

Schlussbericht, Dezember 2020

Solarbatterien für Privatkunden

Eine Marktstudie



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Dr. Sabine Perch-Nielsen, EBP

Dr. Isabel O'Connor, EBP

Hendrik Clausdeinken, EBP

David Schärer, EBP

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhalt

Vorwort	4
1 Welche Schweizer Akteure sind in Forschung, Entwicklung, Produktion von Batterien aktiv?	5
2 Welche Technologien werden heute in der Schweiz eingesetzt mit welchen Vor- und Nachteilen?	8
3 Welche Technologien werden künftig vermutlich eingesetzt?	11
4 Welche Rohstoffe braucht es für eine Batterie und sind diese limitiert?	16
5 Wie ist die Ökobilanz einer Batterie?	20
6 Was passiert mit Batterien nach Ende Ihrer Lebensdauer?	28
7 Welches ist die Branchenstruktur in der Schweiz?	32
8 Wie ist die bisherige Nachfrage nach Batterien?	34
9 Welches sind die Preise für Solarbatterien?	36
10 Welche Entwicklungen in den Preisen werden künftig erwartet?	43
11 Wie ist die Wirtschaftlichkeit von Batterien?	46
12 Welches sind die Entscheidungsmotive für den Kauf einer Batterie?	52
13 Welches sind die Treiber für die Marktentwicklung in der Schweiz?	56

Vorwort

EnergieSchweiz unterstützt freiwillige Massnahmen zur Umsetzung der Schweizer Energiepolitik. EnergieSchweiz gibt zu Batterien für Photovoltaik keine Empfehlungen ab, möchte aber Personen, die sich für Batterien interessieren, Hilfestellungen anbieten und Vor- und Nachteile präsentieren. Zudem erhält EnergieSchweiz viele Anfragen zu diversen Aspekten von Batterien und möchte wissenschaftlich fundiert Antwort geben können.

Aus diesen Gründen hat EnergieSchweiz EBP beauftragt, eine fundierte und verständliche Marktstudie für Heimspeichersysteme im Zusammenhang mit Photovoltaik (Segment Privatkunden) zu erarbeiten. Solche Systeme werden in diesem Bericht als Solarbatterien bezeichnet. Dieser Bericht ist das Resultat dieser Arbeiten und soll EnergieSchweiz intern als Fundus für Bürgeranfragen, die Website und andere Kanäle dienen. Die Studie ist in der Form von Fragen aufgebaut, die jeweils nach dem gleichen Schema beantwortet werden: Frage, Fakten, Lücken, Zusammenfassung und Quellen. Die Methoden umfassten umfangreiche Literaturrecherchen, Interviews mit Experten, einen Expertenworkshop¹, eine Preiserhebung (Frage 8), Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Frage 11) und die Befragung von Installateuren (Frage 12).

¹ Teilnehmer waren Roger Burkhart (Alpiq), Alexander Fuchs (ETH Zürich), Lukas Meister (Cleverage), Thomas Nordmann (TNC Consulting) und Jens Rümmele (Solarmarkt).

1 Welche Schweizer Akteure sind in Forschung, Entwicklung, Produktion von Batterien aktiv?

Fakten

Forschung und Entwicklung: Im Bereich der Grundlagenforschung zu Batterietechnologie sind in der Schweiz Experten an Instituten des ETH-Bereichs (ETH Zürich, EPFL, Empa, PSI) sowie an der Universität Freiburg und der Berner Fachhochschule tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte und aktuelle Leiter und Leiterinnen sind in Tabelle 1 abgebildet.

Darüber hinaus wird zur Produktion von Batterien Wissen in der Produktionstechnik benötigt, welches an verschiedenen Instituten des Landes zu finden ist. Welche Institute in der Produktionstechnik jeweils batterietechnische Maschinen und Prozesse entwickeln, ist insgesamt schwer nachvollziehbar, da sie meist allgemeine Maschinen und Prozesse entwickeln, die nicht nur der Batterieproduktion zugeordnet werden können, wie beispielsweise Beschichtungsverfahren oder Maschinen zur Metallwicklung.

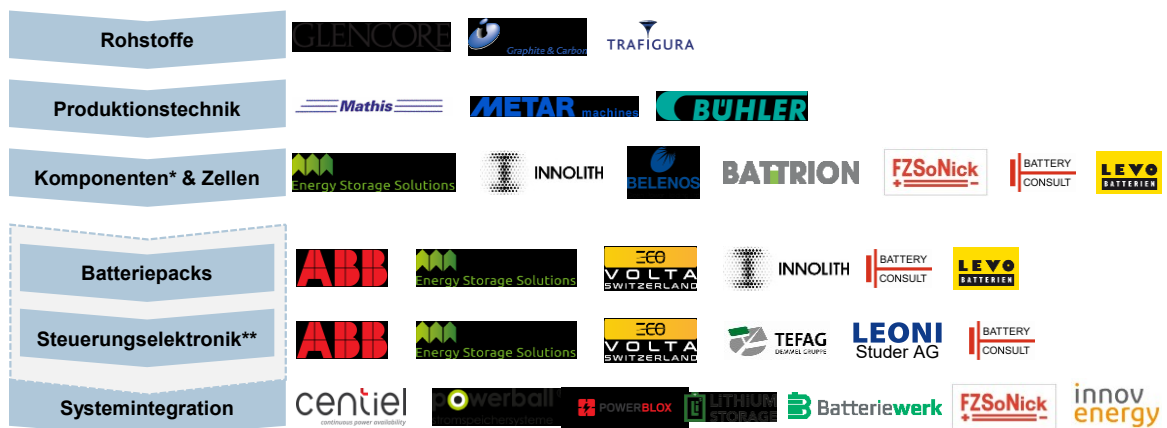
Institut	Forschungsschwerpunkte	Leitung
<ul style="list-style-type: none"> BFH-CSEM Energy Storage Research Center, Berner Fachhochschule BFH, Burgdorf und Biel 	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung von Lithium-Ionen-Zellen und -Systemen Tests und Charakterisierung von Zellen und Modulen Entwicklung und Test von Hardware und Software von Batteriemanagementsystemen Management und Speicherung von Solarenergie Produktionsmethoden und Maschinen zur Fertigung von Batteriezellen- und Systemen 	Prof. Dr. Axel Fuerst Prof. Dr. Andrea Vezzini
<ul style="list-style-type: none"> Materials for Energy Conversion, Empa Dübendorf 	<ul style="list-style-type: none"> Batteriematerialien Elektroden (Kathode und Anode) Batteriezellen Membranen und Elektrolyte 	Dr. Corsin Battaglia
<ul style="list-style-type: none"> Labor für physikalische und analytische Elektrochemie, EPFL Wallis, Sion 	<ul style="list-style-type: none"> Redox-Flow-Batterien Herstellung von Kohlenstoff-Nanomaterialien (englisch: carbon nanomaterials) 	Prof. Dr. Hubert Girault
<ul style="list-style-type: none"> Labor für anorganische Chemie, funktionale anorganische Materialien, ETH Zürich und Empa Dübendorf 	<ul style="list-style-type: none"> Nanostrukturen/-kristalle für Kathoden und Anoden 	Prof. Dr. Maksym Kovalenko
<ul style="list-style-type: none"> Labor für elektrochemische Energiesysteme, ETH Zürich 	<ul style="list-style-type: none"> Nanostrukturen/-kristalle für Kathoden und Anoden 	Prof. Dr. Maria Lukatskaya
<ul style="list-style-type: none"> Institute für Elektronik, ETH Zürich 	<ul style="list-style-type: none"> Batteriematerialien (inkl. Herstellung, Charakterisierung und Simulation) 	Prof. Dr. Vanessa Wood, Prof. Dr. Maksym Yarema
<ul style="list-style-type: none"> Departement für Chemie, Universität Freiburg 	<ul style="list-style-type: none"> Batteriematerialien (insb. Li-Ion-Batterien) 	Prof. Dr. Katharina Fromm
<ul style="list-style-type: none"> Labor für Elektrochemie, Paul Scherrer Institut 	<ul style="list-style-type: none"> Batteriematerialien Elektroden (Kathode und Anode) Batteriezellen Membranen und Elektrolyte Post mortem und Operando-Diagnosen (insb. via Neutron Imaging) 	Prof. Dr. Petr Novak, Dr. Felix N. Büchi

Tabelle 1: Übersicht der Forschungsinstitute im Bereich Batterietechnologie in der Schweiz

Entwicklung und Produktion: Die Wertschöpfungskette für Batterien lässt sich entsprechend der Produktionsschritte und Bestandteile eines Batteriesystems aufteilen. Abbildung 1 zeigt die Wertschöpfungskette des Batteriesystems mit einer Liste von in der Schweiz tätigen Firmen. Die Liste der Firmen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Am Anfang stehen die Extraktion und Aufbereitung der Rohstoffe, die grösstenteils im aussereuropäischen Ausland vorzufinden sind: 85% der Lithiumextraktion finden in Chile, Australien sowie China und 70% der Kobaltextraktion findet in der Demokratischen Republik Kongo statt (McKinsey 2018). In dieser Wertschöpfungsstufe sind in der Schweiz einerseits Rohstoffhändler und andererseits Hersteller von Basisstoffen wie Grafit zu finden.

In der Produktionstechnik bieten schweizerische Anlagenbauer spezielle Maschinen zum Mischen einer Paste zur Beschichtung der Elektroden (sog. «Slurry») und zum Wickeln der Batteriezelle an. Unter den Herstellern von Zellkomponenten (d.h. Elektroden, Elektrolyten und Separatoren) und von Batteriezellen findet man neben einigen kleineren Unternehmen mit Leclanché lediglich einen grösseren Zellhersteller.



* Elektroden, Elektrolyte, Separatoren

** Batteriemanagementsystem, Energiemanagementsystem, Leistungselektronik, Thermomanagement

Abbildung 1: Schweizerische Wertschöpfungskette für Batterietechnologie

Im Bereich der Herstellung von Batteriepacks findet man neben den zwei grossen, international tätigen Firmen ABB und Leclanché mit EcoVolta und Innolith zwei kleinere Unternehmen. In der Steuerungselektronik kommen zu diesen Unternehmen noch zwei Spezialunternehmen aus der Elektrotechnik hinzu.

Auf der Ebene der Systemintegration – d.h. dort wo Batteriepacks mit Steuerungselektronik abgestimmt und zusammengefügt werden – sind mehrere Hersteller zu finden, die ihren Fokus auf das Geschäft mit Installateuren und Endkunden legen. Die Wertschöpfungsstufe der Systemintegration ist ein internationales Geschäft, das zunehmend durch Kostendruck und hohe Stückzahlen geprägt ist. So stammt auch der grösste Teil der in der Schweiz verfügbaren Solarbatterien von ausländischen Herstellern wie BYD, sonnen, Tesla oder Varta (BFH-CSEM, 2020). Schweizerische Systemintegratoren sind vor allem im Heimatmarkt Schweiz tätig, in dem die Zahlungsbereitschaft für landeseigene Produkte tendenziell höher ist, oder fokussieren sich auf Spezialanwendungen (z.B. Powerblox auf Off-Grid-Anwendungen).

Lücken

Es ist nicht im Detail bekannt, welche Forschungsinstitute und Firmen in der Produktionstechnik und dem Maschinen-/Anlagenbau für die Batterieindustrie Prozesse und Maschinen entwickeln und vertreiben.

Zusammenfassung

Im Bereich der Grundlagenforschung zu Batterietechnologie sind in der Schweiz zahlreiche Forschungsgruppen und Experten zu finden. Schweizerische Akteure in der Wertschöpfungskette von

Batterien sind neben grösseren Firmen wie ABB, Leclanché und Glencore, vor allem kleine bis mittlere Spezialunternehmen. Während es einige schweizerische Systemintegratoren gibt, die Solarbatterien in der Schweiz vertreiben, ist das Marktangebot stark durch internationale Anbieter bestimmt.

Quellen

- BFH-CSEM (2020): Swiss Energy Storage Overview. (<https://web.energystorageoverview.bfh.science>)
- Interviews mit Experten aus Forschung und Industrie.

2 Welche Technologien werden heute in der Schweiz eingesetzt mit welchen Vor- und Nachteilen?

Fakten

Seit im Jahr 2015 in der Schweiz eine jährliche Markterhebung durchgeführt wird, dominieren als Solarbatterien klar Lithium-Ionen-Batterien als Technologie (siehe Abbildung 2). Die schon länger verfügbaren Daten von Deutschland zeigen, dass im Jahr 2013 noch vielfach Bleisäure-Batterien eingesetzt wurden (siehe Abbildung 3). Danach wurde die Lithium-Ionen-Batterie immer populärer. Die Gründe für die Marktdominanz dieser Batterie liegen in gesunkenen Systempreisen, hoher Lade- und (Entlade)effizienz, höheren Energie- und Leistungsdichten sowie längeren Lebensdauern im Vergleich zu Bleisäure-Batterien (Figgenger, 2020 & IRENA, 2017).

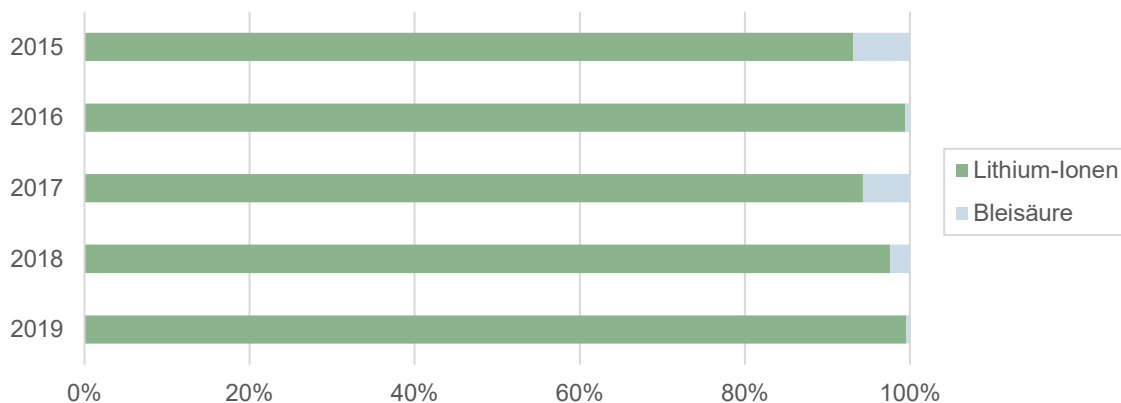


Abbildung 2: Marktanteile der Batterietechnologien bei Solarbatterien in der Schweiz [Quellen: Swissolar (2015, 2016) und BFE (2017-2019)]

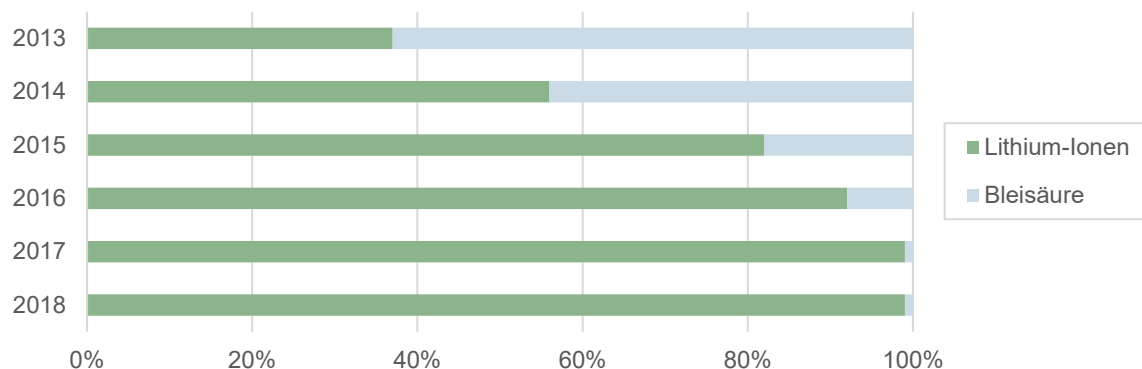


Abbildung 3: Marktanteile der Batterietechnologien bei Solarbatterien in Deutschland [Quelle: Figgenger et al. (2020)]

Innerhalb der Lithium-Ionen-Batterien gibt es verschiedene Zellchemien. Für diese Zellchemien werden Materialien mit verschiedenen elektrochemischen Eigenschaften als Kathode (negativ geladene Elektrode), Anode (positiv geladene Elektrode) und Elektrolyt kombiniert. Durch verschiedene Materialkombinationen erhält man Lithium-Ionen-Batterien, die sich in den Zelleigenschaften Energiedichte, (Ent-)Ladeleistung, Selbstentladung, Lebensdauer und ihren Kosten jeweils unterscheiden.

Da die meisten Variationen bei der Kathode möglich sind, sind die Zellchemien in der Regel nach deren Materialzusammensetzung benannt: So sind die geläufigsten Batterien mit Kathoden aus Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (abgekürzt NMC), Lithium-Eisenphosphat (LFP) oder Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium (NCA) ausgestattet. Die Lithiumtitanat-Batterie (LTO) ist in Ihrer Benennung eine Ausnahme, da Sie nach dem Material ihrer Anode benannt ist.

Auch wenn die Zellchemien durch ihre Kathoden bzw. Anoden eine klare Benennung haben, so lässt sich – entgegen verschiedener Berichte – von diesen Kategorien nicht eindeutig und verallgemeinernd auf bestimmte Zelleigenschaften schliessen. Das liegt daran, dass es neben zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten von Kathode, Anode und Elektrolyt auf die Prozessschritte und Verarbeitungsqualität in der Produktion der Batterie ankommt, welche Eigenschaften sie aufweist (pv magazine, 2019). Letztlich hängen Eigenschaften, wie die zu erwartende Lebensdauer und die (Ent-)Ladeleistung der Batterie im Verlauf des Batteriealters massgeblich mit dem Anwendungsfall und den (Ent-)Ladevorgängen im Betrieb zusammen. Unabhängig von der Zellchemie müssen alle Batterien, die auf dem Schweizer Markt eingeführt werden, den Standards, Normen und Richtlinien des Bundesgesetzes über die Produktesicherheit (PrSG) entsprechen.

Die Analyse des Schweizer Markts zeigt, dass der Grossteil der Hersteller von Solarbatterien auf die Zellchemien Lithium-Eisenphosphat (LFP) und Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) setzen (Tabelle 2). Eine Ausnahme bildet eine Hochtemperaturbatterie mit Natrium-Nickelchlorid (näher in Kapitel 3 beschrieben). Diese Aussage wird auch durch die angebotenen Systeme bei der Preiserhebung in Kapitel 9 bestätigt. Die Marktzusammensetzung in der Schweiz stimmt mit der Zusammensetzung des deutschen und des globalen Marktes überein (Figgenger, 2020 & IHS Markit, 2020).

Hersteller der Solarbatterien	Zellhersteller (sofern publiziert)	Zellchemie
Akasol	Akasol	NMC
Alpha ESS	Lishen	LFP
BYD	BYD	LFP
Cosinus3 Energiesysteme	Winston Battery	LFP
E3DC	<i>verschiedene</i>	LFP
Ecocoach	LG Chem	NMC
Energy Depot Swiss	<i>unbekannt</i>	LFP
Huawei	<i>unbekannt</i>	LFP
Innovenergy	FZSoNick	NaNiCl ₂ (Hochtemperaturbatterie)
LG Chem	LG Chem	NMC
Powerball Speichersysteme	<i>unbekannt</i>	NMC und NCA
RCT Power GmbH	<i>unbekannt</i>	LFP
Sonnen	<i>verschiedene</i>	LFP
Tesla	Tesla	NMC
Varta	Varta	LFP und NMC

Tabelle 2: Hersteller und Zellchemien von in der Schweiz angebotenen Solarbatterien [Hersteller gemäss BFH-CSEM (2020) und Preiserhebung in Kapitel 9. Zellchemie wurde vom angegebenen Zellproduzenten hergeleitet oder Produktblättern entnommen. Batterien der fett markierten Hersteller wurden in der Preiserhebung im Kapitel 9 am häufigsten angeboten.]

Für die Nutzung ist weniger die Zellchemie von Interesse als die Eigenschaften der Solarbatterie bestehend aus Batteriespeicher und Leistungselektronik. Hier spielen vor allem Kosten, Lebensdauer und Energieeffizienz des Systems eine Rolle. Die Energieeffizienz des Systems wird nicht nur durch den Batteriewirkungsgrad, sondern auch durch Umwandlungs- und Bereitschaftsverluste

der Leistungselektronik (Wechselrichter und Steuerung) bestimmt. Eine Übersicht zur Systemeffizienz bietet beispielsweise die Stromspeicher-Inspektion 2020 der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW, 2020).

Lücken

Die eingesetzten Batterietechnologien und Zellchemien sind bekannt. Die letzten Einträge des Swiss Energy Storage Overviews der Berner Fachhochschule stammen jedoch aus dem Jahr 2016, während sich der Speichermarkt in den vergangenen Jahren stark weiterentwickelt hat. Somit sind die Angaben zu Herstellern und vertretenen Zellchemien in der Schweiz vermutlich nicht mehr aktuell.

Zusammenfassung

In der Schweiz werden als Solarbatterien fast ausschliesslich Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt. Diese haben höhere Energie- und Leistungsdichten sowie längere Lebensdauern als die Bleisäure-Batterien. Innerhalb der Lithium-Ionen-Batterien gibt es verschiedene Zellchemien. In der Schweiz dominieren derzeit die Zellchemien Lithium-Eisenphosphat (LFP) und Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC). Für Konsumenten und Konsumentinnen sind die Zellchemien von nachgelagertem Interesse. Es kommt für sie vielmehr auf Kosten, Lebensdauer und Systemeffizienz der Solarbatterie bestehend aus Batterie und Leistungselektronik an. Diese Aspekte hängen teilweise mit der Zellchemie der Lithium-Ionen-Batterien zusammen.

Quellen

- BFE (2017-2019), Markterhebung Sonnenenergie.
- BFH-CSEM (2020): Swiss Energy Storage Overview. (<https://web.energystorageoverview.bfh.science>)
- Figgener, Jan, Stenzel, Peter, Kairies, Kai-Philipp, Linssen, Jochen, Haberschusz, David, Wessels, Oliver, Angenendt, Georg, Robinius, Martin, Stolten, Detlef, Sauer, Dirk Uwe (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review. In: Journal of Energy Storage 29 (2020)». 101153.
- Fraunhofer ISI (2015). «Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030».
- HTW (2020). «Stromspeicher-Inspektion 2020». (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/Stromspeicher-Inspektion-2020.pdf>).
- IRENA (2017). «Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030». Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- pv magazine (2019). «Manche Zahlen darf man nicht so ernst nehmen». (<https://www.pv-magazine.de/archiv/manche-zahlen-darf-man-nicht-so-ernst-nehmen/> ; Aufruf am 29.10.2020).
- Swissolar (2015, 2016). «Kurzbericht Elektrische Energiespeicher».

3 Welche Technologien werden künftig vermutlich eingesetzt?

Fakten

Lithium-Ionen: Aus Sicht der Kosten ist als Fortsetzung des aktuellen Trends (Abbildung 2) zu erwarten, dass der Markt der Solarbatterien weiterhin vorwiegend mit Lithium-Ionen-Batterien bedient wird. In den kommenden Jahren werden erhebliche Preissenkungen am Weltmarkt erwartet, da Lithium-Ionen-Batterien in steigenden Volumina und automatisiert produziert werden – vor allem durch den Automobil-Sektor getrieben (Bloomberg New Energy Finance, 2020).

Innerhalb der Lithium-Ionen-Batterien dominieren heute im globalen Markt noch die NMC Batterien. Mit sinkenden Marktpreisen gewinnen die LFP-Batterien jedoch an Marktanteilen (siehe Abbildung 4). Dieser Trend kann sich fortsetzen, aber hängt stark von den Produktionsvolumina und dem Angebot von NMC- und LFP-Batterien am Weltmarkt in den kommenden Jahren ab.

