

Organic-Flow-Batterien: Stromspeicher für die Energiewende

White Paper

Einer aktuellen Studie der Denk- und Politikfabrik „Agora Energiewende“ zufolge lagen die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) in Deutschland im Jahr 2019 um ca. 50 Millionen Tonnen unter den Emissionen des Vorjahres und um etwa 35 % unterhalb des Jahres 1990 [1]. Die Emissionen an CO₂ gehen also zurück, was auf dem steigenden Anteil regenerativ erzeugten Stroms beruht: So wurden in 2019 42,6 % des in Deutschland verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Quellen gespeist. Um die gesetzten Klimaziele zu erreichen, ist es unabdingbar, die Erneuerbaren Energien weiter auszubauen und konsequent ein auf dezentralen Einspeisern beruhendes Energiesystem zu etablieren. Ein möglichst schneller und weitreichender Ausbau ist zudem vor dem Hintergrund der angestrebten Zunahme der Elektromobilität und des Umbaus wichtiger Kernbranchen wie der Chemie auf CO₂-Neutralität erforderlich.

Erneuerbare Energien für die Stromversorgung: Zuverlässigkeit trotz Volatilität?

Prognosen gehen davon aus, dass die Erneuerbaren Energien im Jahr 2040 in der EU einen Anteil an der Stromversorgung von mehr als 50 % und weltweit von ungefähr 30 % haben werden [2]. In Deutschland soll der Anteil bis 2050 mindestens 80 % betragen [3].

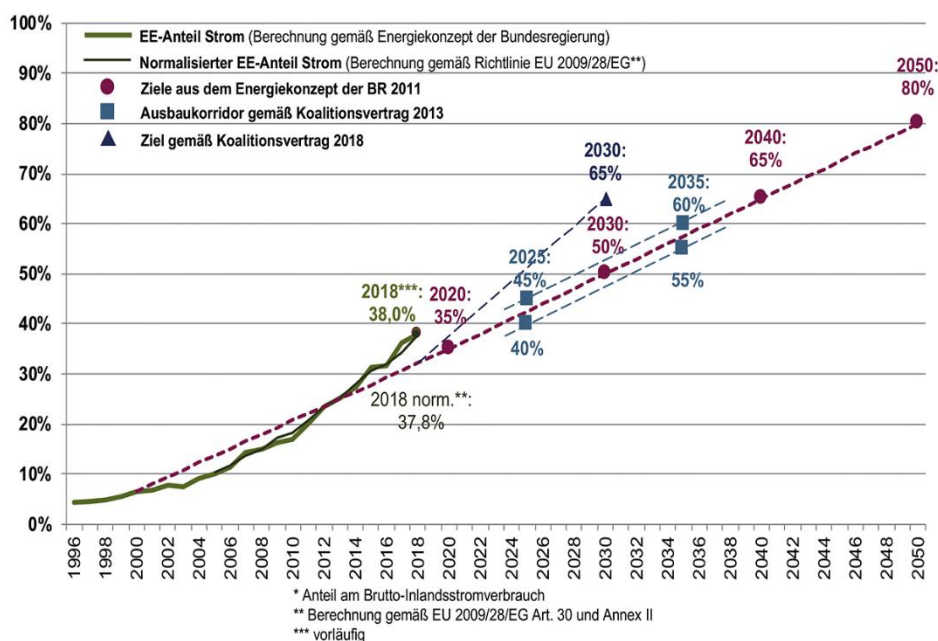


Abbildung 1: Anteil des Stroms aus regenerativen Energiequellen (Quelle: BDEW, AGE B Stand 06/2019); abgerufen am 15.04.2020; [https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/erneuerbare-energien-methodenstreit-sorgt-fuer-verwirrung-2019755/]

Die besondere Herausforderung bei dem Aufbau eines auf Erneuerbaren Energien beruhenden Energiesystems ist, mit dezentralen Einspeisern die Basis für ein zuverlässiges, kosteneffizientes und nachhaltiges Versorgungssystem zu legen und in die vorhandenen Strukturen zu integrieren.

