

Energie und Umwelttechnik (BSc Studiengang)

Wie ökologisch sind Hausspeicherlösungen?

Akkumulatoren als Kurzzeitspeicher für erneuerbare elektrische Energie



Lukas Trümpi, Quirin Egli
29.4.2020

Energiestrategie 2050

Mit dem Ja zur Energiestrategie 2050 hat sich die Schweizer Bevölkerung zu verschiedenen Massnahmen und Zielen verpflichtet um die Energieeffizienz zu erhöhen, die CO₂-Emissionen zu senken und die erneuerbaren Energien zu fördern.

Ein Zwischenziel bei den erneuerbaren Energien ist es, die Produktion von erneuerbarem Strom (ausgenommen Wasserkraft) von aktuell rund 4000 GWh (2017) bis 2035 auf 14500 GWh zu erhöhen.¹

Mit einer intensiven Nutzung der Sonnenenergie könnten diese Ziele erreicht werden. Das Potenzial ist riesig und noch weitgehend ungenutzt. Gemäss einer Studie von Swissolar wäre mit der Bestückung der Dachflächen Ertrag von rund 50 TWh pro Jahr möglich. Aktuell beträgt die jährliche Produktion jedoch nur rund 1330 Gigawattstunden (2017), es sind also nur knapp 3 Prozent des Potenzials ausgeschöpft.²

Nun stellt sich die Frage, wieso dieses Potenzial noch nicht genutzt wird. Zu dieser Frage gibt es eine ganze Reihe von möglichen Erklärungen. Neben den Herausforderungen bezüglich Kosten und gesellschaftlicher Akzeptanz spielen die technischen Herausforderungen eine zentrale Rolle, die in diesem Artikel erläutert werden.

Beschreibung der Problematik und des Standes der Technik der im nationalen und internationalen Umfeld

Stromproduktion und Verbrauch fällt nicht gleichzeitig an

Wie in der Abbildung 1 ersichtlich ist, ist die Kurve des Energiebedarfs (Blau) nicht zu 100% übereinstimmig mit der Kurve der solaren Energieproduktion (Gelb). Da in der Nacht zum Beispiel Licht benötigt wird während dem die Sonne nicht scheint ist diese Problematik unumgänglich und muss mit Speicher oder bedarf-/produktionsidentischen Leistungskurven gelöst werden. Da die Energieproduktion durch Sonneneinstrahlung nicht dem Bedarf angepasst werden kann, muss somit eine Speicherlösung gefunden werden, wobei im kleinen Rahmen (bis 250kWh) eine Lösung eine Batterie sein kann. Zum Verständnis der Abbildung 1 ein paar Erklärungen:

- = SoC Batterie (rechts SoC)
- = Solare Energie Einspeisung Verteilnetz
- = Solare Energie Einspeicherung Batterie
- = Eigenverbrauch ab Solar
- = Eigenverbrauch ab Batterie

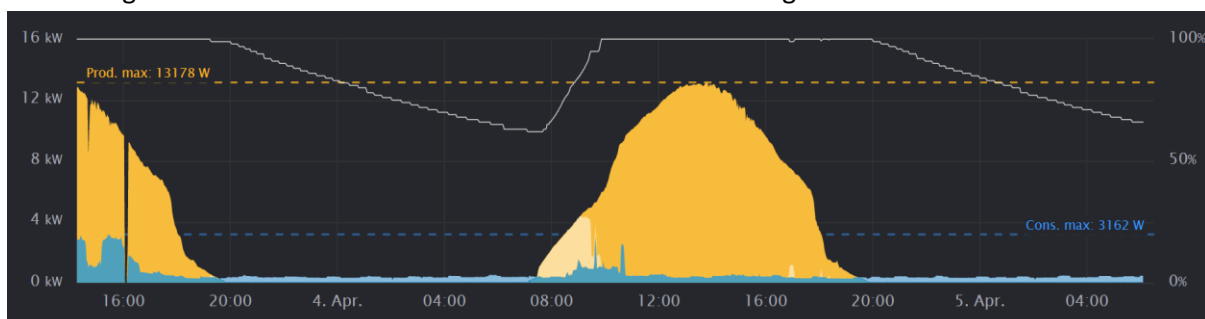


Abbildung 1: Auszug Solar-Manager, Endkunde ienergy AG in Wohlen AG

¹ („Botschaft zur Energiestrategie 2050: Ziele und Massnahmen in der Übersicht“ 2013)