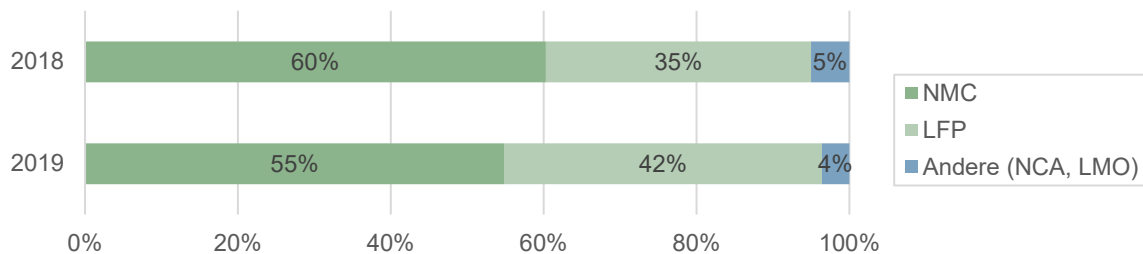


Abbildung 4: Weltweite Marktanteile verschiedener Zellchemien als Solarbatterien [Quelle: IHS Markit (2020)]

Mit dem allgemeinen Marktwachstum von Lithium-Ionen-Batterien werden diese für ihre spezifischen Einsatzzwecke technisch optimiert. So können beispielsweise Lithium-Ionen-Batterien für Elektrofahrzeuge auf ihre Energiedichte hin optimiert werden, weil in Fahrzeugen das Einbauvolumen und Transportgewicht beschränkt sind. Bei Solarbatterien könnte hingegen eine hohe Ent- und Ladeeffizienz oder die Ent- und Ladeleistung im Vordergrund stehen.

Salzwasserbatterien: Diese Art von Batterien nutzt einen wässrigen Elektrolyten auf Basis von Natrium, welches den Batterien ihren Namen «Salzwasserbatterien» gibt (auf Englisch «aqueous hybrid ion battery» (AHIB)). Beim Material der Kathode wird meist auf Lithium-Manganoxid und bei der Anode auf Natrium-Titan-Phosphat gesetzt. Als Separator wird ein Vlies aus synthetischer Baumwolle verwendet. Wie bei Lithium-Ionen-Batterien ist bei Salzwasserbatterien der Betrieb bei Umgebungstemperatur möglich. In Tabelle 3 sind die Vor- und Nachteile der Salzwasserbatterien im direkten Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien aufgezeigt.

Vorteile	Nachteile
Günstige und weitverbreitete Rohstoffe zur Herstellung der Batterien	Geringere Energiedichte pro Speichervolumen
Hohe Recyclingfähigkeit durch einen einfachen Zellenaufbau	Geringere (Ent-)Ladeeffizienz, die zu Stromverlusten führt
Weniger Alterungserscheinungen der Batterie (Verlust der Speicherkapazität und Verlust der (Ent-)Ladeleistung) durch den Betrieb, so dass eine längere Benutzung möglich ist	Höherer CO ₂ -Fussabdruck und höhere Auswirkung auf Ozonabbau in Solarbatterie-Anwendungen (vgl. Kapitel 5)

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Salzwasserbatterien im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien [Quelle: Peters & Weil (2017)]

Als Vorteile der Salzwasserbatterie sind die günstigen und weitverbreiteten Rohstoffe zu nennen. Zugleich lassen sich die Batterien leicht in ihre Bestandteile zerlegen, so dass ein Recycling der Batterien einfacher als bei Lithium-Ionen-Batterien ausfallen sollte. Zusätzlich wird Salzwasserbatterien eine höhere Lebensdauer vorausgesagt. Trotz der Vorteile der weitverbreiteten Rohstoffe und der Recyclingfähigkeit, zeigt eine Lebenszyklusanalyse von Peters & Weil (2017) (vgl. Kapitel 5), dass Salzwasserbatterien als Solarbatterie für Photovoltaikanlagen bezüglich CO_2 -Fussabdruck und Ozonabbau schlechter als Lithium-Ionen-Batterien abschneiden. Dies ist insbesondere auf die geringere Energiedichte und die geringere (Ent-)Ladeeffizienz der Salzwasserbatterien zurückzuführen.

Flussbatterien: Bei einer Flussbatterie ist im Vergleich zu einer Lithium-Ionen- oder Bleisäure-Batterie das elektroaktive Material, welches die Elektronen zum Stromfluss austauscht, nicht als feste Elektroden verbaut, sondern fließt als eine flüssige Lösung an einer Membran vorbei (Abbildung 5). Die flüssige Lösung wird in Tanks gespeichert und zum Elektronenaustausch an der Membran vorbeigepumpt. Die relevanteste Flussbatterie für eine mögliche Verwendung als Solarbatterie ist die Vanadium-Redox-Flow-Batterie.

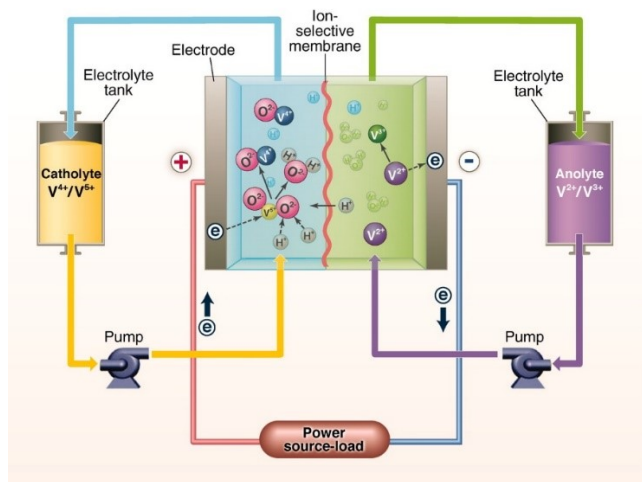


Abbildung 5: Funktionsprinzip einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie [Quelle:Dunn et al. (2011)]

In Tabelle 4 sind die Vor- und Nachteile der Flussbatterien im direkten Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien aufgezeigt. Ein zentraler Vorteil der Flussbatterie ist, dass sich Batterien mit nahezu beliebigen Kombinationen aus (Ent-)Ladeleistung (in kW) und Energiespeicherkapazitäten (in kWh) herstellen lassen, da beide Größen nicht wie bei anderen Batterietypen voneinander abhängen. Beispielsweise sind für den Einsatz als Solarbatterie Speicher mit mittleren (Ent-)Ladeleistungen möglich, die dennoch sehr hohe Energiespeicherkapazitäten aufweisen. Ein weiterer Vorteil ist, dass Flussbatterien wenig Alterungserscheinungen – wie den Verlust der Speicherkapazität und/oder den Verlust der (Ent-)Ladeleistung – über die Betriebsjahre aufweisen. So ist eine lange Benutzung der Batterie möglich. Zugleich sind hohe Entladetiefen bei der Flussbatterie zulässig, da tiefe Entladungen im Gegensatz zu Lithium-Ionen-Batterien den Verschleiss der Batterie nicht übermässig beschleunigen.

Vorteile	Nachteile
(Ent-)Ladeleistungen und Energiespeicherkapazitäten können unabhängig voneinander konfiguriert werden	Geringe Energiedichte pro Speichervolumen
Lange Nutzdauer: Betrieb verursacht nur wenig Verlust der Speicherkapazität und der (Ent-)Ladeleistung	Hohe Energieverluste vom Laden zum Entladen bei heutigen Batterien (etwa 15%)
Hohe Entladetiefen vom geladenen bis zum entladenen Zustand möglich	Komponenten wie Membranen und Elektrolyttanks oder Rohmaterialien wie Vanadium sind heute noch teuer
	Viele bewegliche Bauteile in der Batterie (z.B. Sensoren, Pumpen, Flussregler) erhöhen Fehleranfälligkeit

Tabelle 4: Vor- und Nachteile von Flussbatterien im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien [Quelle: IRENA (2017)]

Ein Nachteil der Flussbatterien ist die geringere Energiedichte pro Speichervolumen, so dass Flussbatterien einen höheren Platzbedarf benötigen können. Ein weiterer Nachteil ist zudem, dass bei heutigen Flussbatterien leicht höhere Energieverluste vom Laden zum Entladen im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien entstehen (etwa 5% höher). Zusätzlich nachteilig ist, dass die flüssigen elektroaktiven Materialien mehrere bewegliche Bauteile, wie Pumpen und Flussregler benötigen, welche die Fehleranfälligkeit und den möglichen Wartungsaufwand erhöhen können. Zuletzt sind Komponenten wie Membrane, Elektrolyttanks oder auch Rohmaterialien wie Vanadium heute noch vergleichsweise teuer.

Hochtemperatur-Batterien: Bei einer Hochtemperatur-Batterie werden wie bei einer Flussbatterie elektroaktive Materialien in flüssiger Form und eine solide Membran genutzt. Der Name der Hochtemperatur-Batterien leitet sich daraus ab, dass hohe Temperaturen über 200 °C zum Betrieb nötig sind, um die elektroaktiven Materialien im flüssigen Zustand zu halten. Typische Hochtemperatur-Batterien sind Batterien mit Natrium-Schwefel (NaS) oder mit Natrium-Nickelchlorid (NaNiCl₂), auch Salzbatterien oder ZEBRA-Batterien genannt. Dabei ist der Name «Salzbatterie» – zurückzuführen auf den Batteriebestandteil Kochsalz (NaCl) – nicht mit der «Salzwasserbatterie» zu verwechseln. In Tabelle 5 sind die Vor- und Nachteile der Hochtemperatur-Batterien im direkten Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien aufgezeigt.

Vorteile	Nachteile
Günstige und weitverbreitete Rohstoffe zur Herstellung der Batterien	Hohe Betriebstemperaturen in der Batterie nötig (über 200 °C), um die elektroaktiven Materialien flüssig zu halten, so dass relevante Energieverbräuche im Leerlauf der Batterie entstehen
Hohe Recyclingfähigkeit von etwa 99% durch einen sehr hohen Anteil ungiftiger Rohstoffe	Aufwendige Sicherheitsmassnahmen und Versiegelung, um gefährliche chemische Reaktionen zu verhindern
Wenig Alterungserscheinungen der Batterie (Verlust der Speicherkapazität und Verlust der (Ent-)Ladeleistung) durch den Betrieb, so dass eine lange Benutzung möglich ist	Geringe Energiedichte pro Speichervolumen

Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Hochtemperatur-Batterien im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien [Quelle: IRENA (2017)]

Die beiden Hauptvorteile, die Hochtemperatur-Batterien im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien attraktiv machen, sind die günstigen, weitverbreiteten Rohstoffe zur Herstellung der Batterien sowie die hohe Recyclingfähigkeit der grösstenteils ungiftigen Rohstoffe. Zugleich büssen Hochtemperatur-Batterien über ihre Betriebsjahre hinweg wenig an Speicherkapazität und (Ent-)Ladeleistung ein, so dass eine lange Benutzung möglich ist.

Als Nachteil sind ihre hohen Betriebstemperaturen über 200°C zu nennen, die im Leerlaufbetrieb, wenn die Batterie weder lädt noch entlädt, zu relevantem Energieverbrauch und entsprechenden Kosten führen. Die hohen Betriebstemperaturen in der Batterie machen zudem aufwendige Sicherheitsmassnahmen und Versiegelungen bei den Batterien notwendig, um gefährliche chemische Reaktionen zu verhindern. Nachteilig ist auch, dass Hochtemperatur-Batterien geringere Energiedichten pro Speichervolumen im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien aufweisen.

Sowohl bei Salzwasserbatterien, Flussbatterien als auch Hochtemperatur-Batterien sind bislang nur wenige Hersteller mit Solarbatterien am Markt zu finden. Bei Salzwasserbatterien sind Systeme der österreichischen Firma Greenrock am Schweizer Markt in ersten Projekten zu finden. Bei Flussbatterien gibt es beispielsweise von der deutschen Firma Schmid einen Vanadium-Redox-Flow-Solarbatterie. Bei Hochtemperatur-Batterien befindet sich mit dem Hersteller FZSoNick einer der wenigen Hersteller von Natrium-Nickelchlorid-Batterien in der Schweiz. Dessen Batterien werden als Solarbatterien der Firma Innovenergy verbaut. Zum Einsatz von Natrium-Schwefel-Batterien als Solarbatterien in der Schweiz ist bislang nichts bekannt.

Die Einschätzung der künftigen Technologien wurde im Rahmen eines Expertenworkshops Ende November 2020 diskutiert. Die Experten waren der Meinung, dass Lithium-Ionen-Batterien vermutlich auch in Zukunft den Markt der Solarbatterien dominieren werden. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass die Marktentwicklung vom viel grösseren Markt der Elektromobilität getrieben werden wird. Lithium-Ionen-Batterien verfügen über zahlreiche Vorteile für die mobile Anwendung (geringes Gewicht und Volumen) und werden daher in Fahrzeugen eingesetzt werden. Die Elektromobilität treibt damit einen stark wachsenden Markt und damit sowohl technische Fortschritte als auch sinkende Preise an. Die Experten gehen davon aus, dass die damit erzielten technischen und preislichen Vorteile dazu führen werden, dass die Lithium-Ionen-Technologie auch in stationären Anwendungen eingesetzt werden wird, auch wenn für diese Anwendung nicht alle Eigenschaften gleich relevant sind (bspw. Gewicht).

Lücken

Mögliche künftige Speichertechnologien für den Einsatz als Solarbatterie sind bekannt. Ob es noch weitere gibt und wie sie sich entwickeln werden, ist naturgemäss nicht vorauszusehen.

Zusammenfassung

In den kommenden Jahren werden vorrangig Lithium-Ionen-Batterien als Solarbatterie zum Einsatz kommen. Dabei werden vorwiegend Batterien der Zellchemien Lithium-Eisenphosphat (LFP) und Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) verbaut. Neue Technologien sind Salzwasserbatterien, Flussbatterien (Vanadium-Redox-Flow) und Hochtemperatur-Batterien (aus Natrium-Schwefel und mit Natrium-Nickelchlorid).

Quellen

- Bloomberg New Energy Finance (2020). «Electric Vehicle Outlook 2020».
- Dunn, Bruce, Kamath, Haresh, Tarascon, Jean-Marie (2011). «Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices». In: Science. Vol. 334. Issue 6058. DOI: 10.1126/science.1212741.
- Energate (2019). «Die Zahl der Salzbatterien steigt». (<https://www.energate-messenger.ch/news/197905/die-zahl-der-salzbatterien-steigt>; Aufruf am 29.10.2020).
- Fraunhofer ISI (2015). «Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030».
- IHS Markit (2020). «Global residential energy storage market».
- IRENA (2017). «Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030». Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

- Peters, J. F., & Weil, M. (2017). «Aqueous hybrid ion batteries—An environmentally friendly alternative for stationary energy storage?». *Journal of Power Sources*, 364, 258-265.
- Wikipedia. «Zebra-Batterie». (<https://de.wikipedia.org/wiki/Zebra-Batterie>; Aufruf am 29.10.2020).

4 Welche Rohstoffe braucht es für eine Batterie und sind diese limitiert?

Fakten

Die wichtigsten Ressourcen für die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien sind Lithium und je nach Zellchemie Kobalt, Mangan, Eisen, Phosphor, Aluminium, Nickel, und Titanium. Im Zusammenhang mit der Knappheit von Ressourcen werden insbesondere Lithium und Kobalt häufig diskutiert, (Fraunhofer, 2015 & McKinsey, 2018).

Box zur Bedeutung von limitierten Ressourcen

Die Limitierung von natürlichen, nicht erneuerbaren Ressourcen (Rohstoffkritikalität) wird bereits seit vierzig Jahren diskutiert. Aus ökonomischer Sicht sind knappe Ressourcen kein Problem, denn Ressourcen sind immer knapp. Wenn die Nachfrage höher ist als das Angebot, steigt der Preis. Im Falle von natürlichen Ressourcen führt dies dazu, dass die Industrie einerseits in Technologien investieren kann, um bisher nicht erschlossene Reserven neu zu erschliessen und wirtschaftliche und/oder technologische Hindernisse zu überwinden. Andererseits wird die Verwendung jener Rohstoffe in der Produktion reduziert, indem der Prozess effizienter gestaltet, in das Recycling investiert und/oder alternative Materialien gefunden werden. Neben der ökonomischen Knappheit sind jedoch auch politische Aspekte zu berücksichtigen. Wenn die Ressourcen auf wenige Länder begrenzt sind, kann dies zu Verteilungs- und Machtkämpfen führen, so dass die Marktmechanismen nicht mehr greifen, und das Risiko von politischen und kriegesischen Konflikten steigt (Schubert, 2011).

Für Unternehmen und die Wirtschaft ist es entscheidend zu erkennen, wo Knappheit auftreten könnte und so mit erhöhten Kosten oder selbst Versorgungsrisiken zu rechnen ist (EBP, 2017).

Lithium ist ein relativ häufig vorkommendes Mineral, die Förderung wird aber durch wenige Akteure dominiert. Über 85% des Lithiums wird zurzeit in nur drei Ländern gewonnen: Chile, Australien und China. Diese Länder haben auch die grössten Reserven. Die restlichen 15% werden in nur fünf weiteren Ländern gefördert. Der grösste Teil der Minenoutputs wird durch nur vier Unternehmen kontrolliert: Talison, SQM, Albemarle und FMC (McKinsey, 2018).

In der Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030 des Fraunhofer Instituts werden verschiedene Szenarien für den Lithiumbedarf bis 2050 berechnet und den globalen Ressourcen (angenommene maximal vorhandenen Mengen) und den globalen Reserven (mit der momentanen ökonomischen und technischen Situation verfügbare Ressourcen) gegenübergestellt. Allen Szenarien ist gemeinsam, dass der Bedarf durch die Elektromobilität den prognostizierten Gesamtbedarf dominiert. Die Abbildung 6 zeigt für vier mögliche Szenarien die Entwicklung der kumulierten Nachfrage sowie das dafür notwendige Primärlithium. Das notwendige Primärlithium entkoppelt sich mit der Zeit von der globalen Nachfrage aufgrund des Recyclings.

In den drei Szenarien, in denen technologische Fortschritte angenommen werden und/oder die Elektromobilität eher spät diffundiert, liegt der Bedarf an Primärlithium bis 2050 klar unter den Reserven. Im Szenario mit einer frühen globalen Diffusion der Elektromobilität und ohne technologischen Fortschritt, werden die globalen Reserven knapp bis 2050 erschöpft, nicht aber die globalen Ressourcen, die sehr viel höher liegen.

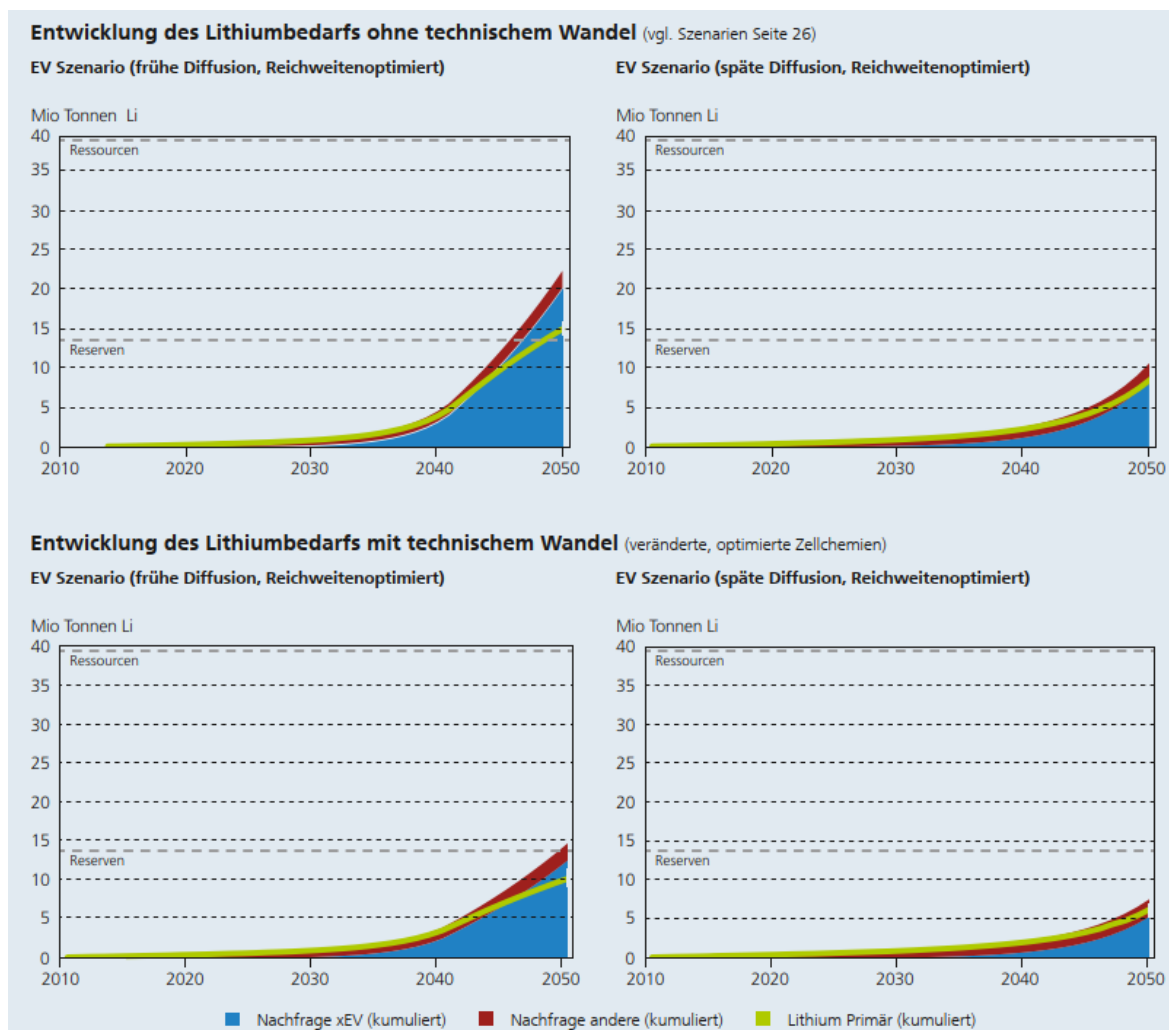


Abbildung 6: Vier Szenarien für den prognostizierter Lithiumbedarf bis 2050. [Quelle: Fraunhofer (2015)]

Kobalt ist im Vergleich zu anderen Rohstoffen selten und kommt in nur wenigen Ländern vor. Der grösste Anteil der Weltproduktion wird in der politisch instabilen Demokratischen Republik Kongo gefördert: Die Schätzungen belaufen sich auf 50% (Fraunhofer, 2015) bis fast 70% (McKinsey, 2018) der Weltproduktion. Die Länder mit der nächstgrössten Förderung sind Russland, Kuba, Australien und Kanada und machen gemäss McKinsey gerade mal 13% der globalen Produktion aus. Es gibt jedoch relativ viele Unternehmen, die in die Förderung involviert sind: Die drei grössten Produzenten machen knapp 40% der globalen Produktion aus (Glencore 22%, DRC state miner Gecamines 9% und China Molybdenum 7%).

Kobalt tritt in der Natur als Koppelprodukt mit Nickel und Kupfer auf. Die Förderung und Aufbereitung benötigt viel Energie, was einen hohen Marktpreis zur Folge hat. Gerade wegen des hohen Preises ist davon auszugehen, dass es langfristig durch Recycling eine gute Kreislaufführung geben wird. Sowohl das Fraunhofer Institut (2015) als auch McKinsey (2018) gehen ausserdem davon aus, dass der Kobaltbedarf in den kommenden Batteriegenerationen sinken dürfte, während der Nickelbedarf steigen wird. Daher könnte sich die Situation für Kobalt entschärfen. Dafür ist die Entwicklung für Nickel noch etwas unsicher (Fraunhofer Institut, 2020).