Ein wesentliches Charakteristikum Erneuerbarer Energien ist deren starke Volatilität, die nicht beeinflussbar und nur in Grenzen vorhersehbar ist: Weht der Wind und scheint die Sonne, liefern Windkraft- und Photovoltaikanlagen mehr Strom, als gerade benötigt wird, bei Windstille und bedecktem Himmel herrscht dagegen auch Flaute im Stromnetz - die gefürchtete Dunkelflaute. Schwankungen der dezentralen Einspeiser stehen Schwankungen beim Stromverbrauch gegenüber. Abgesehen von tageszeitlichen Schwankungen sind auch erhebliche unregelmäßig auftretende Stromspitzen abzudecken, wenn bspw. Industrieanlagen hochgefahren werden. Zeiten des Energieüberangebots stehen also Zeiten der Unterversorgung gegenüber. Durch den steigenden Anteil Erneuerbarer Energien wird diese zeitliche Diskrepanz zwischen Energieerzeugung und -nutzung immer größer.

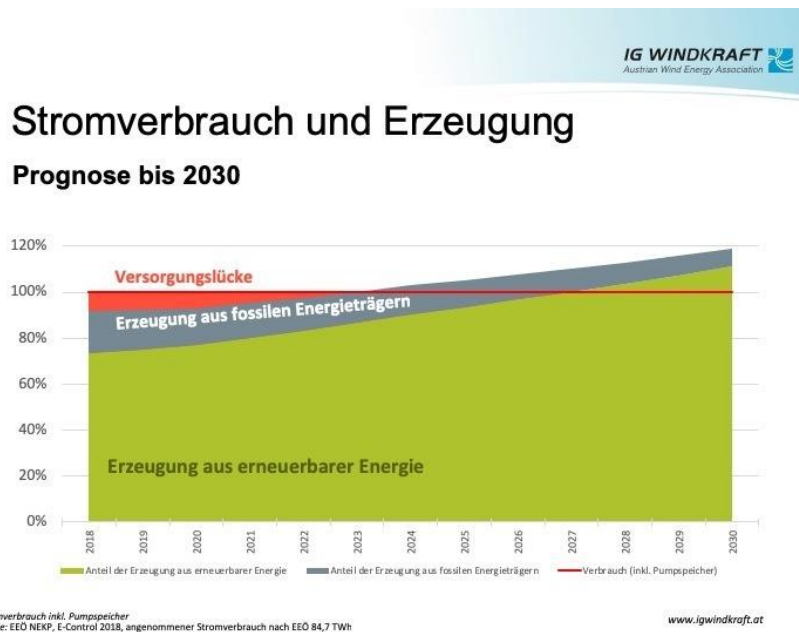


Abbildung 2: Stromverbrauch und Erzeugung, Prognose bis 2030, IG Windkraft; abgerufen am 15.04.2020; [https://www.ig-windkraft.at/?mdoc_id=1040479]

Den räumlichen Ausgleich von Orten der Energieerzeugung und Orten des Energieverbrauchs regeln Stromnetze, der zeitliche Ausgleich gelingt mithilfe von Stromspeichern: In Zeiten des Überangebots nehmen Stromspeicher elektrische Energie auf und stellen diese bei Bedarf wieder zur Verfügung. Die Entwicklung großer, wirtschaftlich arbeitender Stromspeicher ist damit eine Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende als Kernelement eines nachhaltigen Klimaschutzes [4.]

Sektorenkopplung für den Klimaschutz

Während der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung steigt und damit die mit der Stromerzeugung verbundenen CO₂-Emissionen vermindert werden, steigen in anderen Bereichen die CO₂-Emissionen mangels geeigneter Technologien oder zu geringer Verbreitung nach wie vor an. Um auch in den Sektoren Wärme und Verkehr sowie bei der nicht-energetischen Nutzung, wie bspw. in der chemischen Industrie, CO₂ zu vermeiden, benötigt man sektorenkoppelnde Energiespeicher, das heißt Energiespeicher, die in unterschiedliche Sektoren ein- und ausspeichern können. Ein Beispiel ist, erneuerbar produzierten Strom für die Elektromobilität zu nutzen [5.]