² (David Stickelberger 2017)

Notwendige Kompensation der Produktionslücken

Eine Lösung der Speichermöglichkeit, die in der Schweiz schon lange genutzt wird, ist die Energiespeicherung in Form von potenzieller Energie. Hier wird vorwiegend in Speicherseen Wasser gestaut und bei Bedarf Energie produziert. Ist das Angebot im Strommarkt sehr hoch und der Bedarf gering, wird das ganze umgekehrt genutzt und die Turbinen werden als Pumpen genutzt, wobei Wasser in die Speicherseen gepumpt wird. Gemäss BFE beträgt der Wirkungsgrad dieser Speicherlösung 70-80%.³ Mit der gegenwärtigen steigenden Energieproduktion durch Solarenergie, wird diese Speicherlösung jedoch nur noch zu einem begrenzten Teil möglich sein. Ansonsten müsste mit einem gigantischen Netzausbau gerechnet werden, da der Gleichzeitigkeitsfaktor der Energieproduktion enorm hoch sein wird. Der Grund dafür ist, dass Lokal die Sonne bei optimalen Bedingungen mehrere Solaranlagen gleichzeitig zur Energieproduktion anregt und somit diese Energie ins Netz eingespeist werden soll. Wird nun die Energie lokal in einer Batterie gespeichert, können Verteilnetze entlastet werden. Somit hätte dies bei besten Wetterbedingungen zur Folge, dass nicht die ganze Energie ins Netz eingespeist, sondern lokal gespeichert wird und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt wird. Für die Speicherlösung in chemischer Form, wie das zum Beispiel bei der Batterie der Fall ist, gibt es unzählige. Vier Arten dieser Speicherlösung werden in dieser Arbeit mit ihren Umweltauswirkungen vorgestellt.

Akkumulatoren als Kurzzeitspeicher

Es gibt diverse Batterietypen die als Kurzzeitspeicher eingesetzt werden können. In diesem Artikel werden Blei-Säure-, Lithium-Ionen-, Natrium-Nickel-Chlorid-, und Redox-Flow-Akkumulatoren bezüglich ihrer Eigenschaften und ihrer Umweltauswirkung verglichen. Einige Merkmale der Batterietypen sind in der Tabelle 1: Stärken und Schwächen der Batterietypen aufgeführt.

Batterie-Technologie	Stärken	Schwächen
Blei-Säure-Akkumulator BSA	<ul style="list-style-type: none"> - ausgereifte Technologie - verbreitet - kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> - Wartungsintensiv - hohe Selbstentladung - geringe Ladeleistung
Lithium-Ionen-Akkumulator LIA	<ul style="list-style-type: none"> - vielfältige Anwendung möglich - wartungsarm - hohe Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> - Batteriemanagementsystem (BMS) notwendig - brennbare Inhaltsstoffe
Natrium-Nickel-Chlorid-Akkumulator NNA	<ul style="list-style-type: none"> - keine brennbaren Inhaltsstoffe - geringe Selbstentladung 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Betriebstemperatur und dadurch Standby-Verluste - begrenzte Entladeleistung
Redox-Flow-Akkumulator VRA	<ul style="list-style-type: none"> - geeignet als Quartierspeicher - tiefe Selbstentladung - freie Wahl der Kapazität 	<ul style="list-style-type: none"> - erst ab gewisser Grösse sinnvoll (Konstruktion) - verhältnismässig teuer

Tabelle 1: Stärken und Schwächen der Batterietypen

³ (BFE 2008)