Auch die langfristige Nachfrage von Kobalt wird gemäss Fraunhofer Institut (2015) hauptsächlich durch die Elektromobilität dominiert werden. Bei einer frühen Diffusion der Elektromobilität und ohne technologischen Fortschritt übersteigt die prognostizierte Nachfrage nach Kobalt bereits vor 2040 die globalen Reserven und vor 2050 sogar die globalen Ressourcen (siehe Abbildung 7). Mit technologischem Fortschritt übersteigt der Bedarf die Reserven, nicht aber die Ressourcen. So sind dem

technologischen Fortschritt und Recycling eine wichtige Rolle beizumessen, um zukünftig innerhalb der verfügbaren Ressourcen zu verbleiben.

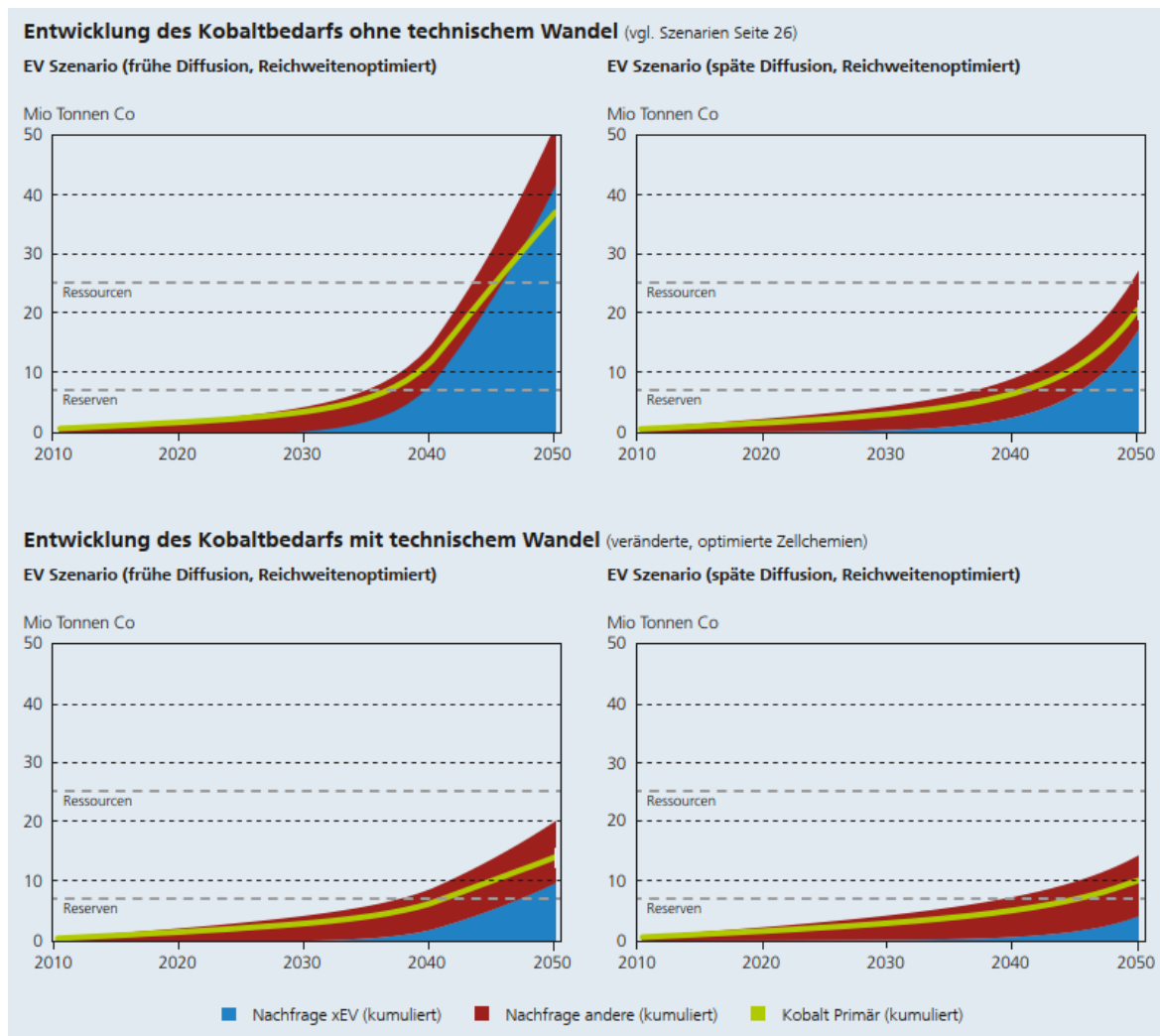


Abbildung 7: Vier Szenarien für den prognostizierter Kobalt bis 2050. [Quelle: Fraunhofer (2015)]

Lücken

Die Frage kann beantwortet werden. Die Basis der Studie ist jedoch von 2015 und seither wurden die Klimaziele international klar verstärkt (netto null Emissionen). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die Resultate vor diesem Hintergrund (bspw. Notwendiger einer rascheren Diffusion der Elektromobilität) immer noch Bestand haben.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Ressourcen für die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien sind Lithium und je nach Zellchemie Kobalt, Mangan, Eisen, Phosphor, Aluminium, Nickel, und Titanium. Im Zusammenhang mit Batterien werden die begrenzten Ressourcen von Lithium um Kobalt häufig diskutiert. Lithium ist zwar ein häufig vorkommendes Mineral, wird zurzeit aber nur in wenigen Ländern durch wenige Akteure gefördert. Die prognostizierte globale Nachfrage bis 2050 übersteigt in keinem der betrachteten Szenarien die globalen Ressourcen. Kobalt hingegen ist selten, der Grossteil der Weltproduk-

tion liegt in der demokratischen Republik Kongo. Ohne technologischen Fortschritt ist davon auszugehen, dass die Nachfrage bis 2050 die globalen Ressourcen übersteigt. Dem technologischen Fortschritt und dem Recycling sind bei beiden Rohstoffen eine grosse Bedeutung beizumessen.

Quellen

- EBP (2017). «RESourcenCHECK für KMU. RESourcen CHECK und Handlungsoptionen seltene Metalle für kleinere und mittlere Unternehmen (RESCHECK)». Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt / Swissmem.
- Fraunhofer ISI (2015). «Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030».
- Fraunhofer ISI (2020). «Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf - Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?».
- McKinsey&Company (2018). «Lithium and cobalt – a tale of two commodities».
- Schubert (2011). «Sorge um knappe Ressourcen». Kolumne der ETH Life. (https://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/110720_Kol5_schubert_mm/index.html, Abruf am 18.5.2020).

5 Wie ist die Ökobilanz einer Batterie?

Fakten

Eine Ökobilanz oder auch Life-Cycle Analysis (LCA) ist eine systematische Analyse, bei der alle Umweltauswirkungen eines Produktes bilanziert werden. Dabei wird idealerweise der gesamte Lebenszyklus eines Produkts, also von Herstellung über Nutzung bis zur Entsorgung betrachtet.

Zu Lithium-Ionen-Batterien gibt es zahlreiche Ökobilanzen, sie beziehen sich aber grösstenteils auf Batterien in Elektrofahrzeugen (Salgado Delgado, 2019). Es gibt einige wenige Studien, die Aussagen über die Umweltauswirkungen von Batterien zur stationären Speicherung von Strom ermöglichen, fünf davon werden nachfolgend zusammengefasst.

Dabei ist zu beachten, dass die Nutzungsphase der Batterien unterschiedlich abgebildet wird. Teilweise wird der in einem (Ent-)Ladezyklus verloren gegangene Strom (typischerweise unter 10%) als Umweltbelastung betrachtet (unterer Pfeil in Abbildung 8). In einigen Studien wird die Systemgrenze jedoch weiter gefasst und es wird auch die Umweltbelastung des gelieferten Stroms mit einbezogen (oberer Pfeil). Dies führt selbstverständlich zu sehr unterschiedlichen absoluten Resultaten. Wird auch die Umweltbelastung des gelieferten Stroms betrachtet, ist die Ökobilanz extrem stark davon abhängig, welche Art Strom in der Batterie gespeichert wird.

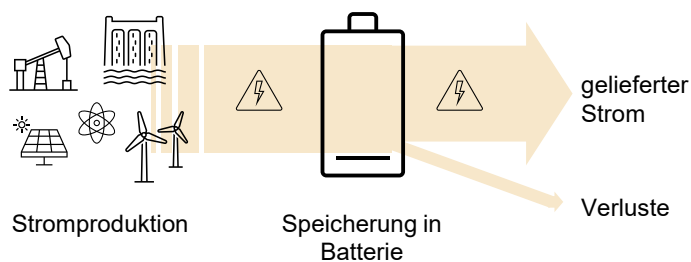


Abbildung 8: Nutzungsphase einer Batterie. Als Umweltbelastung der Nutzungsphase betrachten einige Studien nur die Umweltbelastung der Speicherverluste, andere Studien beziehen auch die Umweltbelastung des gelieferten Stroms mit ein

Studie Garderobengebäude Stadt Zürich: In einer Studie wurde für die Stadt Zürich eine Ökobilanz für die geplante Photovoltaik Anlage inklusive Speichersystem auf einem Garderoben- und Clubgebäude berechnet (Stadt Zürich, 2018 & Stolz, 2019). Dazu wurden drei unterschiedliche Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC)-Batterien miteinander verglichen: Eine heutige Batterie, eine wiederverwendete Batterie aus Elektrofahrzeugen sowie eine zukünftige Batterie mit erhöhter Energiedichte und einer aus Umweltsicht optimierten Herstellung (Stolz, 2019).

Die Umweltauswirkungen umfassen die Produktion der Batterie und werden pro kWh Speicherkapazität oder pro Jahr betrachtet und in Treibhausgasen, Energiebedarf und in Umweltbelastungspunkten (UBP) aufgeführt. Dabei kommen sie für die Herstellung pro kWh Speicherkapazität auf 185 kg CO₂-eq für die heutige, 81 kg für die wiederverwertete und 49 kg für die zukünftige Batterie. In den anderen Wirkungskategorien schneidet die heutige Batterie ebenfalls mit der höchsten Umweltbelastung ab (Tabelle 6). Bei der Herstellung des gesamten Batteriesystems macht für alle Wirkungskategorien die Herstellung der Batterie selbst den grössten Anteil der totalen Belastung aus, wobei der dazu verwendete Strom am meisten ins Gewicht fällt (Stadt Zürich, 2018).

Batterie	Umweltbelastung (in 1'000 UBP)	Primärenergie erneuerbar (kWh Öl-eq)	Primärenergie nicht-erneuerbar (kWh Öl-eq)	Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -eq)
Heutige LiNCM Batterie	594	44	896	185
Zukünftige LiNCM Batterie	142	65	227	49
Second-Life LiNCM Batterie	231	26	375	81

Tabelle 6: Umweltauswirkungen pro kWh Speicherkapazität der Herstellung der Batterien [Quelle: Stolz et al. (2019) & Stadt Zürich (2018)]

Neben der Ökobilanz der Herstellung der Batteriesysteme wurde zudem die Ökobilanz der Stromversorgung des Gebäudes berechnet. Es wurden folgende Vergleichsszenarien berechnet: 1. nur Netzversorgung (ohne Photovoltaik, ohne Batterie), 2. Photovoltaik ohne Batterie sowie Netzversorgung und 3. Photovoltaik, Batterie und Netzversorgung. Der Vergleich ist in hohem Mass von der Belastung des bezogenen Stroms abhängig. Wurde dafür der Schweizer Verbrauchsmix angenommen, führte das Hinzufügen einer Photovoltaik Anlage zu einer geringen Reduktion der Emissionen um knapp 2 t CO₂-eq/a (siehe Abbildung 9, links). Das Hinzufügen einer heutigen Batterie führte zu keiner Veränderung der Emissionen, die künftige Batterie senkte die Emissionen nochmals ein wenig. Wurde für den Vergleich ein sehr emissionsarmer Mix angenommen (über 95% Wasserkraft), lagen die Emissionen bei allen Varianten viel tiefer als mit dem Schweizer Verbrauchsmix (1 bis 4 statt 12 bis 15 t CO₂-eq/a). Die alleinige Netzversorgung lag dabei sehr viel tiefer als die übrigen Varianten (siehe Abbildung 9, rechts). Werden die jährlichen Emissionen der Photovoltaik und der Batterie auf die gelieferte Strommenge geteilt, ergeben sich Treibhausgasemissionen von rund 80 bis 100 g CO₂-eq. pro gelieferter kWh (Einbezug des gelieferten Stroms und der Verluste, Inputstrom = nur Photovoltaik).

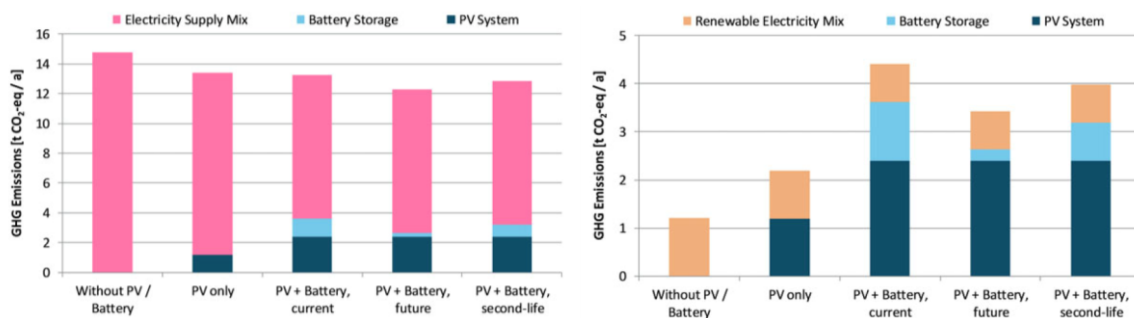


Abbildung 9: Treibhausgasemissionen der Stromversorgung eines Garderobengebäudes je nach Einsatz von Photovoltaik und Lithium-Ionen-Batterien. Annahme für Strombezug: Links Schweizer Verbraucher Mix, rechts erneuerbarer Strommix mit über 95% Wasserstrom [Quelle: Stolz (2019)]

Studie Vergleich Aluminium-Ionen und Lithium-Ionen NMC: In einer anderen Studie wurde die Umweltbelastung von zwei stationären Batterien (Aluminium-Ionen und Lithium-Ionen NMC) berechnet und miteinander verglichen (Salgado Delgado, 2019). Bei der Herstellung der Batterie werden pro kWh Speicherkapazität 2'600 kg CO₂-eq für die Aluminium-Ionen-Batterie und 250 kg CO₂-eq für die Lithium-Ionen-Batterie emittiert (Tabelle 6). Im Anhang der Studie finden sich zudem Werte zur Toxizität, Eutrophierung und Erschöpfung fossiler Rohstoffe für die Herstellung der beiden Batterietypen. Auch die Emissionen der Nutzung werden thematisiert, allerdings wird deren Umweltbelastung nicht angegeben.

Die Treibhausgasemissionen bei der Entsorgung der Batterie sind pro kWh Speicher etwa zwanzig Mal kleiner für die Lithium-Ionen als für die Aluminium-Ionen-Batterie (2 vs. 39.5 kg CO₂-eq). Neben der Herstellung macht die Entsorgung also nur einen kleinen Teil der Treibhausgasemissionen aus (Salgado Delgado, 2019). Bei der Wirkungskategorie Treibhausgase ist in dieser Studie unabhängig

vom Batterietyp immer die Produktionsphase der Batterie am bedeutendsten. So kann einen weniger CO₂ intensiver Strommix bei der Herstellung die Treibhausgase der Batterie deutlich senken (Salgado Delgado, 2019).

Studie Vergleich von vier stationären Batterietechnologien: In einer weiteren Studie wurden der kumulative Energiebedarf und das Treibhauspotenzial von vier stationären Batterietechnologien (Lithium-Ionen, Bleisäure, Natrium-Schwefel und Vanadium-Redox-Flow) untersucht (Hiremath, 2015). Die vier Technologien wurden in sieben unterschiedlichen Anwendungen und mit drei unterschiedlichen Strommischen (Mix Deutschland, Solar, Solar-Wind-Mix) untersucht. Zudem wurden für die Lithium-Ionen-Batterie auch weitere Wirkungskategorien berechnet. Die Umweltauswirkungen wurden für die Herstellung und für die Nutzung und pro MWh gelieferten Strom ausgewiesen (ohne Entsorgung). Bei der Lithium-Ionen Technologie wurde nicht eine Zellchemie gewählt. Stattdessen wurden die drei Zellchemien Lithium-Eisenphosphat (LFP), Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) und Lithium-Manganoxid (LMO) berechnet und gemittelt.

Die Resultate zeigen, dass in der Herstellung die Vanadium-Redox-Flow und die Lithium-Ionen-Batterie pro MWh geliefertem Strom am besten abschneiden (siehe Abbildung 10 links). Betrachtet man die Emissionen des produzierten Stroms (Emissionen der Herstellung, des gespeicherten Stroms und der Verluste, Abbildung 10 rechts), weist die Lithium-Ionen-Batterie die tiefsten Emissionen aus. Die Vanadium-Redox-Flow-Batterie schneidet hier viel schlechter ab, weil ihr Wirkungsgrad mit 75% viel tiefer liegt als denjenigen der Lithium-Ionen-Batterie (90%) und damit die Verluste und ihre Emissionen höher sind. Die Abbildung zeigt, dass mit dem angenommenen Strommix (fossil geprägter deutscher Strommix) die relativen Unterschiede zwischen den Batterien eher gering sind, da die Emissionen des gespeicherten Stroms die Bilanz dominieren.

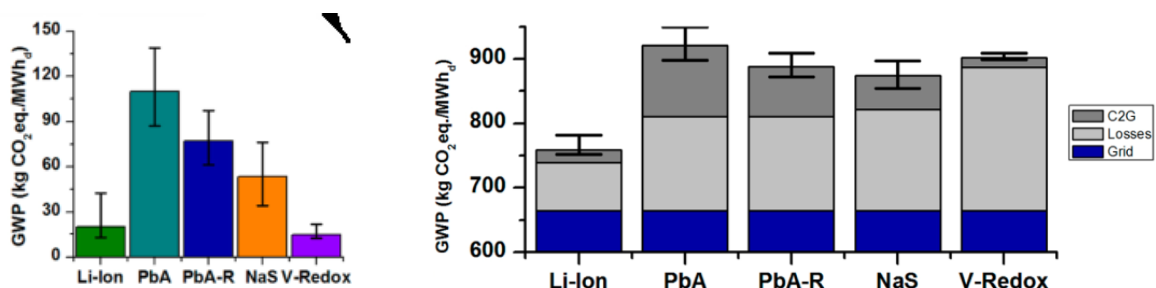


Abbildung 10: Treibhauspotenzial (GWP) der Batterietypen Lithium Ionen (Li-Ion), Bleisäure (PbA und PbA-R), Natrium-Schwefel NaS) und Vanadium-Redox-Flow (V-Redox) pro gelieferte MWh. Links nur Herstellung, rechts Herstellung inklusive Nutzung, C2G bezeichnet die Herstellung, Losses die Verluste und Grid die Emissionen des gespeicherten und gelieferten Stroms [Quelle: Hiremath (2015)]

Werden emissionsärmere Strommische angenommen, die dem heutigen Schweizer Strommix ähnlicher sind als der deutsche Strommix, verändert sich das Bild (siehe Abbildung 11). Die Emissionen liegen generell viel tiefer, die Rangfolge der Batterien bleibt dieselbe und die Emissionen der Herstellung spielen relativ gesehen eine grössere Rolle: Bei einem Wind-Solar-Mix hat die schlechteste Batterie rund 130% mehr Emissionen als die beste Batterie, beim deutschen Strommix sind es nur 20% mehr Emissionen.

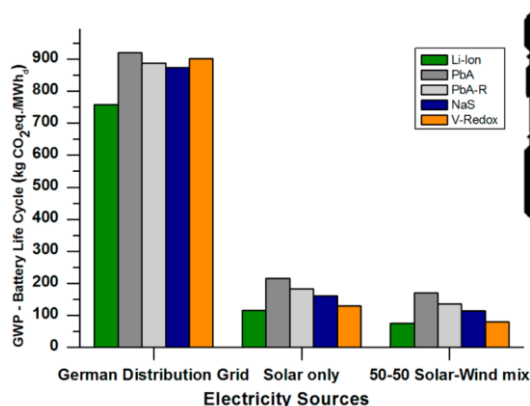


Abbildung 11: Treibhauspotenzial (GWP) der Herstellung und Nutzung der Batterietypen Lithium Ionen (Li-Ion), Bleisäure (PbA und PbA-R), Natrium-Schwefel NaS) und Vanadium-Redox-Flow (V-Redox) pro gelieferte MWh in Abhängigkeit des gespeicherten Stroms [Quelle: Hiremath (2015)]

Die weiteren Wirkungskategorien wurden mit der sogenannten ReCiPe Methode zu einer einzigen Bewertung zusammengeführt. Dabei zeigte sich, dass insbesondere 6 von 17 Kategorien einen grösseren Beitrag zur Gesamtpunktzahl beitragen: Klimawandel menschliche Gesundheit, Human-toxizität, Feinstaubbildung, Klimawandel in Ökosystemen, Verbrauch von Metallen, Verbrauch fossiler Rohstoffe.

Studie Vergleich von drei stationären Batterietechnologien: In einer weiteren Studie wurden die Umweltauswirkungen einer Salzwasserbatterie berechnet und mit einer Natrium-Ionen und zwei Lithium-Ionen-Batterien miteinander verglichen (Lithium Eisenphosphat mit Graphit-Anode (LFP-C) und Lithium Eisenphosphat mit Lithium-Titanat Anode (LFP-LTO)) (Peters & Weil, 2017). Dabei wurden die Herstellung und Nutzung ohne Entsorgung betrachtet. In der Herstellung weist die Salzwasserbatterie rund 1'000 kg CO₂-eq aus, die Natrium-Ionen-Batterie rund 40% davon und die beiden Lithium-Ionen-Batterien 20 bis 25% davon.

Für die Betrachtung der Bilanz inklusive Nutzung wurden zwei Nutzungsszenarien betrachtet – die Nutzung in Wohnbauten zur Speicherung des Stroms aus einer Photovoltaik-Anlage und die Nutzung in einem Mikrogrid-System mit Photovoltaik-Anlage und einem Dieselgenerator. Während im ersten Fall nur Strom aus Photovoltaik gespeichert wird, wird im zweiten Fall mit Diesel produzierter Strom gespeichert. Bilanziert wird nur die Umweltbelastung der Herstellung und der Verluste, nicht aber die Umweltbelastung des gelieferten Stroms.

Der Blick auf die Resultate in Abbildung 12 zeigt, dass die Salzwasserbatterie im Mikrogrid System (rechts) in jeder Kategorie schlechter abschneidet als die anderen Batterien. Dies liegt daran, dass die Batterie einen tiefen Wirkungsgrad hat. Die hohen Verluste führen bei Strom aus Diesel zu einer hohen Umweltbelastung. Im Fall des Wohnbaus wird ausschliesslich Photovoltaik Strom gespeichert. Weil dieser ökologischer ist als Strom produziert mit Diesel, fallen die hohen Verluste der Salzwasserbatterie nicht gleich stark ins Gewicht (Abbildung links). Pro kWh Speicherkapazität schneidet die Salzwasserbatterie in den meisten betrachteten Kategorien immer noch deutlich schlechter ab als die Vergleichsbatterien, aber in den Kategorien Eutrophierungspotenzial, Versauerung und menschliche Toxizität kann die Batterie mit den anderen mithalten. Die Resultate zeigen, dass die Lithium Eisen-Phosphat mit Lithium-Titanat Anode (LFP-LTO) in jeder Belastungskategorie und jedem Szenario die tiefste Umweltbelastung aufweist.