Abbildung 3: Sektorkopplung, Schnittstellen von erneuerbaren Energien; abgerufen am 15.04.2020; [https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/strom/sektorkopplung/die-verkuepfung-von-strom-waerme-und-verkehr-im-energiesystem-der-zukunft]

Stromspeicher: Schlüsselemente für die Stromversorgung der Zukunft

Der steigende Bedarf an Strom in einer „all electric world“ und die Notwendigkeit einer optimalen Netzstabilität erfordern zwingend den kontinuierlichen Aus- und Umbau des Energiesystems und die Nutzung von Großspeichern. Diese erhöhen die Verlässlichkeit der Stromversorgung, was z.B. bei Krankenhäusern und Industrieanlagen von hoher Bedeutung ist, sie gleichen auftretende Schwankungen in der Stromerzeugung und -nutzung aus, sie puffern Lastspitzen ab und stabilisieren das Stromnetz. Auch im Fall von Stromausfällen können Großspeicher einspringen. Sie können vorübergehend Strom ins Netz einspeisen und die Schwarzstartfähigkeit von Kraftwerken verbessern.

Leistungsfähige Großspeicher helfen zudem, den – notwendigen – Ausbau des Stromnetzes auf ein Minimum zu reduzieren und dadurch Kosten und Ressourcen zu sparen. Richtig konzipiert sinkt durch Großspeicher der Strompreis. Letztlich kann auch die benötigte flächendeckende Infrastruktur für das Aufladen von Elektro-Fahrzeugen ohne leistungsfähige Energiespeicher kaum gelingen – erst Stromspeicher ermöglichen die Elektromobilität und sind Bestandteil der Mobilitätswende [6].

Stromspeicherung kann auf verschiedenste Weise erfolgen: mechanisch, thermisch, elektrisch, chemisch und elektrochemisch

Zu den mechanischen Stromspeichern zählen Pumpspeicher, Druckluftspeicher und Schwungräder. In Deutschland gibt es nur wenige Standorte, die für neue Pumpspeicherwerke geeignet wären. Zudem stellt ihr Bau einen erheblichen Eingriff in die Landschaft dar, der ökologische Probleme mit sich bringen kann. Druckluftspeicher rechnen sich aufgrund von Wärmeverlusten oft nicht. Schwungräder haben zwar einen Wirkungsgrad von 95 %, dem jedoch die Notwendigkeit einer aufwendigen

Kühlung und hohe Ruheverluste durch Reibung entgegenstehen, sodass sie nur für sehr kurze Speicherzeiten geeignet sind [7].



Abbildung 4: Technologieüberblick Energiespeicher, Agentur für erneuerbare Energien; abgerufen am 15.04.2020; [https://www.unendlich-viel-energie.de/energiespeicher-technologien-und-ihre-bedeutung-fuer-die-energiewende2]

Bei thermischen Energiespeichern unterscheidet man zwischen sensiblen Wärmespeichern, bei denen nur die Temperatur des Speichermediums verändert wird, Latentwärmespeichern, die ihren Aggregatzustand z.B. zwischen fest und flüssig wechseln, und thermochemischen Speichern, bei denen eine endotherme chemische Reaktion stattfindet. Viele dieser Speicherkonzepte sind nur an Kraftwerkstandorten sinnvoll oder haben gesamtbilanziell nur geringe Wirkungsgrade [8].

Supraleitende magnetische Speicher speichern elektrische Energie in ihrem magnetischen Feld, Superkondensatoren in ihrem elektrischen Feld. Der Nachteil supraleitender magnetischer Speicher: Sie benötigen teure Rohstoffe und müssen kontinuierlich auf sehr tiefe Temperaturen gekühlt werden – darunter leidet ihre Effizienz. Zudem ist ihre Speicherdichte vergleichsweise gering und ihre Selbstentladung hoch, sodass sie im Grunde nur bei Anwendungen interessant sind, die eine geringer Ansprechzeit und einen niedrigen Energiebedarf aufweisen [9]. Superkondensatoren unterliegen ebenfalls einer starken Selbstentladung und benötigen hochpreisige Rohstoffe. Dadurch sind sie relativ teuer. Außerdem sind Supercaps gegenüber Spannungsschwankungen empfindlich. Dazu kommen Brand und Explosion als Sicherheitsrisiken [10].