Aufbau und Materialien

Der Aufbau ist bei BSA, LIA und NNA grundsätzlich der Gleiche. Die Batterie besteht aus zwei Elektroden, eine positive (Kathode) und eine negative (Anode). Der Separator trennt die beiden Elektroden. Das Ganze wird entweder von einem festen oder flüssigen Elektrolyten umgeben. Bei den Technologien unterscheiden sich die verwendeten Materialien für die Bestandteile. Während beispielsweise beim Blei-Säure-Akkumulator die Elektroden aus zwei Bleiplatten bestehen werden beim Lithium-Ionen-Akku bei der Kathode Lithium-Metalloxide und bei der Anode meist Graphit verwendet (Abbildung 2: Aufbau eines Lithium-Ionen-Akkus). Beim VRA gibt es zwei getrennte Kreisläufe in welchem jeweils ein energiespeichernder Elektrolyt (flüssig) zirkuliert. Der Ionenaustausch findet über eine Membran statt.

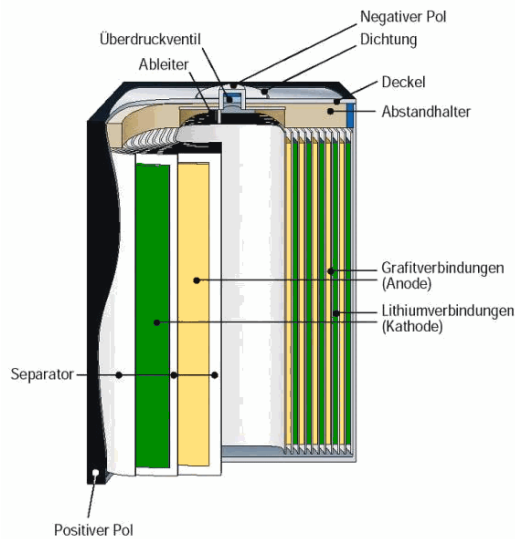


Abbildung 2: Aufbau eines Lithium-Ionen-Akkus, („Der Lithium-Ion Akku - Batterie Info Batterie und Akku“ o. J.)

In der Tabelle 2 sind die technischen Eigenschaften der verschiedenen Batterietypen aufgeführt.

Technische Eigenschaften	Einheit	Blei-Säure-Akkumulator (BSA)	Lithium-Ionen-Akkumulator (LIA)	Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator (NNA)	Redox-Flow-Akkumulator (VRA)
Spezifische Energiedichte	Wh/kg	24-50	50-110	80-140	13.5
Spezifische Energiedichte	Wh/l	20-110	20-150	160	7.7
Spezifische Leistung	W/kg	200	600-2000	160	-
Spezifische Entladeleistung	kW/kWh	5-10	3-20	1-1.5	-
Spezifische Entladeleistung	kW/kWh	0.7	0.3-1	0.2-1	-
Zyklen-Lebensdauer	-	1'200-3800 (50% DoD)	2'500-8200 (90% DoD)	1'750-3'750 (80% DoD)	3'750-7'300 (90% DoD)
Energieeffizienz	%	50-85	90-97	80	50-80
Selbstentladung	%/Mt	3-30	3	0 (thermische Verluste)	<1

Tabelle 2: Vergleich der Eigenschaften der Batterietypen

Vergleich der Problemlösungen

Für die vorgestellten Batterietypen wurde in einer Arbeit für das Bundesamt für Energie bezüglich ihrer Umweltbelastungen untersucht. Für die Bestimmung der Umweltauswirkungen wurde eine LCA-Untersuchung (LCA, Life Cycle Assessment) durchgeführt und dabei die Produktion, die Nutzung: und die Entsorgung berücksichtigt.

Weil sich die Speichertechnologien in Bezug auf die Lebensdauer (Anzahl Lebenszyklen), die Energiedichte (Wh/kg) und die Effizienz (Wirkungsgrad) unterscheiden wurde die funktionelle Einheit 1 kWh Energie bei einer Speicherkapazität von 10 kWh verwendet.

Die Umweltbelastungen der jeweiligen Batterietypen sind in der Grafik Abbildung 3: Umweltbelastung von verschiedenen Batterietypen, (Christian Gaegauf 2015) und Abbildung 4: Treibhausgasemissionen von diversen Batterietypen ersichtlich. Da die Lebensdauer des jeweiligen Akkumulators unterschiedlich ist, ist zusätzlich zum Durchschnitts-Szenario ein Worst-Case Szenario (minimale Anzahl Lebenszyklen) und das Best-Case Szenario (maximale Anzahl Lebenszyklen) aufgeführt.