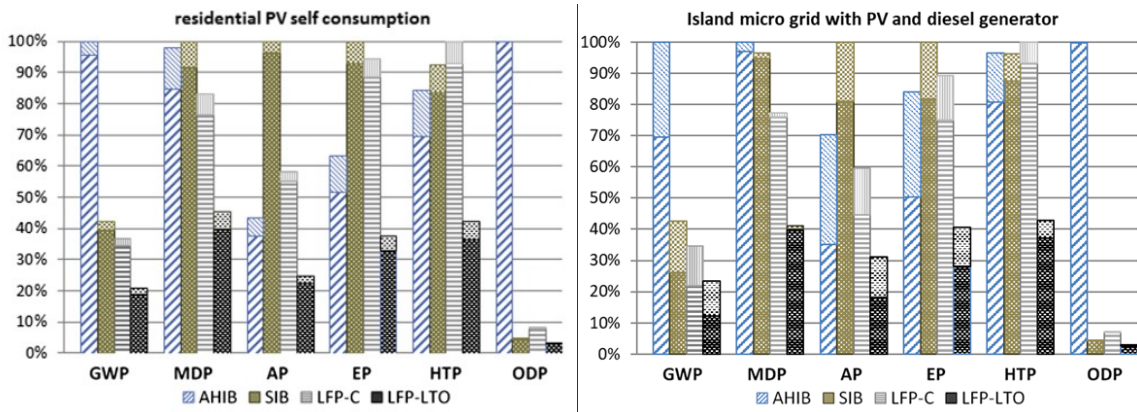


Abbildung 12: Relative Ergebnisse für Treibhauspotential (GWP), Verbrauch von Metallen (MDP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP), Humane Toxizität (HTP) und Ozonabbau (ODP) für die Batterietypen Salzwasser (AHIB), Natrium-Ionen (SIB), Lithium Eisenphosphat mit Graphit Anode (LFP-C), und Lithium Eisenphosphat mit Lithium-Titanat Anode (LFP-LTO). Die dunkleren Teile der Balken bilden die Wirkungen aus der Herstellung ab, die hellen die Stromverluste während der Nutzung [Quelle: Peters & Weil (2017)]²

Studie Vergleich von Strom aus Photovoltaik mit und ohne Batteriespeicherung: In einer weiteren Studie wurden die Umweltauswirkungen von Strom aus Photovoltaik in Wohngebäuden analysiert und dabei der direkte Eigenverbrauch mit einer Zwischenspeicherung in einer Batterie verglichen (Krebs et al. 2020). Als System wurde eine Photovoltaik Anlage von 10 kW_p (multikristallines Silizium) angenommen und wahlweise mit einer 5, 10 oder 20 kWh Lithium-Ionen-Batterie ausgerüstet (Lithium Eisenphosphat mit Graphit-Anode (LFP-C)).

Die Resultate zeigen, dass die Zwischenspeicherung in einer Batterie die Treibhausgasemissionen des Strombezugs um rund 48% bis 63% erhöhen. Die Emissionen liegen für die direkte Nutzung bei 54 g CO₂-eq/kWh und inklusive Batteriespeicherung bei 80, 84 und 88 kg CO₂-eq/kWh (für 5, 10 und 20 kWh Kapazität).

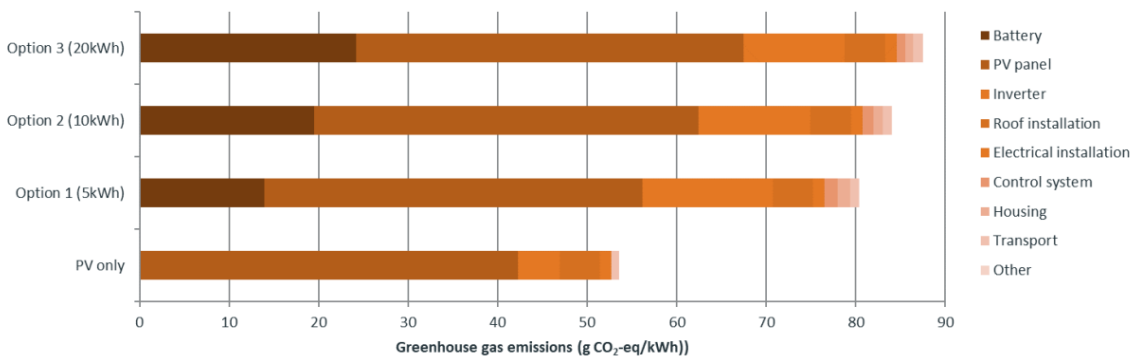


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen von Strom aus Photovoltaik, falls dieser von einer kleinen Dachanlage direkt genutzt wird «PV only» oder in einer Batterie von 5, 10 oder 20 kWh Speicherkapazität zwischengespeichert wird. [Quelle: Krebs et al. (2020)]

² Die Recherchen im Rahmen des vorliegenden Berichts haben einen Berechnungsfehler in der Kategorie Treibhausgase offenbart. Die Autoren des Papers haben korrigierten Daten zur Verfügung gestellt und dem Journal als Korrigendum zukommen lassen.

Übersicht der Studienresultate: Die Resultate für die Treibhausgasemissionen von Lithium-Ionen-Batterien werden in der folgenden Tabelle 7 in einer Übersicht zusammengestellt. Die Daten von Hiremath werden pro gelieferte Kilowattstunde dargestellt und sind daher nicht mit den übrigen Resultaten vergleichbar, welche pro kWh Kapazität angegeben werden. Die drei Studien mit Angaben zur Batterieherstellung zeigen ähnliche Grössenordnungen für die Herstellung der Batterien, also zwischen 185 und 410 kg CO₂-eq. pro kWh Kapazität. Die fünfte Studie (Krebs et al. 2020) weist keine Werte nur für die Batterieherstellung aus. Da sie jedoch für die Inventardaten der Batterie auf derselben Grundlagenstudien basiert wie die Studie von Stolz et al. 2019 und teilweise von denselben Autoren verfasst wurde, sind die verwendeten Daten für die Batterieherstellung vermutlich identisch oder zumindest sehr ähnlich.

Die in diesen fünf Studien verwendeten Daten sind jedoch vermutlich veraltet. Eine Metastudie von 113 Ökobilanzstudien von Lithium-Ionen-Batterien zeigte, dass die meisten dieser Studien nicht eigene Daten erheben, sondern bestehende Inventardaten aus anderen Studien nutzen (Peters et al. 2017). Die meisten Studien basierten direkt oder indirekt auf nur 8 Originalstudien, die in den Jahren 2000 bis 2014 publiziert wurden und somit auf dem damaligen Stand der Technologie basieren. Der rasante Anstieg der Elektromobilität hat in den vergangenen Jahren zu vielen technologischen Entwicklungen und Effizienzsteigerungen geführt, die in diesen Inventaren nicht abgebildet sind. Zum Vergleich werden daher den Resultaten der drei zitierten Studien aktuelle Daten und Metastudien (aus dem Bereich der Elektromobilität und daher ohne Angaben zur Nutzung als stationäre Batterie) gegenübergestellt. Geht man also von einer deutlich tieferen Belastung der Herstellung aus, würden sich entsprechend auch deutlich tiefere Werte für die Belastung pro gelieferter kWh Strom ergeben.

Die Werte für die Nutzungsphase sind sehr stark davon abhängig, welche Art Strom gespeichert und welche Systemgrenze gezogen wird (also ob nur die Emissionen der Verluste, oder auch die Emissionen des gelieferten Stroms bilanziert werden).

Studie	Herstellung	Herstellung & Nutzung	Entsorgung
Hiremath et al. 2015	0.02 kg CO ₂ -eq./ gelieferte kWh	750g CO ₂ -eq./gelieferte kWh deutscher Verbraucher- mix (inkl. gelieferter Strom) 110g CO ₂ -eq./gelieferte kWh aus Photovoltaik (inkl. gelieferter Strom)	nicht gerechnet
Stadt Zürich, 2018; Stolz et al., 2019	185 kg CO ₂ -eq./ kWh Kapazität	80-100 g CO ₂ -eq./gelieferte kWh aus Photo- voltaik (inkl. gelieferter Strom)	nicht gerechnet
Salgado Delgado et al. 2019	250 kg CO ₂ -eq./ kWh Kapazität	nicht angegeben	2 kg CO ₂ -eq./kWh Kapazität
Peters & Weil 2017	240-410 kg CO ₂ - eq./kWh Kapazität	150 bis 220 g CO ₂ -eq./gelieferte kWh aus Diesel (exkl. gelieferten Strom) 80 bis 145 g CO ₂ -eq./gelieferte kWh aus Pho- tovoltaik (exkl. gelieferten Strom)	nicht gerechnet
Krebs et al. 2020	Keine Angabe	80 bis 88 g CO ₂ -eq./gelieferte kWh aus Pho- tovoltaik (inkl. gelieferter Strom)	unklar
Vergleich aktuelle Studien Batterien Elektromobilität			
Emilsson & Dahlöf 2019	61-106 kg CO ₂ -eq./ kWh Kapazität	keine Aussagen	
Aichberger & Jungmaier 2020	120 kg CO ₂ -eq./ kWh Kapazität	keine Aussagen	

Tabelle 7: Übersicht der Studien, der Abdeckung der drei Bereiche Herstellung, Nutzung und Entsorgung sowie die Resultate für Treibhausgase von Lithium-Ionen-Batterien

Lücken

Die Entsorgung wird nur in einer der vier Studien thematisiert und auch hier nur für die Treibhausgasemissionen ausgewiesen. Eine Lücke besteht also in der Frage, zu welchen Auswirkungen die Entsorgung der Batterien in anderen Umweltbelastungskategorien führt. Insgesamt fokussieren die

meisten Studien stark auf die Analyse von Treibhausgasen, obwohl auch andere Umweltauswirkungen relevant wären. Es gibt Anzeichen, dass Umweltbelastungen wie die Toxizität auch sehr relevant wären (Peters et al. 2017).

Lücken bestehen in der Frage, wie sich aktuelle Daten zur Herstellung der Batterien auf die Treibhausgasemissionen des gelieferten Stromes auswirken.

Lücken bestehen zudem in einer breiteren Betrachtung des Einsatzes von Batterien. Werden Batterien bspw. eingesetzt, um das Strom-Verteilnetz nicht ausbauen zu müssen, steht der Umweltmehrbelastung durch die Batterie eine Minderbelastung durch den vermiedenen Ausbau gegenüber. Wird die Batterie «nur» eingesetzt, um den Anteil Eigenverbrauch zu erhöhen, ist unklar, ob der Mehrbelastung der Batterie überhaupt eine ökologische Minderbelastung gegenübersteht.

Zusammenfassung

Lithium-Ionen-Batterien schneiden in vergleichenden Bilanzen besser ab als Bleisäure, Natrium-Schwefel, Vanadium-Redox-flow, Salzwasser-Batterien und Natrium-Ionen-Batterien.

Die Treibhausgasemissionen von stationären Lithium-Ionen-Batterien werden von der Herstellung und der Nutzung dominiert. Die Entsorgung der Batterien verursacht neben der Herstellung nur einen sehr kleinen Teil der Treibhausgasemissionen. Als Umweltbelastung der Nutzungsphase gilt entweder die Belastung des Stromverlustes der Lade- und Entladezyklen oder zusätzlich die Belastung des gelieferten Stroms. In beiden Fällen spielt es eine grosse Rolle, welche Art Strom gespeichert wird und wie viele Zyklen über die Lebensdauer angenommen werden.

Optimierungspotenzial gibt es durch einen Einsatz von umweltfreundlichem Strom bei der Produktion der Batterie, dem Einsatz von besseren Batterien in der Zukunft und einer Wiederverwertung von Batterien aus Elektrofahrzeugen.

Quellen

- Aichberger, C. & Jungmeier, G. (2020). «Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review» *Energies* 13, no. 23: 6345.
- Emilsson, E., & Dahllöf, L. (2019): «Lithium-Ion Vehicle Battery Production: Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling». Swedish Environmental Research Institute.
- Hiremath, M., Derendorf, K., & Vogt, T. (2015). «Comparative life cycle assessment of battery storage systems for stationary applications». *Environmental science & technology*, 49(8), 4825-4833.
- Krebs, L., Frischknecht, R., Stolz, P., & Sinha, P. (2020): «Environmental Life Cycle Assessment of Residential PV and Battery Storage Systems, IEA PVPS Task 12», International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-17:2020.
- Pellow, M. A., Ambrose, H., Mulvaney, D., Betita, R., & Shaw, S. (2020). «Research gaps in environmental life cycle assessments of lithium ion batteries for grid-scale stationary energy storage systems: End-of-life options and other issues». *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00120.
- Peters, J. F., & Weil, M. (2017). Aqueous hybrid ion batteries—An environmentally friendly alternative for stationary energy storage? ». *Journal of Power Sources*, 364, 258-265.
- Peters, J.F., & Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017): The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review.
- Salgado Delgado, M. A., Usai, L., Ellingsen, L. A. W., Pan, Q., & Hammer Strømman, A. (2019). «Comparative Life Cycle Assessment of a Novel Al-Ion and a Li-Ion Battery for Stationary Applications». *Materials*, 12(19), 3270.

- Stadt Zürich (2018). «Ökobilanz PV-Anlage und Batterie für das Garderoben- und Clubgebäude in Zürich Höngg – Schlussbericht». Amt für Hochbauten.
- Stolz, P., Frischknecht, R., Kessler, T., & Züger, Y. (2019). «Life cycle assessment of PV-battery systems for a cloakroom and club building in Zurich». *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(11), 926-933.

6 Was passiert mit Batterien nach Ende Ihrer Lebensdauer?

Fakten

Recycling in der Schweiz: Für die Entsorgung von Batterien gelten in der Schweiz grundsätzlich die Bestimmungen des Umweltschutzgesetzes und damit das Verursacherprinzip. Die Sammlung, der Transport und die Verwertung von Batterien werden über eine vorgezogene Entsorgungsgebühr finanziert (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung Anh. 2.15 Ziff. 6.1), welche bereits im Verkaufspreis inbegriffen ist. Der Käufer zahlt also beim Kauf die Kosten für eine umweltgerechte Entsorgung (Sammlung, Transport und Recycling), kann dafür die Batterie am Ende ihres Lebens ohne weitere Kosten abgeben. Die Importeure, Hersteller, Händler und Verkaufsstellen von Batterien sind entsprechend gesetzlich verpflichtet, die Batterien gebührenfrei entgegenzunehmen. Die Gebühr ist gesetzlich festgelegt auf mindestens 0.1 und höchstens 7 Franken pro Kilogramm Batterie. Für Batterien, wie sie für Solarbatterien eingesetzt werden, wird aktuell eine Recyclinggebühr von 3.2 Franken pro kg erhoben. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) vergibt den Auftrag für das Erheben, Verwalten und Verwenden der Gebühr an die INOBAT Batterierecycling Schweiz. Das Recycling erfolgt beim spezialisierten Recycling-Unternehmen Batrec in Wimmis.

In der Schweiz werden gut 80% der klassischen³ Batterien zurückgebracht (Inobat 2020). Für Lithium-Ionen-Batterien lag die Rücklaufquote (Rücklauf des Jahres gemessen am Absatz desselben Jahres) im Jahr 2019 bei nur gut 20% (Inobat 2020). Dass diese Zahl so tief ist, liegt daran, dass der Absatz als Referenzgrösse in den letzten Jahren stark zugenommen hat, und daher die meisten Batterien noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer sind und somit noch nicht in den Rücklauf kommen. Die Zahl wird erst aussagekräftig, wenn sich der Absatz einige Jahre lang stabilisiert hat.

Recycling einer Lithium-Ionen-Batterie: Abbildung 14 zeigt das Vorgehen zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien der Firma Batrec. Aufgrund der kleinen Mengen und noch nicht genormten Gebinden gibt es für das Recycling von grösseren Lithium-Ionen-Batterien (z.B. alte Solarspeicher, Elektroautos) noch kein standardisiertes Verfahren. Das Recycling wird daher teilweise noch in Handarbeit durchgeführt. Grundsätzlich läuft das Recycling folgendermassen ab: Die Batteriezellen werden zunächst im Salzwasser komplett entladen und nach der Demontage unter Wasser geschreddert, wobei der leicht entflammable Elektrolyt entfernt wird. Die Rückgewinnung der wertvollen Metalle wie Nickel und Kobalt wird bisher von einem spezialisierten Unternehmen (Veolia) in Frankreich durchgeführt und erfolgt mit einer hydrometallurgischen Aufbereitung mit Hilfe von Säure und Laugen. Diese ist sehr selektiv, wodurch bis zu 95% des ursprünglich eingesetzten Nickels und Kobalt zurückgewonnen werden können. Jedoch haben die zurückgewonnenen Metalle bisher nicht die ausreichende Qualität, um den hohen Qualitätsansprüchen für neue Batterien zu genügen (Batrec, 2018 & SRF, 2019).

3 gebührenbelastete Geräte- und Industriebatterien ohne Lithium-Ionen

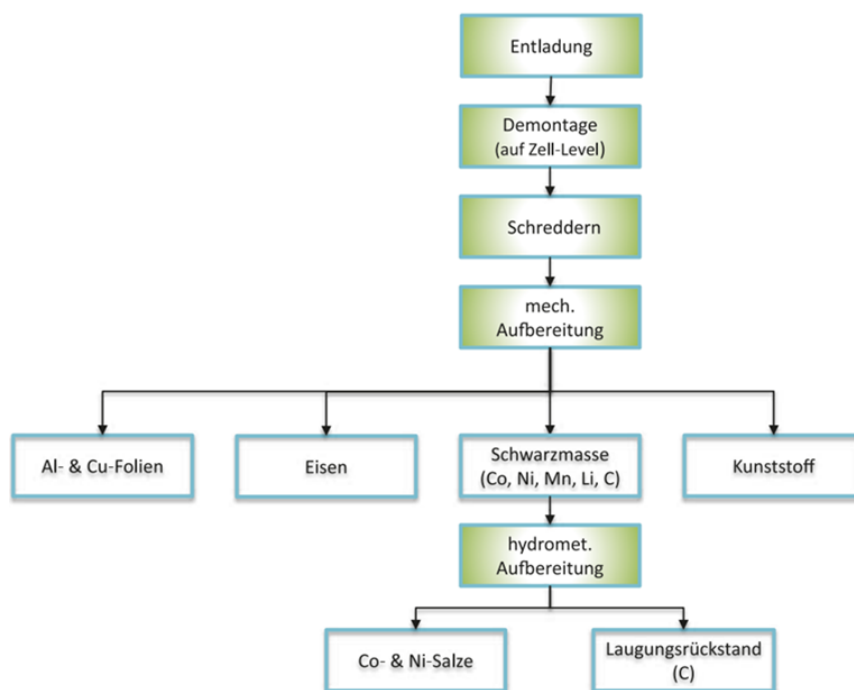


Abbildung 14: Recyclingweg für Lithium-Ionen-Akkus/Batterien bei Batrec/Veolia [Quelle: BATREC (2018)]

Die Firma Kyburz, welche elektrischen Dreiradroller für die Schweiz und den Export herstellt, hat in den letzten Jahren mit der Unterstützung der Empa und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) ein neues Recycling Verfahren für die Batterien ihrer Fahrzeuge entwickelt. Im September 2020 hat die Firma eine erste entsprechende Anlage in Betrieb genommen (EE News, 2020). Im neuen Verfahren werden die Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) optimal entladen, die Zellen sorgfältig zerlegt und mittels Wasser ohne Einsatz von Chemikalien rezykliert. Damit können 91% der enthaltenen Metalle wiedergewonnen werden.

Box zu «Second Life» von Batterien

Das Ende der Lebenszeit von Lithium-Ionen-Batterien ist bei Elektroautos voraussichtlich nach ca. 7 bis 10 Jahren erreicht, wobei die Batterien danach immer noch rund 70 bis 80% ihrer anfänglichen Kapazität aufweisen (Fraunhofer Institut, 2020)⁴. Da sich das Anforderungsprofil für Solarbatterien von demjenigen von Elektroautos unterscheidet, kann eine alte Elektroauto-Batterie danach noch als Solarbatterie eingesetzt werden. Batterien von Elektroautos können also ein «zweites Leben» in einer anderen Funktion führen. Grosse Autobauer wie VW, Nissan oder Renault haben das zweite Leben der Batterie in ihren Elektromobilitätsstrategien vorgesehen und dazu auch schon einige Pilotprojekte mit Solarbatterien durchgeführt (SRF, 2019).

Der ökologische Hauptvorteil des «zweiten Lebens» ist, dass die graue Energie der Produktion über eine längere Lebensdauer verteilt werden kann. Dadurch verbessert sich nicht nur die Ökobilanz der Batterie, sondern auch der Neubedarf von kritischen Rohstoffen wie Nickel, Kobalt und Lithium wird reduziert.

⁴ Der grobe Richtwert von 80% wurde 1996 erstmals im „Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual“ in den USA als grober Richtwert für das Ende der Lebensdauer angegeben. Dieser Wert wird bis heute in beinahe allen Publikationen angenommen bzw. nur leicht variiert. Eine Analyse ergab, dass bei 80 % Restkapazität eines Mittelklassewagens ein Anteil von 4% der Fahrer in den USA ihre täglichen Fahrten nicht mehr bewerkstelligen könnten. Bei Restkapazitäten von 70%, 60% und 50% stieg dieser Anteil jeweils auf ca. 7 %, 11 % und 17% (Schaufenster Elektromobilität, 2016).

Ein Pilotprojekt der Schweizer Post im Jahr 2017 untersuchte den Einsatz von Batterien von aussortierten Post-Dreiradfahrzeugen (Sattler, 2017). Die Erfahrungen zeigen, dass es einige technische Hindernisse zu überwinden gilt, um den Batterien von elektrischen Fahrzeugen als Solarbatterien zu nutzen. Die Entwicklung und der Einbau eines eigenen Batterie Management System (BMS) und eines Wechselrichters erschwert und verteuert eine Zweitnutzung. Wirtschaftlich kann somit eine Second-Life-Lösung laut Michael Sattler, Projektleiter des Pilotprojektes, kaum mit den schnell sinkenden Preisen von neuwertigen Batterien mithalten. Das liegt aber auch daran, dass grosse Mengen und ein standardisierter Prozess fehlt. Für den erfolgreichen und wirtschaftlichen Einsatz von alten Elektroautobatterien sei vor allem entscheidend, dass diese Nutzfunktion bereits im ersten Leben d.h. bei der Installation im Elektroauto berücksichtigt wird.

Auf Grund des steigenden Absatzes von Elektroautos werden alte Lithium-Ionen-Batterien in den kommenden Jahren auf den Markt kommen. Ob und wie diese danach direkt genutzt oder recycelt werden, hängt von sehr vielen Faktoren wie Rohstoffpreisen, technologischer Entwicklung und politischen Rahmenbedingungen ab. Zurzeit gibt es keine Anbieter in der Schweiz, die Second-Life-Batterien für Private anbieten.

Ein Beispiel aus dem Ausland zeigt, in welche Richtung es gehen könnte. Der britische Anbieter der Solarbatterie Powervault (www.powervault.co.uk) lancierte 2017 ein Pilotprojekt zusammen mit Renault, bei dem 50 alte Batterien aus Elektroautos in Haushalten mit bereits installierten Solaranlagen eingebaut wurden. Mittlerweile bietet das Unternehmen Second Life Modelle als ökologische Variante für Stromspeicher für Solaranlagen auf ihrer Website an.

Lücken

Es bestehen keine Lücken zur Beantwortung der Frage.