Power-to-X

Chemische Energiespeicher erzeugen bei Aufnahme von Energie chemische Substanzen, die ihre Energie später bei einer erneuten Umwandlung wieder freisetzen können. Dazu zählen Power-to-Gas-, Power-to-Liquid- und Power-to-Chemicals-Anlagen.

Die Energie wird in Form von Gas, vor allem Wasserstoff oder Methan, flüssigen Kraftstoffen oder Chemieprodukten gespeichert. Die erzeugten Produkte können auf verschiedene Weise genutzt werden: Verbrennen, Einspeisen ins Gasnetz oder als Ausgangsstoffe für die chemische Produktion. Derartige Ansätze leiden jedoch oft unter einem relativ geringen Wirkungsgrad [11]. Wird Wasserstoff- oder Methangas erzeugt und gespeichert, kommt eine kostspielige Speicherung in Tanks dazu.

Batterien: Vom Hosentaschen-Format bis zur Netzanwendung

Womit wir täglich zu tun haben, wenn wir z.B. unser Tablet oder Handy benutzen und aufladen, sind elektrochemische Energiespeicher – bezeichnet als Akkus oder wiederaufladbare Batterien. In großem Maßstab sind wiederaufladbare Batterien auch für die „Zwischenlagerung“ nicht benötigter Energie auf Netzebene geeignet. Hier kommen ihnen ihre sehr schnellen Reaktionszeiten zugute: Über ein kurzfristiges Einspeichern und Ausspeichern können sie Versorgungsüberschüsse aufnehmen und Versorgungsengpässe ausgleichen [12]. Auch Speicherdauern von Stunden bis Tagen sind möglich, allerdings gibt es hierbei Unterschiede zwischen den einzelnen Batterietechnologien.

Blei-Säure-Batterie – der Klassiker

Der Klassiker ist nach wie vor die Blei-Säure-Batterie, die einen weltweiten Marktanteil von ca. 90 % hat. Sie kann mehrere Jahre lang zuverlässig arbeiten [13], sie ist kostengünstig, aber wartungsintensiv und benötigt Schwermetalle [14]. Sie bringt eine hohe Leistungsdichte mit, allerdings auch eine hohe Masse. Die auf die Masse bezogene Energiedichte ist somit gering. Risiken sind das mögliche Auslaufen von Säure, das Ausgasen und die Entstehung von Knallgas, das verpuffen kann. Zudem ist Blei ein giftiges Schwermetall. Mit der Zeit können die Elektroden korrodieren, das Bleisulfat kann zu größeren Aggregaten zusammenwachsen, die Batterie kann an Kapazität verlieren. Die Selbstentladung kann bis zu 0,5 % pro Tag betragen [12]. Recyclingkonzepte sind etabliert. Für die wirtschaftliche Speicherung großer Energiemengen sind diese Batterien jedoch nicht geeignet.

Nickel-Cadmium-Batterien sind teurer als Bleiakkus, bieten dafür aber eine längere Lebensdauer bei allerdings relativ geringem Zyklenwirkungsgrad [14]. Nickel und Cadmium sind ebenfalls toxische Metalle und auch hier sind große Energiemengen nicht mehr wirtschaftlich speicherbar.

Lithium-Ionen-Batterie – die Mobile

Lithium-Ionen-Batterien sind derzeit der Standard für elektronische Geräte wie Laptops, Tablets und Mobiltelefone. Insbesondere im Bereich der Elektromobilität sind sie bereits stark verbreitet. Sie bieten eine hohe Energiedichte, geringe Selbstentladung und hohe Zyklusstabilität. Die Kosten sind immer noch relativ hoch und einige Batterietypen der Lithium-Ionen-Batterie sind anfälliger gegenüber Tiefenentladungen, was wie bei allen Feststoffbatterien durch irreversible Restrukturierungen der Elektrodenmaterialien bei starker Be- und Entladung hervorgerufen wird.

Die Lebenszeiten können unter Idealbedingungen bei 10 bis 15 Jahren liegen und die Zyklenwirkungsgrade zwischen 85 und 95 % [14]. In der Praxis sind die Lebenszeiten mit zwei bis fünf Jahren

erheblich niedriger [15]. Zunehmend werden die Bedingungen und Umweltschäden kritisiert, die mit der Lithium-Gewinnung verbunden sind.