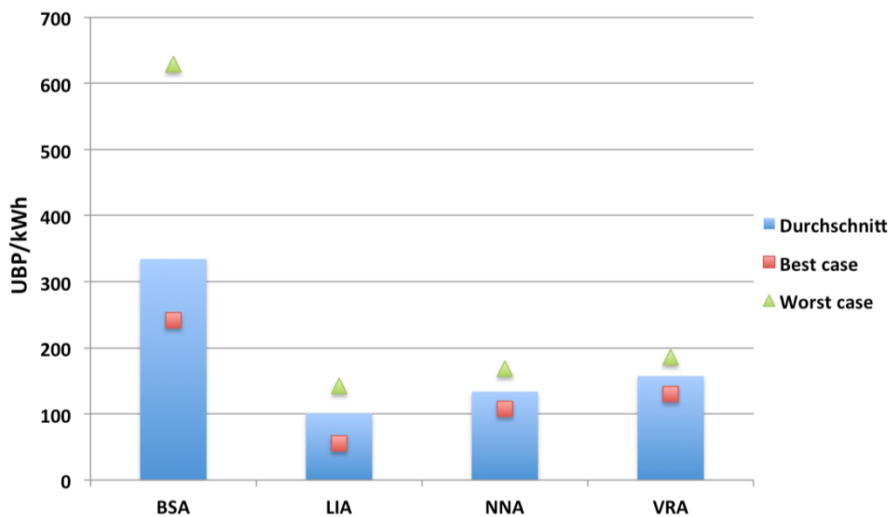


Abbildung 3: Umweltbelastung von verschiedenen Batterietypen, (Christian Gaegauf 2015)

Bezüglich Umweltbelastungspunkte schneidet der Blei-Säure Akkumulator mit über 300 UB/kWh deutlich am schlechtesten ab. Auch im Best-Case Szenario würde dies nicht ändern. Auf der Gegenseite befindet sich der Lithium-Ionen-Akkumulator mit 100 UB/kWh. Die Batterietypen NNA und VRA liegen dazwischen.⁴

⁴ (Christian Gaegauf 2015)

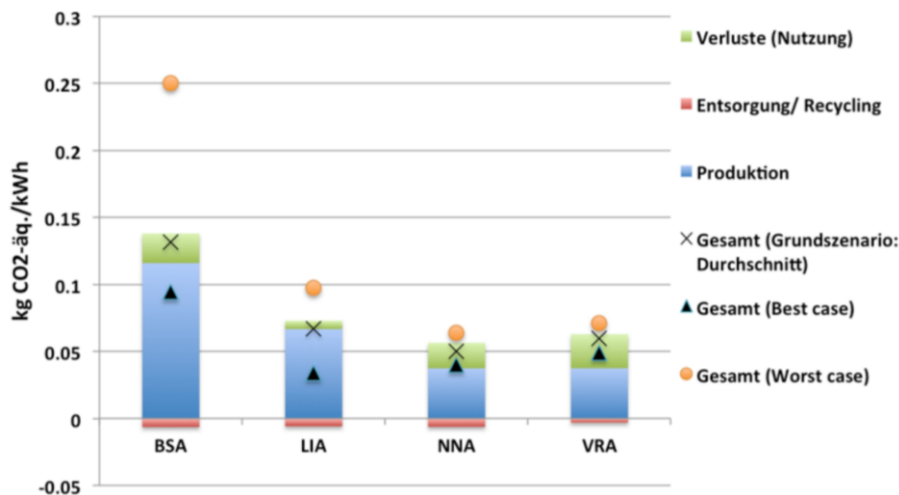


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen von diversen Batterietypen, (Christian Gaegauf 2015)

Auch bei den Treibhausgasen in CO₂-Äquivalent schneidet der BSA am schlechtesten ab. Auf der Gegenseite ist Die Natrium-Nickel-Batterie weist im Durchschnitt geringere Treibhausgasemissionen pro kWh als der Lithium-Ionen-Akkumulator auf. Bei der LIA fällt dabei der grösste Teil der Belastungen im Produktionsprozess an und nur ein kleiner Teil bei der Nutzung und Entsorgung. Neben den im Detail angeschauten Batterietypen sind auch der Blei-Säure-Akkumulator BSA und Vanadium-Redox-Akku VRA aufgeführt.