Zusammenfassung

Es ist gesetzlich geregelt, dass Batterien speziell entsorgt werden müssen. Der Käufer zahlt beim Kauf über eine vorgezogene Gebühr die Kosten für eine umweltgerechte Entsorgung, kann dafür die Batterie am Ende ihres Lebens ohne zusätzliche Kosten abgeben. Die aktuelle Rücklaufquote für Lithium-Ionen-Batterien von etwa 20% ist nicht aussagekräftig, da der tiefe Wert darauf zurückzuführen ist, dass der Absatz als Referenzgrösse in den letzten Jahren stark zugenommen hat und daher die meisten Batterien noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer sind und somit noch nicht in den Rücklauf kommen.

Es bestehen bereits Recyclingverfahren, durch die ein Grossteil der vorhandenen Metalle zurückgewonnen werden kann. Die Verfahren stehen jedoch noch am Anfang ihrer Entwicklung.

Quellen

- BAFU (2020). «Batterien». (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallwegweiser-a-z/batterien.html>, Aufruf am 07.10.2020).
- BATREC (2018). «Recycling von Lithium-Ionen Akkumulatoren». Präsentation von Dieter Offenthaler am Batterieforum vom 31.10.2018
- EE News (2020). «Schweizer Elektrofahrzeughersteller Kyburz: Rezykliert Lithium-Ionen-Akkus zu 91% - von der Bachelorarbeit zum Pionierprojekt». (https://www.ee-news.ch/de/article/44502/schweizer-elektrofahrzeughersteller-kyburz-rezykliert-lithium-ionen-akkus-zu-91-von-der-bachelorarbeit-zum-pionierprojekt?utm_source=newsletter1195&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter1195, Aufruf am 07.10.2020).
- Fraunhofer Institut (2020). «Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf - Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?».

- Inobat (2020). «Tätigkeitsbericht 2019».
- Sattler M, Hausammann B, Held M. (2017). «Stromspeichersystem mit Second-Life Akkumulatoren (SL-Speicher)». (<https://blog.electrosuisse.ch/second-life-fur-postroller-batterien>, Aufruf am 07.10.2020). Bern: Bundesamt für Energie BFE; 2017.
- Sattler, Michael (2020). Mündliche Mitteilung vom Juli 2020.
- Schaufenster Elektromobilität (2016). «Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen».
- SRF (2019). «Interview mit Dr. Offenthaler von Batrec zu Lithium-Ionen-Batterien in Elektroautos». (<https://www.srf.ch/news/wirtschaft/mobilitaet-im-umbruch-am-ende-bleibt-die-batterie>, Abruf am 07.10.2020).

7 Welches ist die Branchenstruktur in der Schweiz?

Fakten

Im Rahmen eines Expertenworkshops wurde im November 2020 die Struktur der Branche skizziert. Wie der gesamte Bericht bezieht sich auch diese Analyse auf das Segment der Privatkunden, also typischerweise den Einsatz in Einfamilienhäusern und kleineren Mehrfamilienhäusern. Die überschaubare Struktur ist in Abbildung 15 dargestellt. Es gibt einerseits den dreistufigen Vertrieb über Grosshändler und Installateur zur Kundschaft. Die wenigen Grosshändler sind entweder auf den Solarmarkt spezialisiert oder stammen aus dem Elektrogrosshandel. Es gibt jedoch auch einen relevanten zweistufigen Vertrieb: Viele der grösseren Installateure importieren Batterien auch selbst, zumindest gewisse Modelle. Nicht alle Modelle können direkt importiert werden, da gewisse Hersteller ihre Produkte nur über Grosshändler vertreiben.

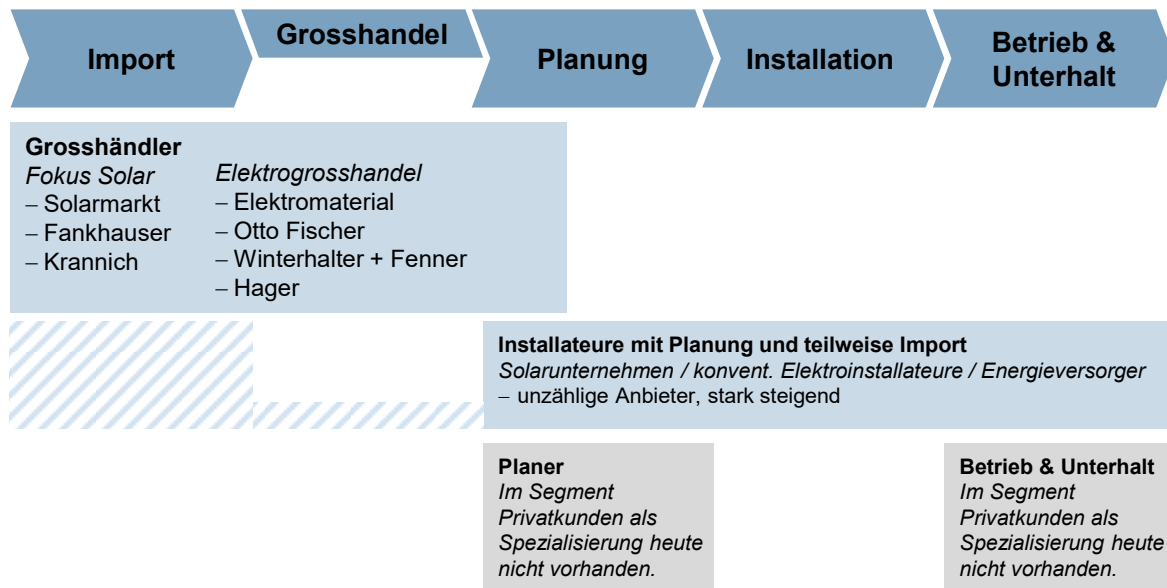


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Branchenstruktur von Solarbatterien für Privatkunden

Die Unterstützung beim Betrieb und Unterhalt leisten immer die Installateure, oft werden Service-Abos verkauft. Die Überwachung und der Unterhalt sind ein zu kleines Geschäft, als dass sie von Spezialisten angeboten würden. Im Segment der Privatkunden gibt es heute keine Unternehmen, die nur eine Planung anbieten, da die Planung solcher Anlagen sehr einfach ist («nur» Dimensionierung).

Die Branchenstruktur für grössere Batterien für ganze Überbauungen oder gewerbliche Kunden sieht anders aus. In diesem Segment gibt es die Planung als Einzeldienstleistung und zusätzlich die Bewirtschaftung der Batterien, um beispielsweise zusätzliche Erträge zu generieren.

Lücken

Die grobe Struktur der Branche ist bekannt. Nicht bekannt sind beispielsweise die Anzahl Firmen, die Solarbatterien anbieten, die Aufteilung des Marktes auf einen zwei- oder dreistufigen Vertrieb, der Anteil des Batterien, der über die grössten 10 Installateure verkauft wird oder wie oft Batterien mit Neuanlagen installiert werden (verglichen mit einer Nachrüstung).

Zusammenfassung

Der Vertrieb von Solarbatterien in der Schweiz erfolgt sowohl dreistufig über den Grosshandel als auch zweistufig direkt über Installateure. Die Unterstützung beim Betrieb und Unterhalt leisten immer die Installateure, oft werden Service-Abos verkauft. Im Segment der Privatkunden gibt es heute keine Unternehmen, die nur die Planung anbieten, da die Planung solcher Anlagen sehr einfach ist.

Quellen

- Expertenworkshop vom 24. November 2020.

8 Wie ist die bisherige Nachfrage nach Batterien?

Fakten

Die Nachfrage nach Batteriespeichern als Solarbatterien hat zwischen 2015 und 2018 stark zugenommen. Während im Jahr 2015 noch rund 140 Batterien mit einer Gesamtkapazität von 1'800 kWh verkauft wurden, waren es im Jahr 2019 bereits 1'500 Batterien mit einer Gesamtkapazität von über 20'000 kWh (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17). In all diesen Jahren dominierte die Lithium-Ionen-Technologie mit mehr als 90% Marktanteil. Bleisäure-Batterien spielen nur noch eine kleinere Rolle.

Der Gesamtbestand verkaufter Batterien wird Ende 2019 auf rund 4'900 Batterien mit einer Gesamtkapazität von 51'000 kWh geschätzt.

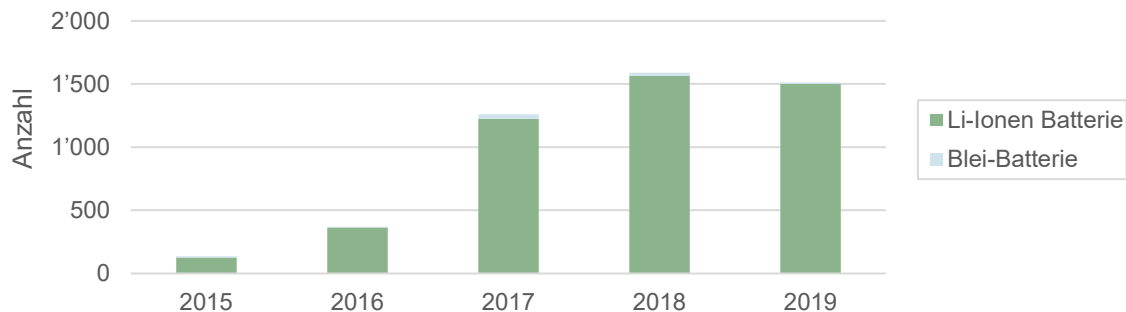


Abbildung 16: Entwicklung der pro Jahr verkauften Batterien nach Technologie [Quelle: Swissolar (2015), Swissolar (2016) und BFE (2017-2019)]

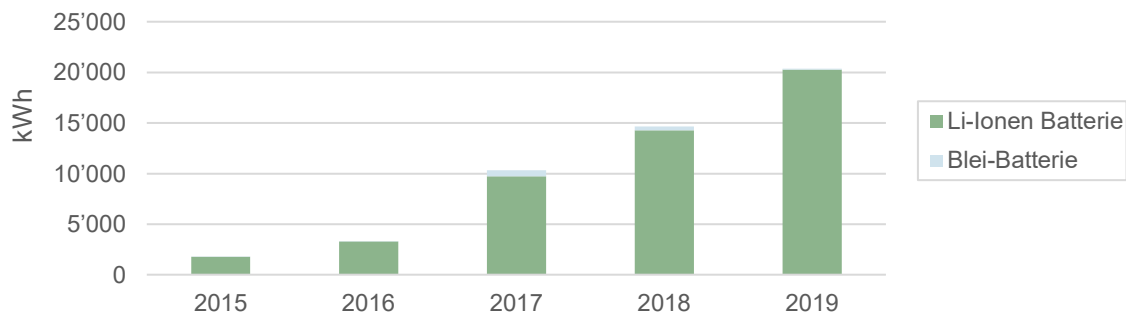


Abbildung 17: Entwicklung der pro Jahr verkauften Batteriekapazität nach Technologie [Quelle: Swissolar (2015), Swissolar (2016) und BFE (2017-2019)]

Die durchschnittliche Kapazität einer Batterie lag im Jahr 2015 bei rund 13 kWh, sank bis ins Jahr 2017 auf 8 kWh und stieg seither wieder auf 13.5 kWh an (siehe Abbildung 18). Die Gründe dafür sind unklar. Die durchschnittliche Kapazität konnte in den ersten beiden Jahren aufgrund der Stückzahlen stark von einzelnen Anlagen abhängen. Eine einzelne grössere Batterie gewerblicher Art kann hier bereits den Durchschnitt stark nach oben ziehen. Die Entwicklung könnte auch mit der Förderung der Photovoltaik und den Preisen der Photovoltaik abhängen und den damit einhergehenden Trends zur typischen Grösse von Photovoltaik Anlagen in Wohnbauten.

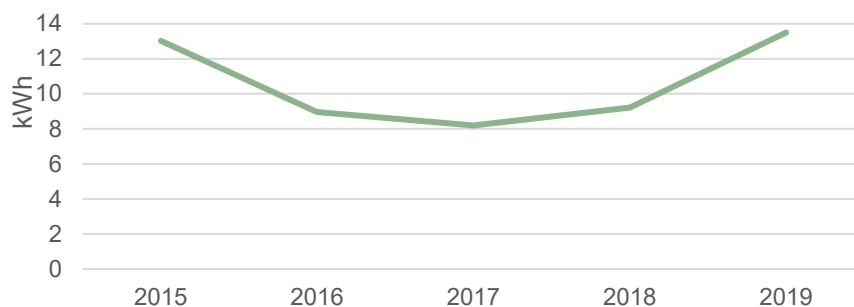


Abbildung 18: Entwicklung der durchschnittlichen Kapazität pro verkaufte Batterie (Quelle: Swissolar 2015, Swissolar 2016 und BFE 2017-2019)

In Deutschland wurde beobachtet, dass mit sinkenden Materialpreisen die installierte Kapazität stieg. Die Autoren der entsprechenden Studie schliessen daraus, dass seitens Endkunden eine «emotionale» Barriere bei 10'000 Euro liegt und Installateure bei sinkenden Preisen entsprechend höhere Kapazitäten bis zu dieser Barriere offerieren (Figgenger, 2020). Da unklar ist, wie sich die Preise in der Schweiz entwickelt haben, kann keine Aussage darüber gemacht werden, ob dies auch in der Schweiz ein Grund sein könnte.

Lücken

Die Entwicklung der Anzahl Batterien und der Kapazität sind bekannt. Diverse Zusatzinformationen zur Nachfrage werden derzeit nicht erhoben und/oder veröffentlicht: Die Verteilung auf Zellchemien, die Verteilung der Grössenklassen der Batterien (nur Durchschnitt), die Verteilung auf bestehende oder neue Photovoltaik-Anlagen, die Verteilung auf Gebäudetypen und die geographische Verteilung.

Zusammenfassung

Der Verkauf von Batterien als Solarbatterien hat sich zwischen 2015 und 2019 rund verzehnfacht. 2019 wurden ungefähr 1'500 Batterien mit einer Gesamtkapazität von über 20'000 kWh installiert. Der Gesamtbestand wird für Ende 2019 auf rund 4'900 Batterien mit einer Gesamtkapazität von 51'000 kWh geschätzt. Die dominante Technologie mit über 95% ist die Lithium-Ionen-Technologie.

Quellen

- BFE (2017-2019). «Markterhebung Sonnenenergie».
- Figgenger, Jan, Stenzel, Peter, Kairies, Kai-Philipp, Linssen, Jochen, Haberschusz, David, Wessels, Oliver, Angenendt, Georg, Robinius, Martin, Stolten, Detlef, Sauer, Dirk Uwe (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review». In: Journal of Energy Storage 29 (2020), 101153.
- Swissolar (2015, 2016). «Kurzbericht Elektrische Energiespeicher».

9 Welches sind die Preise für Solarbatterien?

Fakten aus der Literatur

Für die Anschaffung von Solarbatterien in Haushalten ist der Preis des Systems ein zentraler Entscheidungsfaktor. In der Schweiz wurden die Preise für Solarbatterien (inkl. Installationskosten) für 2016/2017 abgeschätzt (siehe Abbildung 19). Dazu wurden einige Angebote bei Speicherinstallateuren in der Schweiz eingeholt. Die Datenlage war damals schwierig, da die Daten in sehr unterschiedlicher Form vorlagen (Anlagen mit oder ohne Installation, mit oder ohne offerierter Photovoltaik-Anlage, mit oder ohne Mehrwertsteuer, etc.) und damit viel Expertenschätzung mit einfluss. Die Preise liegen zwischen 1'000 bis 2'500 Fr. pro kWh Speicherkapazität. Die Preise pro kWh sind tendenziell bei grösserer Speicherkapazität geringer. Es zeigen sich jedoch auch bei identischer Speicherkapazität teilweise grosse Unterschiede.

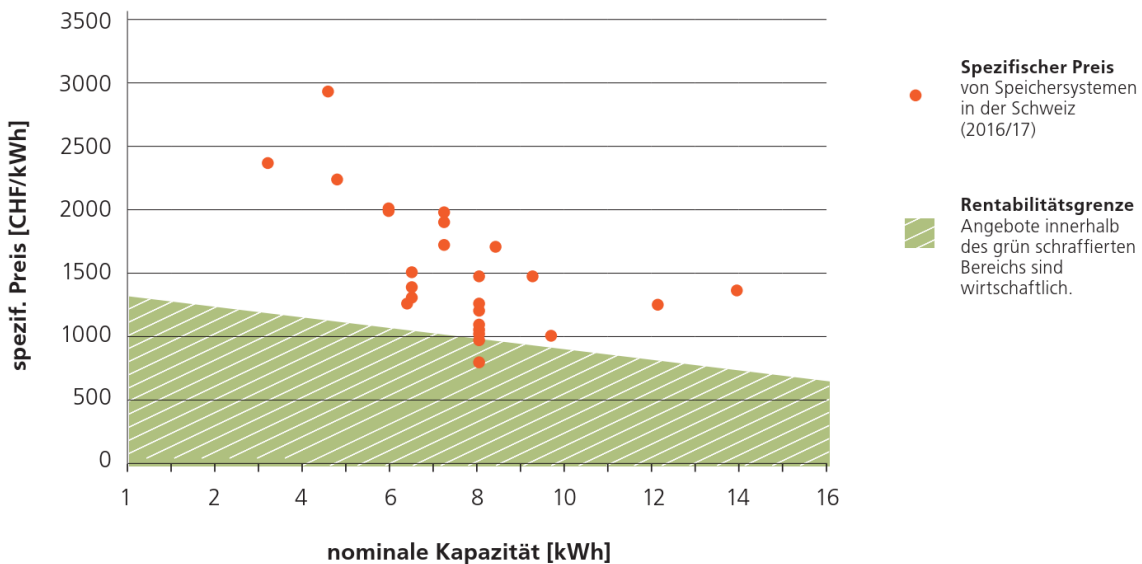


Abbildung 19: Preiserhebung 2016/2017 für Solarbatterien inkl. Installationskosten in der Schweiz [Quelle: Energie-Schweiz (2018)]

Aktuellere Preise lassen sich in Markterhebungen aus Deutschland finden. Diese Preise lassen sich als Richtwerte der allgemeinen Preisentwicklung nutzen, da viele der in der Schweiz verkauften Solarbatterien von internationalen Systemherstellern stammen. Eine Studie der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich (Figgner, 2020) hat die Preise für Solarbatterien von 2013 bis 2018 erhoben. Die umgerechneten Preise für Systeme ohne Installation lagen im Jahr 2018 pro kWh zwischen etwa 900 Fr. für grosse Anlagen über 12 kWh und 1'550 Fr. für kleine Anlagen unter 6 kWh (Abbildung 20).

Damit liegen die Preise (ohne Installation, Jahr 2018) wider Erwarten im Mittel nur wenig tiefer als die Preise der Schweizer Schätzung (inkl. Installation, Jahr 2016/2017). Dies erstaunt, weil die Preise in Deutschland für andere Haustechnik oft deutlich tiefer sind und weil die deutschen Zahlen ohne Installationskosten sind.

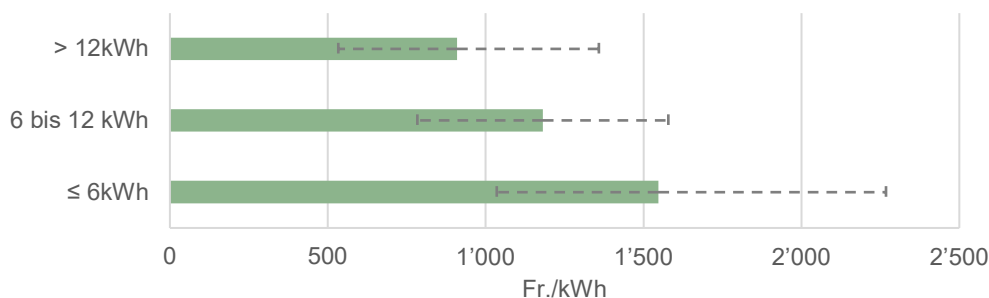


Abbildung 20: Endkundenpreise 2018 für Solarbatterien aus Deutschland ohne Installation (umgerechnet von Euro zu Franken, Abzug deutsche und Aufschlag schweizerische MWSt.) [Quelle Rohdaten: Figgener (2020)]

Methode der Erhebung

Da die einzige Erhebung der Schweiz auf einer geringen Datenmenge beruht und der Vergleich mit der Erhebung in Deutschland diverse Fragen aufwirft, wurde im Rahmen der vorliegenden Studie eine Preiserhebung in der Schweiz durchgeführt.

Grundlage der Preiserhebung ist ein vordefiniertes Einfamilienhaus als Referenzgebäude. Als Referenzgebäude wurde das Einfamilienhaus ausgewählt, weil dies gemäss Aussagen diverser Installateure in der Schweiz der häufigste Anwendungsfall ist. In diesem Referenzgebäude soll die bestehende Photovoltaik-Anlage mit einer Batterie ergänzt werden. Das Referenzgebäude wurde wie folgt beschrieben:

- Einfamilienhaus mit vierköpfiger Familie. Energiebezugsfläche 180 m², die Gebäudehülle wurde im Jahr 2010 energetisch saniert.
- Jährlicher Strombezug: 8'500 kWh für Heizung und Warmwasser mit Luft-Wasser Wärmepumpe, restlicher Verbrauch 4'000 kWh
- Bestehende Photovoltaik-Anlage mit südausgerichteten Modulen und einer installierten Spitzenleistung von 6.5 kW und einer Jahresproduktion von 7'250 kWh

Installateure wurden gebeten, eine Offerte für eine Batterie ohne und eine Batterie mit Back-up-Funktionalität zu stellen (also die Fähigkeit, bei einem Netzausfall Strom bereitzustellen). Es wurde keine gewünschte Speicherkapazität angegeben, die Installateure mussten diese selbst vorschlagen.

Es wurden dazu im Oktober 2020 insgesamt 62 Installateure in der Deutschschweiz und der Suisse Romande angefragt. Für eine ausgefüllte Offerte erhielten die Installateure 150 Fr. Insgesamt retournierten 27 Installateure das Erhebungsformular (siehe dazu auch Tabelle 8), wobei ein Installateur 3 verschiedene Varianten vorschlug. Dies ergibt eine Stichprobe von insgesamt 29 Preisofferten für ein Batteriespeichersystem.

Landesteil	Angefragt	Retourniert
Deutschschweiz	50	23 ⁵
Suisse Romande	12	4
Total	62	27

Tabelle 8: Rücklaufquote Offertanfrage

⁵ Drei dieser Installationsfirmen sind sowohl in der Deutschschweiz als auch in der Suisse Romande tätig.

Von den befragten Installateuren gaben 6 nur eine Preisofferte für eine Solarbatterie ohne Back-up-Fähigkeit an. Auf der anderen Seite boten 3 Installateure nur Solarbatterien mit einer Back-up-Fähigkeit an (siehe Tabelle 9).

Preisangabe Solarbatterie	Anzahl
Nur Solarbatterie ohne Back-up-Fähigkeit	6
Nur Solarbatterie mit Back-up-Fähigkeit	3
Beide Solarbatterietypen	20
Total	29

Tabelle 9: Anzahl Preisofferten zu den jeweiligen Solarbatterien

Resultate der Erhebung

Das folgende Unterkapitel zeigt die Ergebnisse der Preiserhebung. Sämtliche Resultate sind, solange nicht explizit erwähnt, ohne Mehrwertsteuer angegeben. Abbildung 21 stellt die spezifischen Kosten pro kWh Kapazität für Solarbatterien ohne Back-up-Fähigkeit unterschiedlicher Grösse dar. Es ist ein Trend festzustellen, dass grössere Batteriesysteme runtergerechnet auf die einzelne kWh günstiger angeboten werden als kleinere. Allerdings kann die Streuung der Kosten von gleich grossen Solarbatterien bis zu 600 Fr. betragen.