Lithium-Ionen-Batterien speichern Strom in Form von elektrochemischer Energie. Die positive Elektrode besteht aus einem Lithium-haltigen Metalloxid, z.B. LiCoO_2 , die Negative aus Graphit, in das Lithium-Ionen eingelagert sind. Als Elektrolyt dienen in brennbaren und oft giftigen organischen Lösungsmitteln gelöste Lithium-Salze, deren Lithium-Ionen (Li^+) frei zwischen den beiden Elektroden wandern können, auch durch den Separator, der Kathoden- und Anodenraum trennt. Beim Entladen gibt die Graphitelektrode Elektronen in den Stromkreis ab, eingelagerte Li^+ -Ionen werden dafür freigesetzt und wandern durch den Elektrolyten zur positiven Elektrode. Hier werden sie als Ionen in das Kristallgerüst des Lithium-Metalloxids eingelagert. Die Elektronen aus dem Stromkreis werden von den anderen Metallionen in der Elektrode aufgenommen, es handelt sich dabei in den meisten Fällen um Cobalt-Oxide. Beim Ladevorgang werden diese Prozesse umgekehrt.

Vorteilen wie einer relativ hohen Energiedichte und Entladetiefe stehen eine Reihe von Nachteilen gegenüber: So werden keine hohen Lade- und Entladeströme erreicht, Packaging und Kühlung sind aufwendig. Zudem ist eine Einzelspannungsüberwachung notwendig. Da Lithium-Ionen-Batterien, wie alle Feststoffbatterien, empfindlich sowohl auf Tiefentladung als auch auf Überladung reagieren, erfordern die meisten Anwendungen elektronische Schutzschaltungen. Tiefentladung führt meist zu einer Schädigung und zu Kapazitätsverlust durch irreversibel veränderte und elektrochemisch inaktive Festkörperstrukturen. Überlastungen und Kurzschlüsse aufgrund einer Brückenbildung durch Dendritenwachstum können die Batterie lokal überhitzen. Eine solche Überhitzung, aber auch eine äußere Beschädigung, kann ein sogenanntes thermisches Durchgehen der Batterie verursachen. Die brennbaren organischen Lösungsmittel des Elektrolyten und entstehende Zersetzungsprodukte können dann einen Brand auslösen [12].

Engpässe bei Lithium erwartet

Dazu kommen weitere erhebliche Nachteile: So wird befürchtet, dass es bei Cobalt und Lithium zu Versorgungsengpässen kommt und die Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien zukünftig knapp und teuer werden. Cobalt ist zudem toxisch und seine Gewinnung ausgesprochen problematisch, da es größtenteils in Afrika oft unter inakzeptablen Bedingungen gefördert wird. Zudem sind das Recycling und die Entsorgung von Lithium-Ionen-Batterien schwierig und verursachen Umweltprobleme und Sicherheitsrisiken durch die Brandgefahr [12].

Zusammengenommen zeichnet sich hier ein Risiko für die Produktion ab. Davon abgesehen sind Lithium-Ionen-Batterien nicht unbedingt die beste Lösung für großtechnische und Netz-Anwendungen, bei denen Strom für einen Zeitraum von mehreren Stunden gespeichert werden soll [16]. Weiterhin wirkt sich die Tatsache, dass Kapazität und Leistung nicht unabhängig voneinander skaliert werden können, kostenmehrend aus.

Daher ist es anzustreben, die knapper werdenden Rohstoffe für solche Anwendungen aufzusparen, in denen Lithium-Ionen-Batterien derzeit noch nicht sinnvoll ersetzbar sind, wie für tragbare Elektronik und Elektrofahrzeuge.

Der Bedarf an Lithium-Ionen-Batterien für den Automobil-Sektor nimmt momentan jährlich um ca. 63 % zu, auch begünstigt durch die Pläne der Bundesregierung, Diesel- und Benzin-Fahrzeuge ab 2030 ganz zu verbieten – weitere Länder planen ebenfalls Verbote [16, 17].