Einspeisung ins Netz

Netzanschlüsse an Gebäude werden in verschiedenen Anschlussleistungen begrenzt, wobei die Anschlussleistung nicht der Einspeiseleistung vom hauseigenen Generator entspricht. Tatsache ist, dass die Netzauslegung mit Gleichzeitigkeitsfaktoren berechnet wird, soll heissen, wenn ein Netz mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor von 90% und 20kW ausgelegt wird, würden bei 100% Last 22kW Leistungsbedarf anfallen. Da 100% Last jedoch nie anfallen werden, wird das Netz nicht auf diesen Bedarf ausgelegt. In die andere Richtung ist das jedoch anders zu beurteilen. Wenn die Sonne am Nachmittag ihren höchsten Stand erreicht, werden alle installierten Solaranlagen die maximale Energie einspeisen wollen, was zu einem Gleichzeitigkeitsfaktor von nahezu 100% führen würde. Dies würde gegenwärtig zu einer Überlastung des Verteilnetzes und somit dessen Zusammenbruch führen. Somit ist ein Netzausbau mit dem gegenwärtig konservativen Energieverbrauch unumgänglich.

Wird davon ausgegangen, dass das progressive Energieszenario 2035, das auf einem starken Ausbau der Wasser-, Photovoltaik- und Windenergie basiert, ungefähr in diesem Rahmen umgesetzt wird, hätte dies ohne lokale Speicherlösung einen massiven Netzausbau zur Folge. In der Studie wird angenommen, dass der heutige Energiebedarf bei 60 TWh pro Jahr relativ stabil bleibt und die Energielücke im Winter mit Energieimport gedeckt wird.⁵

⁵ D.Hengevoss, Hugi, und Apr. 2019.

	Anzahl	Hausanschluss im Modell O-CEM		Hausanschluss im Modell M-CEM	
		Dimensionen Kabelstrang	Cu	Dimensionen Kabelstrang	Cu
EFH mit Wp	440'000	Absicherung 5 x 10 mm ² x 20 m	3'925 t	Absicherung 5 x 6 mm ² x 20 m	2'355 t
EFH sonstige Heizsysteme	460'000	Absicherung 5 x 6 mm ² x 20 m	2'462 t	Absicherung 5 x 6 mm ² x 20 m	2'462 t
MFH mit WP	340'000	5 x 35 mm ² x 20 m	10'615 t	5 x 16 mm ² x 20 m	4'852 t
MFH sonstige Heizsysteme	460'000	Absicherung 5 x 16 mm ² x 20 m	6'565 t	Absicherung 5 x 16 mm ² x 20 m	6'565 t
		Total	23'567 t		16'234 t

Abbildung 5: Vergleich Modelle O & M-CEM, (D.Hengevoss, Hugli, und Apr. 2019 o. J.)

In der Abbildung 5 werden zwei Szenaren miteinander verglichen, wobei im Modell O-CEM keine lokalen Speichermöglichkeiten berücksichtigt werden. Somit werden zusätzlich 2.0 TWh/a PV-Strom in das Niederspannungsnetz (NS) eingespeist. Das heisst, vom Hausanschluss NS wird der Strom ins Hochspannungsnetz (HS) transformiert und anschliessend wieder zurück. Die Energie wird in diesem Fall in Pumpspeicherkraftwerken zwischengespeichert, wobei die zusätzlichen Verluste durch weitere Kraftwerke zur Verfügung gestellt werden muss. Als Vergleich der beiden Modelle mit und ohne lokale Speicherlösung gilt 102 UBP/kWh für das Modell O-CEM und 80 UBP/kWh für das Modell M-CEM. Dieser Unterschied errechnet sich durch den Mehraufwand durch Leitungsausbau im Modell O-CEM, da Leitungen um das Dreifache verstärkt werden müssen und rund doppelt so viel Transformatoren benötigt werden. Beim Modell M-CEM soll der Ausbau im NS wie auch für Hausanschlüsse unverändert bleiben, dies bei rund 285'000t wobei er im Modell O-CEM auf das 2.8-fache ansteigt auf 803'000t Kupfer. Im Vergleich zur gegenwärtigen Umweltbelastung haben die Modelle O-CEM und M-CEM eine Umweltbelastung von 70% bzw. 60%, was hauptsächlich mit der Endlagerung von Atommüll begründet wird.⁶