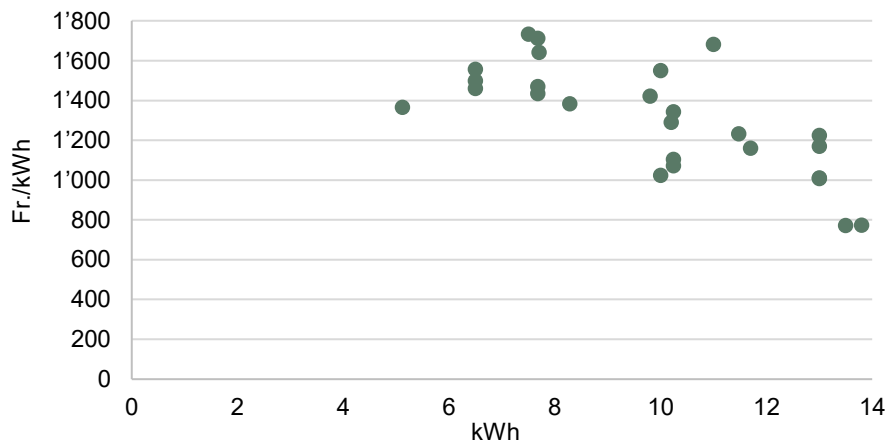


Abbildung 21: Preise für Solarbatterien inkl. Installationskosten exkl. MWSt. in der Schweiz von Solarbatterien ohne Back-up-Fähigkeit [Quelle: EBP (2020)]

Hersteller: Es wurden insgesamt Solarbatterien von 12 unterschiedlichen Herstellern vorgeschlagen wurden. Der Hersteller BYD war mit 9 der meist empfohlene Systemhersteller gefolgt von Varta, E3DC und Sonnen (siehe Abbildung 22). 8 verschiedene Hersteller wurden jeweils nur einmal angeboten – darunter Huawei, Kostal, RCT, Alpha ESS, Ecocoach, Energy Depot Swiss GmbH, Innoenergy GmbH und Tesla.

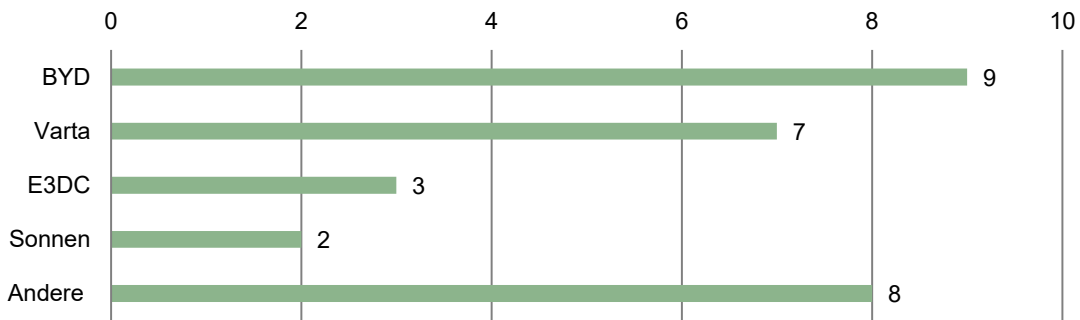


Abbildung 22: Häufigkeit der Systemhersteller der offerierten Solarbatterien [Quelle: EBP (2020)]

Technologie: 28 der 29 vorgeschlagenen Batterien basieren auf Lithium. Nur ein Installateur schlug eine Batterie mit Natriumchlorid vor (ohne spezifischere Angaben). 9 Installateure boten Lithium-Eisenphosphat (LFP) und 4 Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) Batterien an. 15 Installateure gaben nur an, dass sie eine Lithium-Ionen-Technologie einsetzen würden ohne weitere Spezifikation (siehe Abbildung 23).

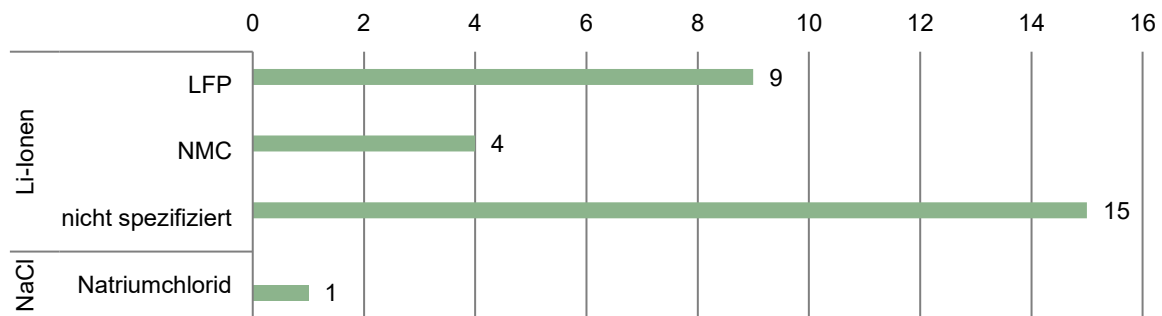


Abbildung 23: Häufigkeit der offerierten Technologie [Quelle: EBP (2020)]

Kapazität: Die offerierte Batteriekapazität der Back-up-unfähigen Solarbatterien bewegt sich zwischen 5.1 bis zu 13.8 kWh. Der Mittelwert beträgt 9.8 kWh und der Median 10.1 kWh. Die mittleren 50% der Batterien liegen zwischen 7.7 und 12.0 kWh. Die verschiedenen Quantile sowie der Median sind in Abbildung 24 dargestellt. Eine Erläuterung, wie ein Boxplot zu interpretieren ist, beschreibt die untenstehende Box zu *Boxplots*.

Die eher grosse Bandbreite kann unterschiedliche Gründe haben. Einerseits ist die Dimensionierung nicht trivial, die geeignete Grösse hängt nicht nur vom Verbrauch ab, sondern von seinem zeitlichen Verlauf. Es bestehen erst beschränkt geeignete Tools. Andererseits zeigt die Bandbreite vermutlich auch, dass einige Verkäufer eher wirtschaftlich effiziente Varianten empfehlen und andere eher grosszügig unterwegs sind. Schliesslich ist die Bandbreite auch geprägt von den Hauptlieferanten eines Installateurs und den verfügbaren Modellen.

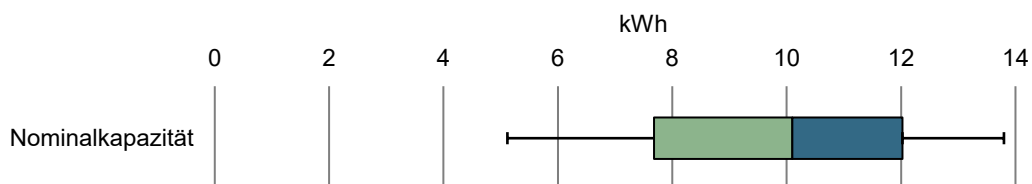
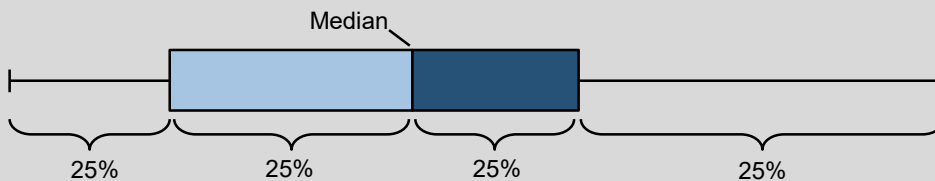


Abbildung 24: Nominalkapazitäten der Solarbatterien ohne Back-up-Fähigkeit (n= 26) [Quelle: EBP (2020)]

Boxplot

Die Box in der Mitte entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Der Strich in der Mitte der Box entspricht dem Median. Der Median unterteilt einen Datensatz in zwei Hälften: 50% der Daten sind kleiner als der Median, 50% der Daten grösser als der Median. Der Mittelwert wird in der Graphik nicht gezeigt, aber im Text immer wieder als Vergleich erwähnt. Er entspricht dem arithmetischen Mittel des Datensatzes, resultiert also aus der Summe aller Werte geteilt durch die Anzahl der Werte. Der Mittelwert ist präziser als der Median, reagiert aber stärker auf einzelne Ausreisser. Die „Antennen“ links und rechts der Box entsprechen den untersten bzw. den obersten 25% der Daten.



Nominalleistung: Die niedrigste Leistung der Back-up-unfähigen Solarbatterien liegt bei 1.8 kVA, während die höchste Leistung einen Wert von 13.8 kVA hat. Der Mittelwert beträgt 5.4 kVA und der Median 5 kVA (siehe Abbildung 25).

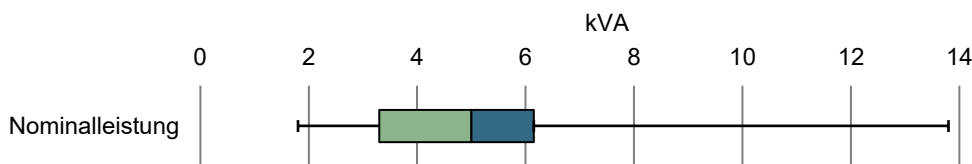


Abbildung 25: Nominalleistungen der Solarbatterien ohne Back-up-Fähigkeit (n=25) [Quelle: EBP (2020)]

Preise: Die Preise pro kWh Kapazität sind für Batteriesysteme unter 10 kWh Kapazität teurer als für solche mit einer Kapazität über 10 kWh (siehe Abbildung 26). Für die kleinere Grössenkatgorie betragen die Durchschnittskosten 1'480 Fr. pro kWh, für die grösseren Systeme 1'140 Fr. pro kWh.

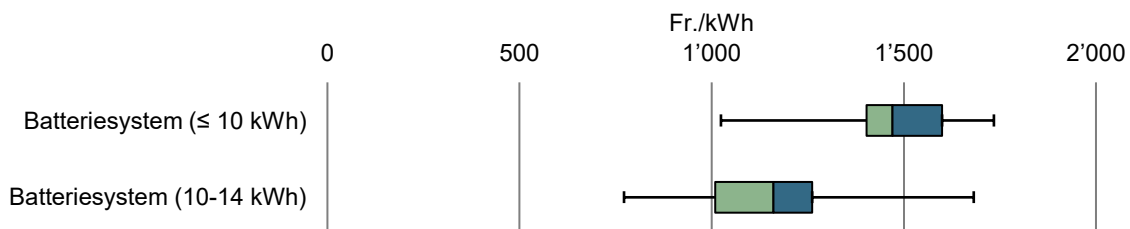


Abbildung 26: Preise der Solarbatterien exkl. MWSt. ohne Back-up-Fähigkeit (n=13 (≤ 10 kWh), m=13 (>10 kWh)) [Quelle: EBP (2020)]

Die Back-up-Fähigkeit erhöht den Preis von Solarbatterien mit einer Kapazität unter 10 kWh um durchschnittlich 300 Fr. pro kWh. Dies entspricht einem Preisaufschlag von 20% im Vergleich zu einem System ohne Back-up-Fähigkeit in dieser Grössenordnung. Für Batterien von 10 bis 14 kWh Kapazität belaufen sich die Mehrkosten auf 250 Fr. pro kWh oder auf einen Kostenanstieg von 22%.

Die grosse Kostenbandbreite der offerierten Solarbatterien ist vor allem auf die Materialkosten zurückzuführen. Diese Kostenkomponente hat einerseits die grösste Varianz verglichen mit den anderen Komponenten und macht andererseits den grössten Teil der Gesamtkosten aus. Solarbatterien mit einer Kapazität über 10 kWh werden innerhalb einer Bandbreite von 577 und 1'381 Fr. pro kWh angeboten. Diese Systeme kosten im Schnitt 953 Fr. pro kWh. Kleinere Solarbatterien (unter 10 kWh Kapazität) kosten im Durchschnitt 1'228 Fr. pro kWh (siehe Abbildung 27).

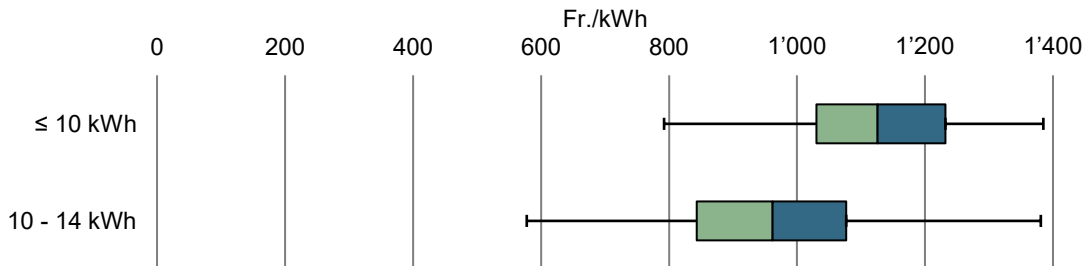


Abbildung 27: Preise für das Material (exkl. MWSt.) von verschiedenen grossen Solarbatterien ohne Back-up-Fähigkeit (n = 13, m = 13) [Quelle: EBP (2020)]

Betrachtet man die übrigen Kostenkomponenten sind die Installationskosten mit einem Durchschnittspreis von 170 Fr. pro kWh Kapazität vor administrativen Arbeiten (84 Fr. pro kWh) und zusätzlichen Arbeiten (55 Fr. pro kWh) am teuersten (siehe Abbildung 28). Einige Installateure berechneten keinen Installationsaufwand. Vermutlich werden diese Kosten mittels einer höheren Marge auf den Materialkosten abgedeckt.

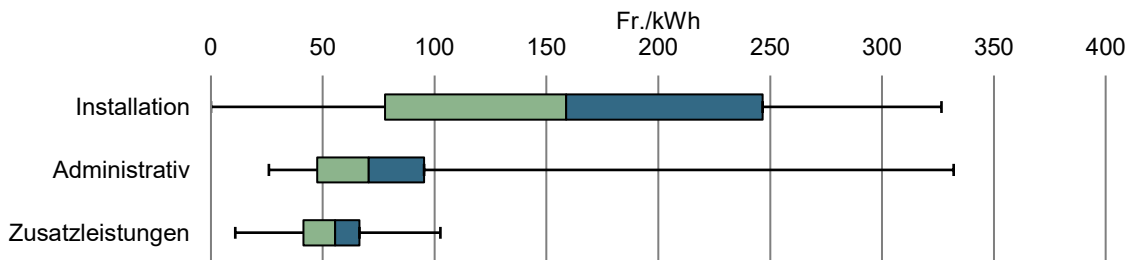


Abbildung 28: Preise (exkl. MWSt.) der Kostenkomponenten von Solarbatterien ohne Back-up-Fähigkeit (n=26) [Quelle: EBP (2020)]

Das Material trägt durchschnittlich zu 72%, die Installation zu 12%, administrative Arbeiten zu 6% und Zusatzarbeiten zu 4% der Gesamtkosten bei (siehe Abbildung 29). Als administrative Arbeiten zählen zum Beispiel die Installationsanzeige an den Verteilnetzbetreiber oder die Erstellung einer ausführlichen Anlagendokumentation. Transportkosten oder Recyclinggebühren sind unter Zusatzleistungen zusammengefasst.

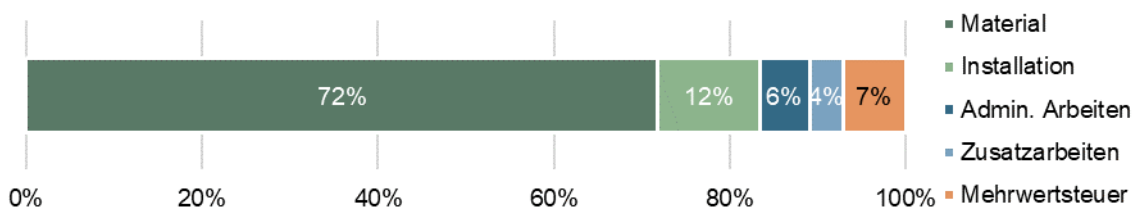


Abbildung 29: Relativer Kostenanteil aufgeschlüsselt nach Komponente einer Solarbatterie ohne Back-up-Fähigkeit inkl. MWSt. [Quelle: EBP (2020)]

Ein Vergleich mit der Preiserhebung für Solarbatterien in der Schweiz in den Jahren 2016 und 2017 ist nicht seriös möglich, da bei der damaligen Preiserhebung keine Angaben dazu bestehen, ob die Preise bspw. die Installation umfassen oder nicht. Vergleicht man die Preise, liegen die Preise aktuell (Jahr 2020) ähnlich hoch wie damals, bei den hohen Kapazitäten etwas tiefer. Ein Vergleich der Abbildung 19 mit Abbildung 21 zeigt, dass heute im Vergleich zu damals grössere Batteriekapazitäten angeboten werden. Diese Entwicklung entspricht auch der schweizweiten Nachfrage (siehe Abbildung 18 in Kapitel 8). In Deutschland wurde beobachtet, dass mit sinkenden Materialpreisen die installierte Kapazität stieg (siehe Kapitel 8). Die Autoren der entsprechenden Studie schliessen daraus, dass seitens Endkunden eine «emotionale» Barriere bei 10'000 Euro liegt und Installateure bei sinkenden Preisen entsprechend höhere Kapazitäten bis zu dieser Barriere offerieren (Figgenger, 2020).

Die Endkundenpreise in Deutschland (für das Jahr 2018, ohne Installationskosten) bewegen sich in einer ähnlichen Bandbreite wie die erhobenen Preise in der Schweiz (für das Jahr 2020 und inklusive Installation). So scheint es, dass Batterien in der Schweiz tatsächlich zu tieferen Preisen (exkl. MWSt.) angeboten werden als in Deutschland.

Lücken

Es bestanden keine aktuellen und gut fundierten Daten zu den Preisen in der Schweiz. Mit einer Preiserhebung wurde diese Lücke für das Einsatzgebiet Einfamilienhaus geschlossen.

Zusammenfassung

Eine Preiserhebung von Solarbatterien in der Schweiz hat ergeben, dass ein Batteriesystem ohne Back-up-Fähigkeit für ein Einfamilienhaus durchschnittlich 1'480 Fr. pro kWh für Systeme bis 10 kWh Kapazität und 1'140 Fr. pro kWh für Batteriesysteme über 10 kWh Kapazität beträgt. Eine zusätzliche Back-Up-Funktionalität verursacht rund 20% Mehrkosten. Die Materialkosten machen gemäss Angaben der Installateure mit über 72% den Hauptanteil der Gesamtkosten aus.

Quellen

- EnergieSchweiz (2018). «Stationäre Batteriespeicher in Gebäuden».
- Erhebung durch EBP im Jahr 2020, siehe Beschreibung oben.
- Figgenger, Jan, Stenzel, Peter, Kairies, Kai-Philipp, Linssen, Jochen, Haberschusz, David, Wessels, Oliver, Angenendt, Georg, Robinius, Martin, Stolten, Detlef, Sauer, Dirk Uwe (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review». In: Journal of Energy Storage 29 (2020), 101153.

10 Welche Entwicklungen in den Preisen werden künftig erwartet?

Fakten

Während es zur bisherigen Preisentwicklung in der Schweiz keine Daten gibt (Kapitel 9), sind Preise für Solarbatterien (ohne Installation) für Deutschland umfassend dokumentiert (Abbildung 30). Zwischen den Jahren 2013 und 2018 sanken die mittleren Preise pro kWh von Solarbatterien mit einer Speichergrösse unter 6kWh um 33% auf 1'530 €/kWh, mit einer Speichergrösse zwischen 6 und 12kWh um 50% auf 1'150€/kWh, und mit einer Speichergrösse über 12kWh um 46% auf 900 €/kWh. Damit ist im mittleren Grössensegment der Solarbatterien die absolute und relative Preissenkung am grössten.

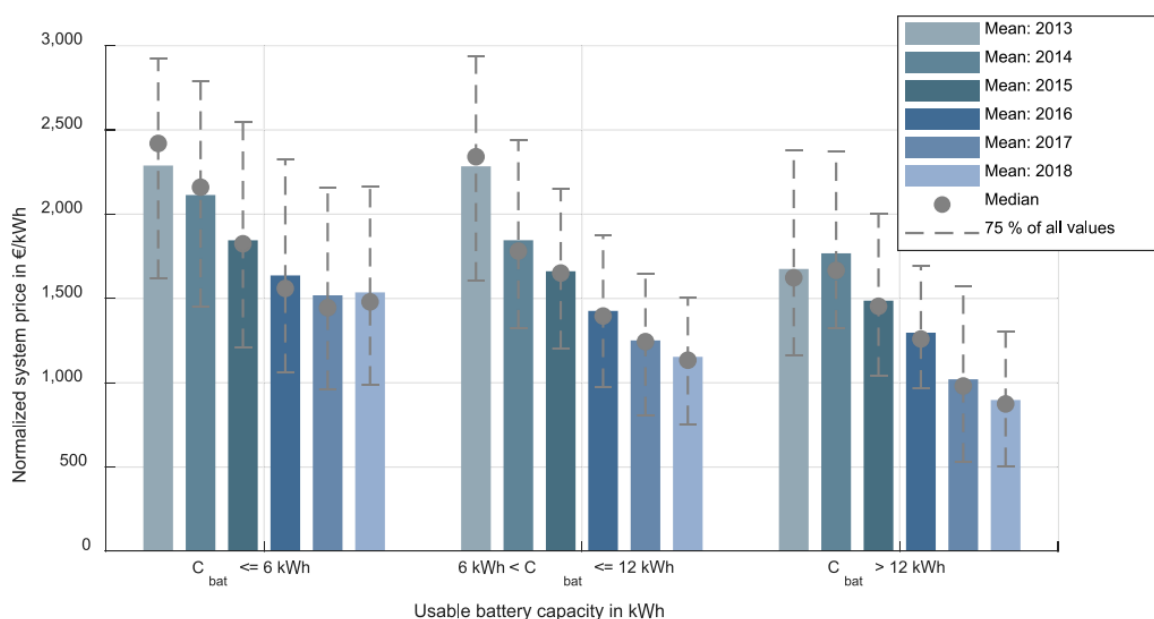


Abbildung 30: Entwicklung des Endkundenpreises von Solarbatterien (ohne Installation) mit Lithium-Ionen-Batterien in Deutschland (inkl. Leistungselektronik und 19% MwSt.) [Quelle: Figgenger, (2020)]

Mit Blick auf die zukünftige Preisentwicklung verglich das Joint Research Centre der Europäischen Union im Jahr 2018 verschiedene Prognosen für Solarbatterien (Abbildung 31). Da dabei nicht zwischen Endkundenpreisen und Produktionskosten unterschieden wurde, sind die absoluten Zahlen der unterschiedlichen Quellen nicht vergleichbar. Die Analyse zeigt dennoch, dass in den nächsten Jahren von starken Kosten- und Preissenkungen ausgegangen wird. Für die Entwicklung der Endkundenpreise lassen sich die Höchstpreise der Prognose von Schmidt et al. (2017) (in rosé) als Anhaltspunkt benutzen, da diese den Endkundenpreisen im Jahr 2020 aus Abbildung 30 nahekommen und zugleich den prozentual geringsten Preisverfall unter den dargestellten Datenquellen aufweisen. Demnach beträgt die Senkung der Endkundenpreise für das Material gegenüber heute im Jahr 2025 rund 30% und im Jahr 2030 rund 40%.

In der Schweiz macht das Material derzeit rund einen Anteil von gut 70% des Endkundenpreises inkl. Installation aus (siehe Abbildung 29). Wird angenommen, dass die Preise für Installation und Administration konstant bleiben, ergibt sich für den Preis inkl. Installation eine Reduktion von 30% zwischen 2020 und 2030, also Endkundenpreise von ca. 800 Fr./kWh für Batterien 10 bis 14 kWh und ca. 1'050 Fr./kWh für Batterien unter 10 kWh (abgeleitet von Preisen in Abbildung 26).

