz - 2019  
<https://www.anl.gov/article/doe-launches-its-first-lithiumion-battery-recycling-rd-center-recell>
  - 7 Building a European battery industry, 2021 KIC InnoEnergy SE  
<https://www.eba250.com/?cn-reloaded=1>
  - 8 Batteries and accumulators [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/batteries-and-accumulators\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/batteries-and-accumulators_en)
-

 AMSTEIN+WALTHERT



Haute école  
spécialisée bernoise

 **EcoCoach**  
SWITZERLAND

 **Empa**  
Materials Science and Technology

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

 **gaz energie**

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts  
**HOCHSCHULE  
LUZERN**  
FH Zentralschweiz

**iBATT**

 **KYBURZ**

 **OST**  
Ostschweizer  
Fachhochschule

PAUL SCHERRER INSTITUT  
**PSI**

**satw** it's all about  
technology

 **sgsw**

Scuola universitaria professionale  
della Svizzera italiana  
**SUPSI**

**swisspower**

**TNO** Advanced Energy Concepts

 **Universität  
Basel**

 **UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw**

Mit Unterstützung von

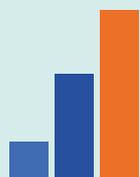
 **energieschweiz**

## Forum Energiespeicher Schweiz

Falkenplatz 11  
Postfach  
3001 Bern

Telefon: 031 301 89 62  
Fax: 031 313 33 22

E-Mail: [speicher@aeesuisse.ch](mailto:speicher@aeesuisse.ch)  
Website: [speicher.aeesuisse.ch](http://speicher.aeesuisse.ch)

 **Forum  
Energiespeicher  
Schweiz**  
Eine Initiative der aeesuisse