⁶(D.Hengevoss, Hugli, und Apr. 2019 o. J.)

Zusammenfassung

Wird die Umweltbelastung vom Netzausbau mit einer Hausspeicherlösung verglichen, so lässt sich bei dezentraler Energieproduktion durch Solaranlagen folgendes sagen: Lokale Speicherlösungen werden gemäss der Studie von D.Hengevoss et al. als umweltfreundlicher bewertet als die Energie über das Verteilnetz in Pumpspeicherkraftwerken einzuspeichern. Diese Aussage hat ihre Gültigkeit, sofern die Untersuchungsgrundlagen, wie beispielsweise die funktionelle Einheit und den beschriebenen Annahmen, eingehalten werden. Für die untersuchten Speicherlösungen gemäss der Studie für das BFE lässt sich sagen, dass der Blei-Säure-Akkumulator (BSA) bezüglich Ökologie mit Abstand am schlechtesten abschliesst. Die Ursache für diese klaren Unterschiede zu den anderen Speicherlösungen, wird mit der Rohstoffgewinnung und der Produktion dieses Akkumulators begründet. Die weiteren Speicherlösungen, die ebenfalls untersucht wurden, sind ähnlich und müssten somit jeweils individuell nach den verschiedenen Herstellungsverfahren und Rohstoffgewinnungsarten verglichen werden. Grund dafür ist, dass sie von Worst-Case bis Best-Case in der Umweltbelastung alle überschneidend sind. Somit könnte im Entscheidungsfall LIA, NNA oder VRA nebst dem ökologischen Aspekt ein weiteres Kriterium die Effizienz des Speichers sein. Abschliessend ist zu beachten, dass die berechneten Umweltkennwerte der Studie für das BFE und der Studie von D. Hengevoss et al. bezüglich Hausspeicherlösungen nicht miteinander verglichen werden können. Die Studien basieren auf unterschiedlichen Annahmen bzw. die Werte wurden unter verschiedenen Rahmenbedingungen ermittelt.

Literaturverzeichnis:

BFE, Hrsg. „Bestimmung von Wirkungsgraden bei Pumpspeicherung in Wasserkraftanlagen“. BFE, Bundesamt für Energie, März 2008.

<https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/11518.pdf>.

„Botschaft zur Energiestrategie 2050: Ziele und Massnahmen in der Übersicht“. UVEK, 4. September 2013. <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/31927.pdf>.

Christian Gaegauf. „Thermische und elektrische Speicher in Gebäuden und Quartieren“. ZHAW, 15. September 2015. https://www.zhaw.ch/storage/engineering/institute-zentren/iefeforschungsgruppen/Thermische_Speicher_NEU2018/TS_26_Schlussbericht_SPEQUA.pdf.

David Stickelberger. „Solarpotenzial Schweiz“. Meteotest, 13. Januar 2017.

„Der Lithium-Ion Akku - Batterie Info Batterie und Akku“. Zugegriffen 29. April 2020. <https://batterie-info.de/Thema/der-lithium-ion-akku/>.

D.Hengevoss, Ch Hugli, und D. Kunz | 25 Apr. 2019. „Der Umweltnutzen eines Hausmanagers“. Zugegriffen 28. April 2020. <http://www.energyatfhnw.ch/der-umweltnutzen-eines-hausmanagers-entscheidet-intelligenz-oder-material-ueber-eine-umweltfreundlichere-elektrische-energieverteilung/>.