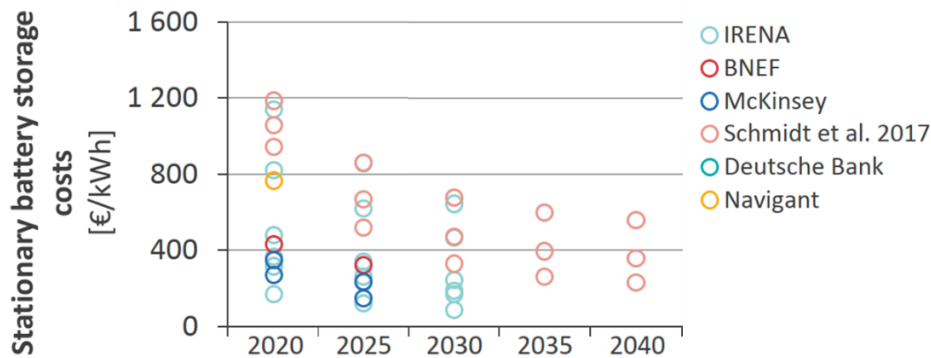


Abbildung 31: Vergleich verschiedener Kostenprognosen von Solarbatterien ohne Installation, basierend auf Literaturangaben (Anmerkung: Schätzungen von IRENA umfassen alle chemischen Zusammensetzungen von Lithium-Ionen-Batterien) [Quelle: Anpassung von Tsiropoulos, (2020)]

Die sinkenden Preise von Solarbatterien sind auf verschiedene Potenziale für Kostenreduktionen und Effizienzsteigerungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zurückzuführen. Die Internationale Agentur für erneuerbare Energien (IRENA) hat diese Potenziale im Jahr 2017 genauer aufgeschlüsselt (Abbildung 32). Dabei wird von einer Senkung der Produktionskosten von rund 62% von 2016 bis 2030 ausgegangen (von etwa 580 €/kWh auf 220 €/kWh).

Demnach werden grosse Kostenreduktionen im Bereich der Kathoden erwartet. Vielversprechende Entwicklungen sind seitens einer effizienteren Materialnutzung, günstigeren Materialien und verbesserten Lade-/Entladeeffizienzen und Lebensdauern zu beobachten. Andere Materialien, die zur Verbindung und dem Zusammenbau der Zellen, Module und Packs benutzt werden, erfahren ebenfalls erhebliche Kostenreduktionen. Zu dieser Entwicklung werden die höhere Energiedichte pro Batteriepack und sogenannte Skaleneffekten durch die steigende Nutzung und Produktion von Batterien beitragen. Während Arbeitskosten («Labor») stark vom Produktionsstandort abhängen, wird damit gerechnet, dass der Trend zu mehr Automatisierung in der Produktion zu geringerem Personaleinsatz führen wird. Darüber hinaus werden grössere Stückzahlen zu einer breiteren Verteilung der Arbeits- und Verwaltungskosten («Overhead») führen.

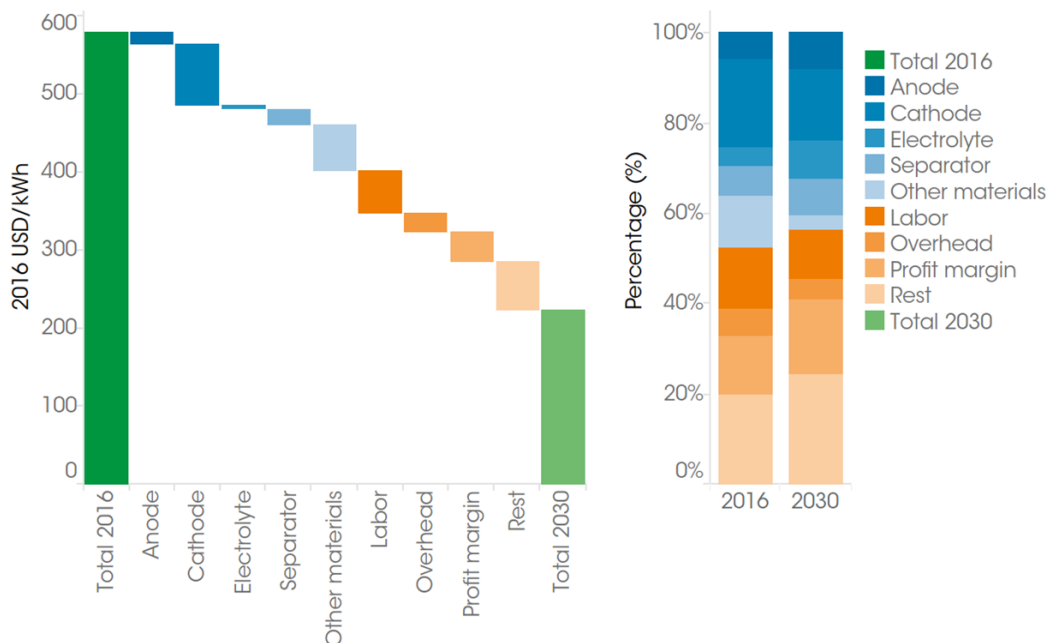


Abbildung 32: Reduktionspotenziale nach Kostenbestandteilen bei Solarbatterien mit Lithium-Ionen-Batterien mit LFP-Chemie [Quelle: IRENA (2017)]

Die Kostenprognosen wurden im Rahmen eines Expertenworkshops im November 2020 diskutiert. Einige Teilnehmer weisen darauf hin, dass bereits seit längerem starke Preissenkungen prognostiziert werden, welche bisher in der Schweiz nicht eingetroffen sind. Andere Teilnehmer stützen die Prognosen der internationalen Studien mit Hinweis auf das absehbare starke Wachstum der Elektromobilität. Zudem wurde darauf hingewiesen, dass bei Solarbatterien mit zu berücksichtigen sei, dass Kostensenkungen aufgrund der Zweitnutzung von Autobatterien möglich sind (siehe «second life» im Kapitel 6).

Lücken

Es bestehen aktuell nur internationale Prognosen für die Entwicklung der Speicherkosten (ohne Installationskosten) und keine spezifischen schweizerischen Vorhersagen.

Zusammenfassung

International wird erwartet, dass die Systempreise bis 2030 um 40% gegenüber 2020 fallen werden. Diese Preissenkungen sind auf Kostenreduktionen und Effizienzsteigerungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Batterien zurückzuführen. Für den Endkundenpreis inklusive Installation bedeutet dies eine Senkung von rund 30% zwischen 2020 und 2030. Dies ergäbe also Endkundenpreise von ca. 800 Fr./kWh für Batterien 10 bis 14 kWh und ca. 1'050 Fr./kWh für Batterien unter 10 kWh.

Quellen

- Figgner, J., Stenzel, P., Kairies, K.-P., Linssen, J., Haberschusz, D., Wessels, O., Angenendt, G., Robinius, M., Stolten, D., Sauer, D. U. (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review». In: Journal of Energy Storage 29 (2020), 101153.
- IRENA (2017). «Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030». Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N. (2018). «Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth». EUR 29440 EN. Luxemburg: Publications Office of the European Union, JRC113360.

11 Wie ist die Wirtschaftlichkeit von Batterien?

Fakten aus der Literatur

Eine Studie der Fachhochschule Nordwestschweiz ist der Frage nachgegangen, ob die Anschaffung einer Solarbatterie finanziell sinnvoll ist (Roth, 2018). Die Frage wurde anhand eines real gemessenen Haushaltslastprofil beantwortet. Der jährliche Strombedarf beträgt 4'773 kWh. Das entspricht einer 4-Zimmerwohnung ohne Wärmepumpe (EiCom, 2019). Die Photovoltaikanlage hat eine Nominalleistung von 5.8 kW. Übrige Annahmen sind in Tabelle 10 zu finden.

Variable	Annahme
Strombedarf	4'773 kWh/a
Leistung Photovoltaik Anlage	5.79 kW
Hochtarif / Niedertarif Strombezug	17 Rp./kWh / 13.1 Rp./kWh
Hochtarif / Niedertarif Rückspeisung	7.7 Rp./kWh / 6.25 Rp./kWh
Kosten Photovoltaik heute / Zukunft	2'200 Fr./kWp / 800 Fr./kWp
Förderung heute / Zukunft	30% der Investitionskosten / 0%
Kosten Batterie heute / Zukunft	700 Fr./kWh / 100 Fr./kWh
Zins	Nicht angegeben

Tabelle 10: In der Studie getroffene Annahme zu Stromnachfrage und -produktion sowie zu Kosten (Roth, 2018)

Die Studie untersuchte eine sehr grosse Bandbreite an möglichen Batteriekapazitäten. Der Eigenverbrauch (Anteil des erzeugten Stroms, der selbst genutzt wird) und der Eigenversorgungsgrad (Anteil des erzeugten Stroms an der gesamten Stromnachfrage des Haushalts) nimmt bis ca. 15 kWh Batteriekapazität stark zu. In dieser Grössenordnung wird vor allem der täglich produzierte Strom verlagert. Erst ab einer Speicherkapazität von ca. 300 kWh lässt sich der Strom über mehrere Wochen und Monate speichern (saisonale Speicherung), wobei sich dadurch der Effekt der zusätzlichen Kapazität auf die Autonomie erhöht. Dazwischen hat eine Erhöhung der Kapazität nur eine geringe Auswirkung. Um eine komplett autarke Stromversorgung sicherzustellen, braucht es im Beispielhaushalt eine Batterie mit 1'291 kWh Kapazität (ca. 8 Tonnen schwer).

Um eine wirtschaftlich optimierte Batteriegrösse zu eruieren, wurden die durchschnittlichen Stromgestehungskosten in Abhängigkeit der Batteriegrösse berechnet. Eingerechnet wurden die Kosten der Photovoltaikanlage, des Batteriespeichers sowie die Strombezugskosten. Von den Kosten abgezogen wurden die Erträge durch die Rücklieferung eines Teils des Stroms ins öffentliche Netz. Abbildung 33 zeigt, dass die Stromgestehungskosten mit einem Batteriespeicher höher sind als der reine Netzbezug und sich somit bei heutigen Bedingungen eine Investition in eine Solarbatterie nicht lohnt.

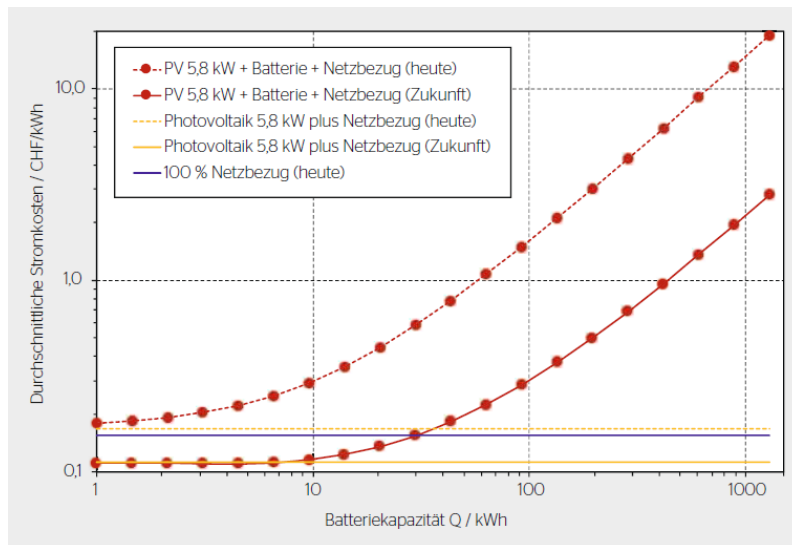


Abbildung 33: Durchschnittliche Stromgestehungskosten zu heutigen und zukünftigen Preisen [Quelle: Roth (2018)]

International wird davon ausgegangen, dass die Preise für Solarbatterien sinken werden (siehe auch Kapitel 10). In der Studie werden daher auch die Stromgestehungskosten berechnet, die bei einer deutlichen Preissenkung resultieren (Photovoltaik 800 Fr./kW_p statt 2'200 Fr./kW_p und die Batterie für 100 Fr./kWh statt für 700 Fr./kWh, siehe auch Tabelle 10). Diese Annahmen führen zu tieferen mittleren Stromgestehungskosten und dazu, dass sich bei gleichbleibenden Netzbezugskosten eine kleine Batterie knapp lohnen kann (die Stromgestehungskosten mit Batterie sind bis zu ca. 5 kWh ein wenig tiefer als ohne Batterie, siehe Abbildung 33).

Die getroffenen Annahmen sind als zu optimistisch einzustufen. So sind die heutigen Preise für Solarbatterien in der Schweiz deutlich höher als in der Studie angenommen (siehe Kapitel 9). Auch die Annahme für zukünftige Preise entspricht nicht den ausgewerteten Prognosen in Kapitel 10.

Obwohl Solarbatterien heute nicht wirtschaftlich sind, nimmt die Nachfrage in der Schweiz laufend zu (siehe Kapitel 8). Abbildung 33 zeigt, dass kleinere Batteriespeicher von bis zu ca. 10 kWh die Stromgestehungskosten nicht allzu stark erhöhen. Vor allem in diesem Bereich werden heute Batterien verkauft. Hier stehen andere Entscheidungsmotive im Vordergrund als die Rentabilität (siehe auch Kapitel 12).

Grundlagen Berechnungen Wirtschaftlichkeit

Um aufzeigen zu können, wie stark die Wirtschaftlichkeit von welchen Faktoren abhängt, wurde im Rahmen der vorliegenden Marktstudie die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Varianten verglichen. Die unterschiedlichen Ausprägungen sind in Tabelle 11 ersichtlich. Es wurde zwischen der jährlichen Stromnachfrage eines Einfamilienhauses (EFH) und eines Mehrfamilienhauses (MFH) unterschieden. Die Stromnachfrage basiert auf der durchschnittlichen Belegungsdichte von drei Personen im Einfamilienhaus und zwei Personen pro Wohnung im Mehrfamilienhaus, wobei das Mehrfamilienhaus im Median aus 6 Wohnungen besteht (BFS, 2019). Der Jahresverbrauch wurde als 5'630 kWh und 19'920 kWh für das Ein- und Mehrfamilienhaus angenommen (Nipkow, 2013). In einigen Varianten wurde auf Nachfrageseite eine Wärmepumpe und/oder ein Elektroauto ergänzt (BFS, 2019 & EBP, 2018). Es wird angenommen, dass das Elektroauto den Strom zu 48% zuhause lädt (Nicholas, 2020). Zusätzlich wird für das Ein- und Mehrfamilienhaus je zwischen zwei Grössen von Solaranlagen und Solarbatterien unterschieden (BFE, 2019). Die gewählten Batteriespeicherkapazitäten basieren auf den im Kapitel 9 gemachten Erkenntnissen. Dadurch ergeben sich 32 vergleichbare Varianten.

Gebäudetyp	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Photovoltaik-Anlage	Klein (6 kWp) Gross (11 kWp)	Klein (14 kWp) Gross (26 kWp)
Nutzbare Batteriespeicherkapazität	Klein (4 kWh) Gross (10 kWh)	Klein (10 kWh) Gross (20 kWh)
Stromnachfrage + Wärmepumpe + Elektromobilität	5'630 kWh pro Jahr +5'940 kWh pro Jahr +3'547 kWh pro Jahr	19'920 kWh pro Jahr +16'254 kWh pro Jahr +16'554 kWh pro Jahr

Tabelle 11: Aus den verschiedenen Profilen für Stromverbrauch, PV-Anlage und Batteriegrössen (nutzbare Kapazität) ergeben sich insgesamt 32 Kombinationen

Um die Sensitivität der Wirtschaftlichkeit auf wichtige Faktoren darzustellen, wurden die Investitionskosten, die Stromtarife und die Rückliefertarife variiert (siehe Tabelle 12). Als Standardannahmen wurde wo möglich der Schweizer Durchschnitt gewählt.

Kategorie	Standardannahme	Quelle Standardannahme	Sensitivität
Kosten Batterie Gross/Klein	1'480 Fr./kWh /1'140 Fr./kWh	siehe Kapitel 9	+/- 30%
Betriebskosten Batterie	1% der Investitionskosten/ Jahr	Swissolar, 2016	Keine
Stromtarif	20 Rp./kWh	EiCom, 2019	+/- 5 Rp./kWh
Rückliefertarif	9 Rp./kWh	VESE, 2019	+/- 3 Rp./kWh
Zins (WACC)	2.5%	BFE, 2020	+/- 2.5%

Tabelle 12: Standardannahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung, ihre Quellen und die Sensitivitäten

Der jeweilige Anteil Eigenverbrauch, der je nach installierter Leistung Photovoltaik und Speicherkapazität erzielt werden kann, wurde mit Unabhängigkeitsrechner der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin berechnet (Weniger, 2012; siehe Abbildung 34).

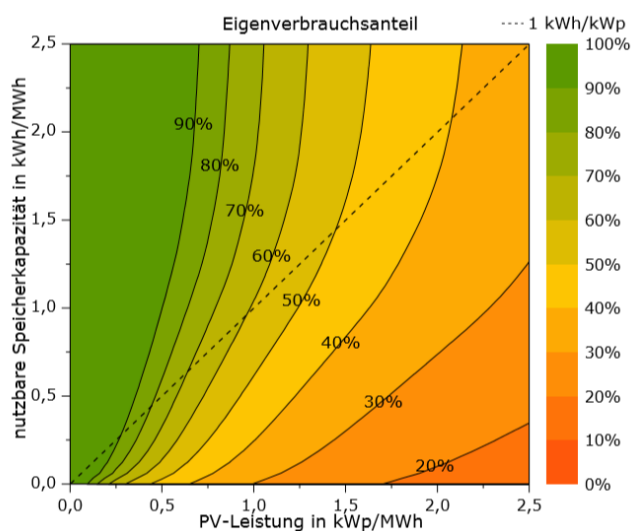


Abbildung 34: Der Eigenverbrauchsanteil wird durch die PV-Leistung und Speicherkapazität berechnet. Diese Berechnung dient als Grundlage für die in diesem Bericht vorgelegte Wirtschaftlichkeitsberechnung für Batteriespeicher

Resultate Berechnungen Wirtschaftlichkeit

Für alle 32 Kombinationen wurde der Nettobarwert der Solarbatterie berechnet. Es wurde also nicht die Wirtschaftlichkeit der Kombination Photovoltaik-Batterie berechnet, sondern nur die Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Investition in eine Batterie. Mit den getroffenen Standardannahmen liegt dieser zwischen -28'000 Fr. und -7'000 Fr. (siehe Abbildung 35). Die Investition in einen Batteriespeicher ist also heute weder für ein Einfamilienhaus noch ein Mehrfamilienhaus rentabel. Die «beste Kombination» ist eine grosse bestehende Photovoltaik-Anlage, eine kleinere Solarbatterie und ein hoher Stromverbrauch durch Wärmepumpe und Elektroauto. Die Wirtschaftlichkeit des Einfamilienhauses ist in absoluten Zahlen weniger negativ, da eine kleinere Batterie eingesetzt wird und die Investitionskosten damit tiefer liegen. Vergleicht man die beiden Gebäudetypen relativ in Form von zusätzlichen Kosten pro Kilowattstunde ist die Wirtschaftlichkeit für das Mehrfamilienhaus weniger negativ (Abbildung 36). Die tiefsten zusätzlichen Stromkosten beim Einfamilienhaus belaufen sich bei Standardannahmen auf 3.1 Rp. pro kWh und beim Mehrfamilienhaus auf 1.6 Rp. pro kWh.

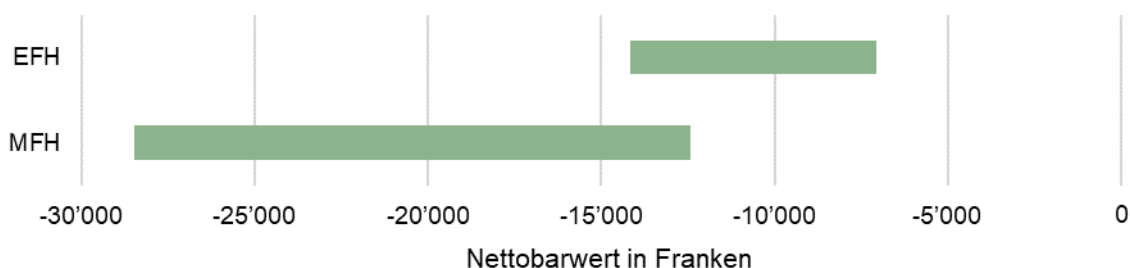


Abbildung 35: Wirtschaftlichkeit sämtlicher Kombinationen mit Standardannahmen. Der rechte Wert des Balkens entspricht der «besten Kombination» (siehe Text), der linke Wert der «schlechtesten Kombination»

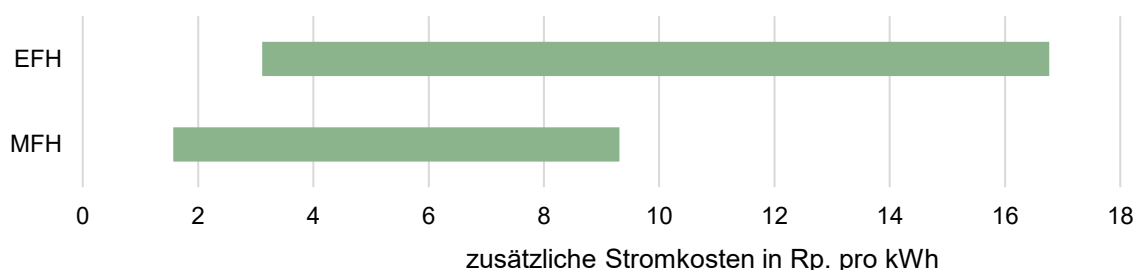


Abbildung 36: Wirtschaftlichkeit sämtlicher Kombinationen mit Standardannahmen: zusätzliche Kosten pro kWh Stromverbrauch. Der rechte Wert des Balkens entspricht der «besten Kombination» (siehe Text), der linke Wert der «schlechtesten Kombination»

Die Sensitivität der Wirtschaftlichkeit auf die Veränderungen gemäss Tabelle 12 ist in Abbildung 37 dargestellt. Die Auswertungen zeigen, dass wie erwartet Batterien weniger unwirtschaftlich sind, wenn die zu zahlenden Stromtarife hoch, die Rücklieferarife tief, die Investitionskosten tief und die erwartete Kapitalrendite tief sind. Den stärksten Einfluss haben die Investitionskosten: Eine Reduktion von 30% bewirkt eine Erhöhung des Nettobarwert um ca. 35%. Auch eine Kombination der vorteilhaften Annahmen jedes Faktors ergibt immer noch eine negative Wirtschaftlichkeit.

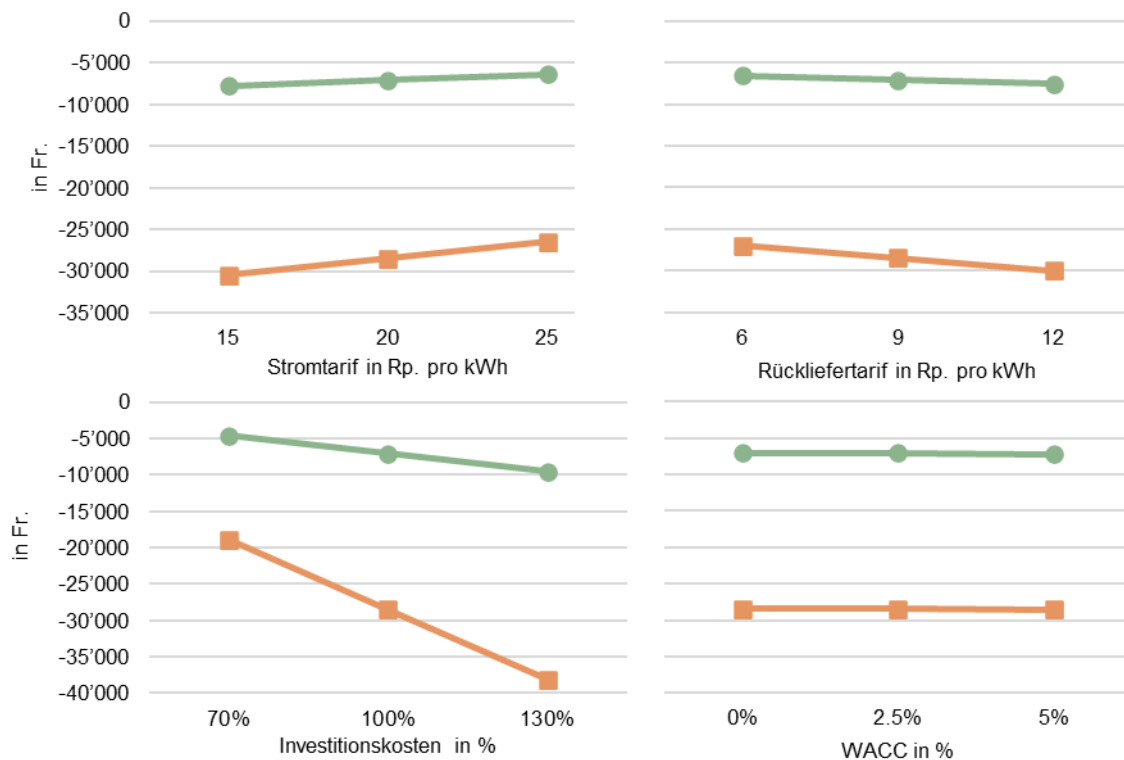


Abbildung 37: Wirtschaftlichkeit einer Batterie in Abhängigkeit des Stromtarifs (oben links), des Rückliefertarifs (oben rechts), der Investitionskosten (unten links) und der Verzinsung des Kapitals (unten rechts). In grün ist jeweils der beste Fall (grosse Photovoltaik-Anlage, kleiner Speicher), orange jeweils der schlechteste Fall dargestellt (kleine Photovoltaik-Anlage, grosser Speicher)

Lücken

Es bestehen keine wesentlichen Lücken. Es ist klar, dass die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist und von welchen Faktoren sie abhängt.

Zusammenfassung

Die Investition in eine Solarbatterie ist bei Weitem nicht wirtschaftlich. Die am wenigsten unwirtschaftliche Ausgangslage stellt ein Einfamilienhaus mit einer grossen bestehenden Photovoltaikanlage, einem kleinen Batteriespeicher und einem hohen Stromverbrauch durch Wärmepumpe und Elektroauto dar. Sensitivitätsanalysen zeigen zudem, dass wie erwartet Batterien weniger unwirtschaftlich sind, wenn sie zu zahlenden Stromtarife hoch, die Rückliefertarife tief, die Investitionskosten tief und die die erwartete Kapitalrendite tief sind. Den stärksten Einfluss haben die Investitionskosten. Diese müssten fast halbiert werden, um die Wirtschaftlichkeit bei optimalen Tarifen und Kapitalrendite zu gewährleisten.

Quellen

- BFE, und Swissolar (2019). «Markterhebung Sonnenenergie 2018».
- BFE (2020). «UVEK legt Kapitalkostensatz für Stromnetze für das Tarifjahr 2021 fest». Medienmitteilung.
- BFS, und ARE (2017). «Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV)».
- BFS (2019). «Gebäude- und Wohnungsstatistik.»

- BFS (2019). «Strassenfahrzeugbestand (MFZ)».
- Bucher, Christof (2014). «Eigenverbrauch mit Photovoltaikanlagen». Basler & Hofmann.
- EBP (2018). «EnergiePraxis-Seminar»
- EBP (2020). Interne Kommunikation.
- ECom (2019). «Leicht ansteigende Strompreise 2020».
- ECom (2019). «Verbrauchsprofile typischer Haushalte». (<https://www.strompreis.elcom.admin.ch/>).
- energieschweiz (2018). «Stationäre Batteriespeicher in Gebäuden».
- HTW Berlin. o. J. «Unabhängigkeitsrechner». (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>, Aufruf am 17.11.2020).
- Nipkow, Jürg (2013). «Der typische Haushalt-Stromverbrauch». S.A.F.E, 9.
- Nicholas, Michael (2020). «Regional Charging Infrastructure Requirements in Germany through 2030». 35.
- Roth, Stefan (2019). «Mehr Eigenverbrauch mit Batteriespeichern?» Dossier Erneuerbare Energien (Oktober).
- Swissolar (2016). «PV-Anlagen mit Batterien».
- VESE (2019). «Medienmitteilung: Vergütungen für die Photovoltaikproduzenten 2020: Erfreulicher Anstieg der Vergütungen um 4%, aber bereits wieder neue Wolken am Horizont».
- Weniger et al. (2012). «Unabhängigkeitsrechner». (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>, Aufruf am 11.6.2020).
- Weniger, Johannes (2012). «Solare Unabhängigkeitserklärung». photovoltaik, 4.

12 Welches sind die Entscheidungsmotive für den Kauf einer Batterie?

Fakten

Die Entscheidung für einen Kauf einer Solarbatterie kann aufgrund verschiedener Motive erfolgen. Sowohl ideologische oder auch wirtschaftliche Beweggründe können dabei eine Rolle spielen. Für die Schweiz sind keine Studien zu den Motiven bekannt.

Eine vom Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) im Jahr 2018 durchgeführte Studie erfasste Daten von 20'000 geförderten Solarbatterien in Deutschland. Unter anderem identifizierte diese Evaluation fünf immer wieder auftretende Entscheidungsmotive für den Kauf einer Batterie für Photovoltaikanlagen. Abbildung 38 zeigt die Resultate dieser Evaluation.

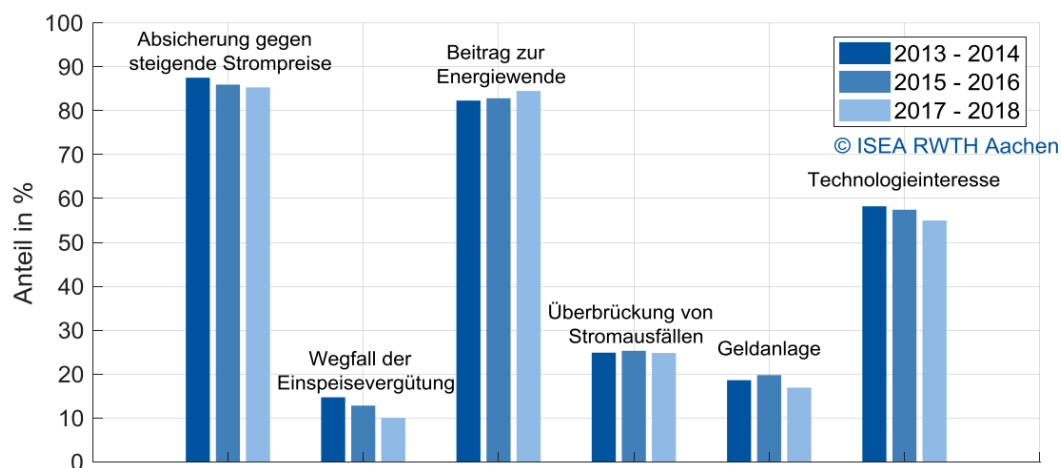


Abbildung 38: Kaufmotivation für geförderte Solarbatterien [Quelle: ISEA RWTH Aachen (2018)]

Die wesentlichen Beweggründe für den Kauf eines Speichers sind die Absicherung gegen steigende Strompreise sowie die Absicht einen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Ein Technologieinteresse trug immerhin bei über 50% der Befragten zu einem Kauf bei. Nur wenige Solarbatteriebesitzer (unter 30%) gaben an, dass die Überbrückung von Stromausfällen sowie die Möglichkeit ihr Geld sicher anzulegen eine Motivation für einen Batteriekauf darstellte. Auffallend ist, dass sich die Kaufmotive zwischen 2013 und 2018 nicht wesentlich änderten.

In einer weiteren Studie untersuchte das ISEA Kaufmotive für Photovoltaik-Batteriespeicher in Baden-Württemberg. In dieser Studie wurden die verschiedenen Speicherbesitzer in die Kategorien Eigenheim und Gewerbe eingeteilt. Die Resultate sind in Abbildung 39 dargestellt und sind sehr ähnlich wie in der oben dargestellten Evaluation. Zudem zeigt die Umfrage, dass sich die Kaufmotivation von Eigenheimen und Gewerbe nur geringfügig unterscheidet.

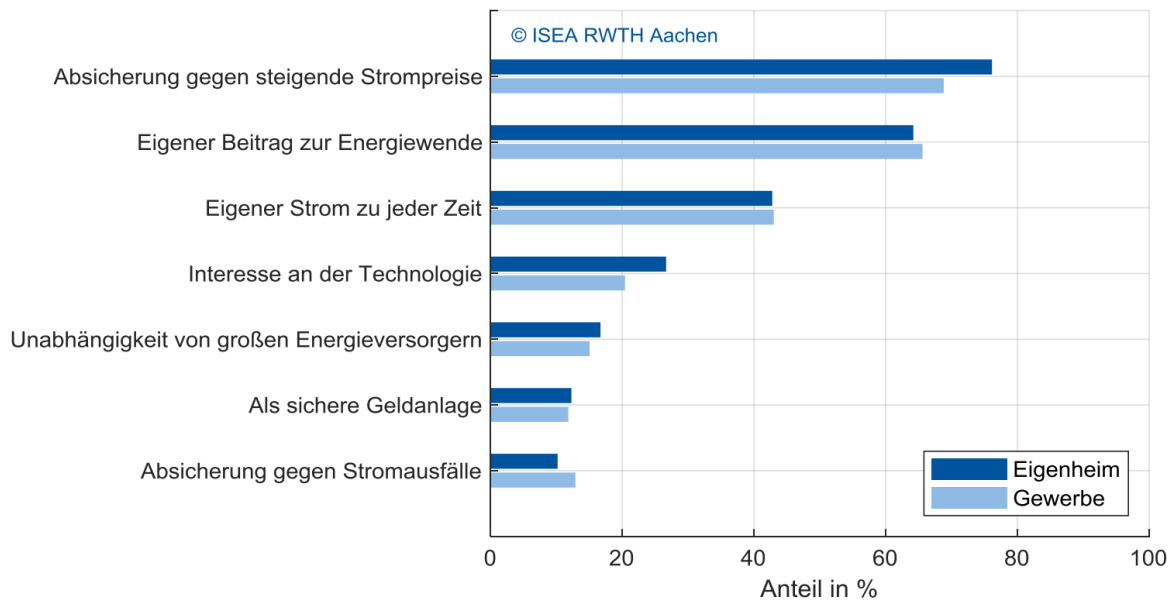


Abbildung 39: Entscheidungsmotive für den Kauf geförderter Solarbatterien [Quelle: ISEA RWTH Aachen (2019)]

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden in der Schweiz tätige Unternehmen zu ihrer Einschätzung von Entscheidungsmotiven befragt. Zu den befragten Unternehmen gehörten BE Netz (Simon Pellet), clevergie (Lukas Meister) und Agrola (Andreas Aeschbach). Mit Hilfe dieser Experten mit reicher Fronterfahrung wurden acht verschiedene Kaufmotive identifiziert (siehe Tabelle 13).

Entscheidungsmotive für einen Kauf einer Solarbatterie	Private Kunden	Gewerbliche Kunden
Steigerung des selbst verbrauchten Stroms	✓	✓
Notstrom Versorgung	✓	✓
Reaktion auf einen tiefen Rücklieferarif des Versorgers	✓	✓
Interesse an der Technologie	✓	✓
Parallele Nutzung von Elektromobilität	✓	✓
Unterstützung erneuerbaren Energien	✓	✓
Rentabilitätssteigerung einer Photovoltaik-Anlage	✓	
Glätten von Lastspitzen (Peak Shaving)		✓

Tabelle 13: Entscheidungsmotive von privaten und gewerblichen Kunden für einen Solarbatteriekauf

Aufgrund der aktuellen Wirtschaftlichkeit wurde die Rentabilitätssteigerung bei gewerblichen Kunden nicht als Entscheidungsmotiv betrachtet. Umgekehrt wurde das Glätten der Lastspitzen (Peak Shaving) nicht als Entscheidungsmotiv für private Kunden betrachtet.

Um die Häufigkeit dieser Kaufmotive zu ermitteln, wurde ein Fragebogen erstellt und an acht Anbieter von Photovoltaikanlagen und Batteriespeichern verschickt. Sieben kontaktierte Verkäufer retournierten die Umfrage. Bei Privaten liegt gemäss den Verkäufern der Hauptbeweggrund für einen Batteriekauf in der Steigerung des selbst verbrauchten Stroms (siehe Abbildung 40). Eine Notstromversorgung (ev. Inselanlagen), die Reaktion auf einen tiefen Rücklieferarif des Netzbetreibers und das Interesse an der Technologie sind auch wichtige Motive, treten aber etwas weniger oft auf. Die

Steigerung der Rentabilität der Photovoltaik Anlage ist selten bis nie ein Beweggrund für einen Batteriekauf.

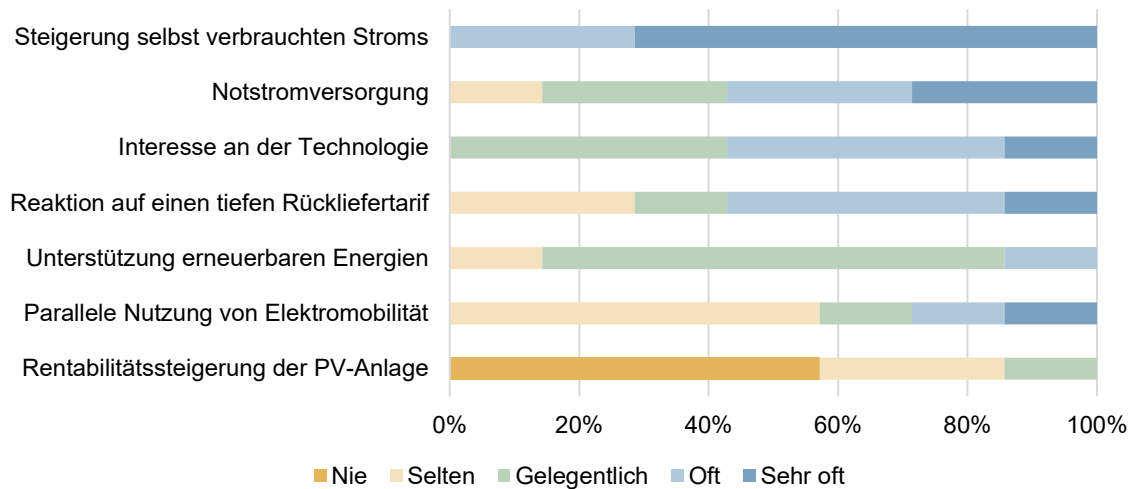


Abbildung 40: Angegebene Häufigkeiten der Entscheidungsmotive von Privaten für einen Solarbatteriekauf

Die Resultate für die Entscheidungsmotive von gewerblichen Kunden zeigen bereits übergeordnet ein anderes Bild (siehe Abbildung 41). Insgesamt werden die diversen Entscheidungsmotive weniger häufig als Grund für einen Kauf genannt als bei den Privaten. Dies widerspiegelt die Tatsache, dass derzeit Batterien vor allem von Privaten gekauft werden.

Für gewerbliche Kunden sind die Steigerung des Eigenverbrauchs und das Glätten von Lastspitzen am ehesten ein Kaufgrund. Die Entscheidungsmotive Notstromversorgung und eine Reaktion auf einen tiefen Rückliefertarif treten weniger häufig auf als bei privaten Kunden. Die Unterstützung erneuerbaren Energien sowie eine parallele Nutzung von Elektromobilität spielen beim Kauf einer Solarbatterie von gewerblichen Kunden fast nie eine Rolle.

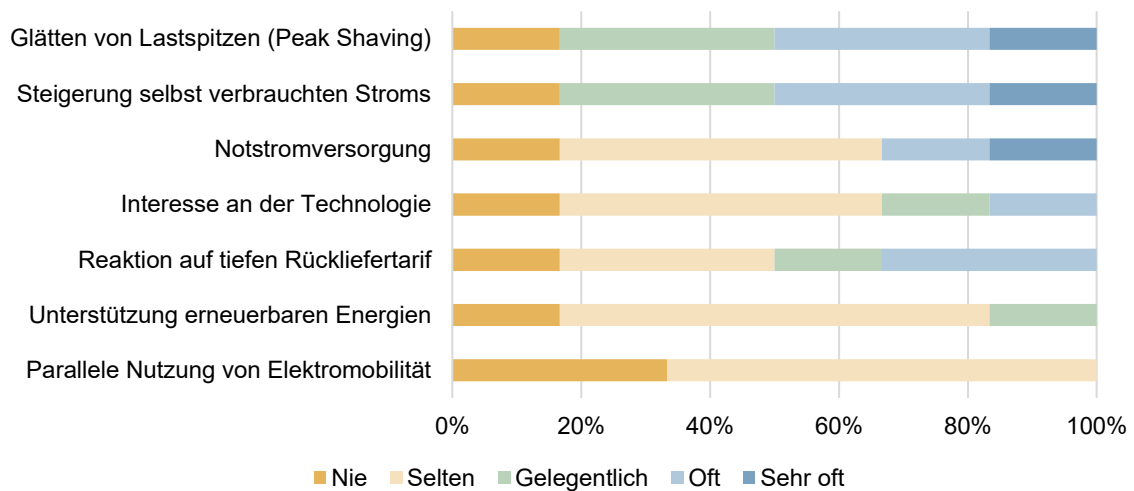


Abbildung 41: Angegebene Häufigkeiten der Entscheidungsmotive von gewerblichen Kunden für einen Solarbatteriekauf

Lücken

In der Schweiz sind keine Befragungen von Käufern von Batterien vorhanden. Die punktuelle Befragung von Verkäufern im Rahmen dieser Studie kann nicht als repräsentative Stichprobe für die Entscheidungsmotive im Schweizer Batteriemarkt betrachtet werden.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Gründe von Privaten für den Kauf einer Solarbatterie sind die Steigerung des selbst verbrauchten Stroms, eine Notstromversorgung, die Reaktion auf einen tiefen Rücklieferarif des Netzbetreibers und das Interesse an der Technologie. Für gewerbliche Kunden sind die wichtigsten Gründe die Steigerung des selbst verbrauchten Stroms und das Glätten der Lastspitzen, um dadurch die Stromkosten zu senken. Da die Batterien fast nie wirtschaftlich sind, ist die Steigerung der Rentabilität der Photovoltaik Anlage kein Grund zum Kauf.

Quellen

- Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) RWTH Aachen (2018). «Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarspeicher 2.0 – Jahresbericht 2018».
- Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) RWTH Aachen (2019). «Speichermonitoring BW – Jahresbericht 2019».

13 Welches sind die Treiber für die Marktentwicklung in der Schweiz?

Hypothesen

Es gibt keine Studien zu den bisherigen Treibern der Marktentwicklung in der Schweiz. Im Folgenden werden Hypothesen angestellt, die auf den Antworten der übrigen Fragen der vorliegenden Marktstudie beruhen und auf den Erkenntnissen eines Experten-Workshops vom November 2020:

- Voraussetzung für die Marktentwicklung war die Entwicklung eines Marktes für die Photovoltaik. Wichtige Treiber dafür waren die stark sinkenden Preise sowie die staatliche Förderung. Heute lohnt sich der Eigenverbrauch in sehr vielen Fällen. Dadurch wird häufiger die Frage gestellt, ob sich der Eigenverbrauch steigern lässt. Treiber für das Wachstum der Photovoltaik sind indirekt auch Treiber für Batterien.
- Der Einsatz von Batterien in kleineren Wohnbauten ist heute nicht wirtschaftlich (siehe Kapitel 11). Somit ist die Wirtschaftlichkeit kein Treiber der Marktentwicklung.
- Treiber auf Nachfrageseite ist der Wunsch, den selbst verbrauchten Stroms zu steigern, das Bedürfnis einer Notstromversorgung, das Interesse an der Technologie und die (Trotz-)Reaktion auf einen tiefen oder gesenkten Rücklieferarif des Netzbetreibers (siehe Kapitel 12).
- Treiber auf Angebotsseite sind Unternehmen, die am Verkauf verdienen können, also Speicherhersteller, Installateure und Grosshändler.
- Der Wohlstand von vielen Gebäudeeigentümern in der Schweiz ermöglicht es, auch unrentable Investitionen zu tätigen.
- Sonstige staatliche Anreize spielten in der bisherigen Marktentwicklung eine eher untergeordnete Rolle. Im Jahr 2020 förderten einige wenige Kantone, namentlich Appenzell Ausserrhoden, Schaffhausen und Thurgau, Batteriespeicher.
- Das sogenannte «virtuelle Speichern» von Solarstrom war 2017 bis 2019 ein neues Angebot von Stromversorgern. Die Elcom hat die Angebote analysiert und für unzulässig befunden. Sollten solche Angebote durch eine angepasste Regulierung wieder entstehen, würde dies den Einsatz von Batterien eher bremsen.

Auch für die zukünftige Entwicklung des Marktes werden Hypothesen zu möglichen Treibern aufgestellt:

- Ein starkes globales Wachstum der Elektromobilität führt zu technischen Fortschritten und sinkenden Preisen in der Batterietechnologie. Dies wird auch im Markt der stationären Speicher zu sinkenden Preisen führen. Diese reichen unter sonst gleichbleibenden Rahmenbedingungen im nächsten Jahrzehnt voraussichtlich nicht dazu aus, dass Batterien bei kleineren Wohnbauten wirtschaftlich werden (siehe Kapitel 10 und 11).
- Die unter anderem regulatorisch getriebene Zunahme an Wärmepumpen und Elektroautos führt dazu, dass der Einsatz von Batterien weniger unwirtschaftlich wird, weil damit mehr Strom verbraucht wird.
- Staatliche Vorschriften und Anreize spielen eine sehr wichtige Rolle in der zukünftigen Entwicklung des Marktes. Die Bandbreite an möglichen Instrumenten ist gross, dazu gehören
 - Tarifierung im Strombereich (Leistungspreis / Arbeitspreis)
 - Künftiger Umgang mit Solarspitzen (bspw. darf in Deutschland nur max. 70% der Nennleistung eingespeist werden)
 - Förderung Photovoltaik (bspw. beeinflussen Rücklieferarife die Wirtschaftlichkeit)
 - Förderung Batterien

- Strommarktöffnung (Wirkung auf Stromtarife, auch Ermöglichung eines Handels zwischen Produzenten und neuer Geschäftsmodelle mit mehreren kombinierten Ertragsquellen um die Speicherung)
- Heutige Elektroautos können den in den Batterien gespeicherten Strom nicht in das Gebäude oder Netz zurückspeisen, das es hierfür bidirektionale Ladegeräte braucht, welche das Fahrzeug schwerer, komplexer und teurer machen und die Lebensdauer und Garantiedefinition der Batterie beeinflussen. Aktuell können nur zwei Fahrzeugmodelle optional mit bidirektionalen Ladegeräten bestellt werden. Sollte sich in Zukunft bidirektionales Laden trotz dieser Hürden stärker verbreiten, bremst dies eher die Nachfrage nach Solarbatterien.
- Die sehr hohe Zahlungsbereitschaft im Bereich der individuellen motorisierten Mobilität für Status, Sicherheit, Unabhängigkeit und Komfort kann zu einer hohen Zahlungsbereitschaft für stationäre (Solar-)Batterien für Elektrofahrzeuge führen. Die möglichen Nutzen sind der subjektiv wahrgenommenen Gewinn an Komfort und Unabhängigkeit sowie allenfalls der Zeitgewinn (falls die Batterie eine höhere Ladeleistung erlaubt als der bestehende Anschluss).