Technologie für große Stromspeicher

Für Energiespeicherung im Megawattstundenbereich sollte auf andere Technologien zurückgegriffen werden, die diese Aufgabe kostengünstiger und umweltfreundlicher übernehmen können. Hier eröffnen sich mit Redox-Flow-Batterien neue Perspektiven. Redox-Flow-Batterien haben zwar eine geringere Energiedichte als Lithium-Ionen-Batterien, aber zwei entscheidende Vorteile: Erstens können Leistung und Kapazität unabhängig voneinander variiert werden. Die Leistung wird durch die Auslegung und die Größe des Energiewandlers bestimmt. Die Kapazität hingegen wird durch die Größe der Tanks bestimmt, in denen der Elektrolyt bevorratet ist, in dem die Energie gespeichert wird. Somit lässt sich beides voneinander entkoppelt einstellen, was bei herkömmlichen Feststoffbatterien nicht der Fall ist, da dort für die Vergrößerung eines Parameters immer der andere Parameter mit vergrößert werden muss. Gerade bei großen Kapazitätsmengen, wie sie etwa zum Versorgen eines Stadtviertels notwendig wären, skaliert damit die Redox-Flow-Batterie preislich deutlich besser als herkömmliche Feststoffbatterien. Zweitens sind Redox-Flow-Batterien mit wässrigen Elektrolyten ausgestattet, die intrinsisch unbrennbar sind und somit eine deutliche Verbesserung der Sicherheit gegenüber den aufgeführten Feststoffbatterien darstellen.

Hierdurch eignet sich dieser Batterietyp besonders für die Speicherung großer Strommengen – gerade dann, wenn das Gewicht und die Größe der Batterie keine Nachteile erzeugen, etwa in stationären Anwendungen [7,14]. Redox-Flow-Batterien sind für eine Energiespeicherung im Stundenbereich geeignet und können Kapazitäten von Hunderten von Megawattstunden zur Verfügung stellen. Damit bieten sie sich für Anwendungen im Stromnetz an [16].

Elektrolyt im ständigen Fluss: Redox-Flow-Batterien

Redox-Flow-Batterien unterscheiden sich grundlegend von konventionellen Batterien. Klassische Batteriespeicher speichern die elektrochemische Energie in ihren festen, häufig metallischen Elektroden, Redox-Flow-Batterien speichern sie dagegen in ihrem flüssigen Elektrolyt. Auffälligstes Merkmal sind daher ihre externen Tanks, in denen sich die Elektrolyt-Flüssigkeiten befinden.

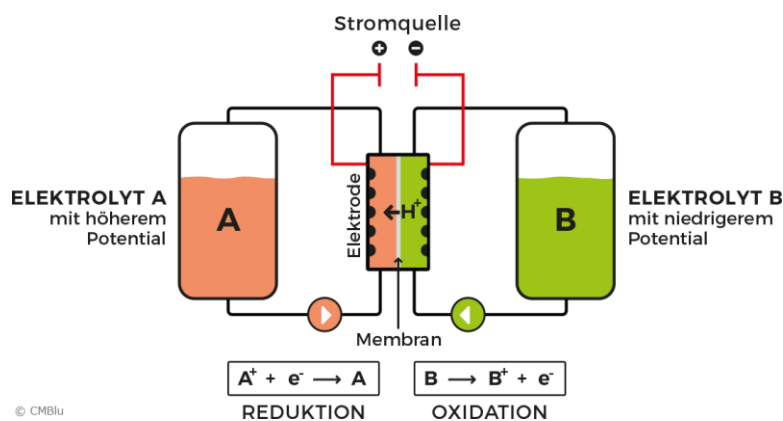


Abbildung 5: Schemazeichnung Redox-Flow-Batterie bzw. Organic-Flow-Batterie, CMBlu Energy AG; abgerufen am 15.04.2020

Während der Lade- und Entladevorgänge werden die Elektrolyte – Posolyt und Negolyt – kontinuierlich durch die Zellen des Stacks gepumpt, daher der Begriff „Flow“. Der Begriff „Redox“ leitet sich von den stattfindenden chemischen Reaktionen ab: Einer Reduktion (Aufnahme von Elektronen)

und einer Oxidation (Abgabe von Elektronen), die räumlich getrennt voneinander in den Anoden- bzw. Kathodenräumen des Energiewandlers ablaufen. Die gespeicherte chemische Energie wird durch eine Redox-Reaktion an den beiden Elektrodenoberflächen in Strom umgewandelt. Beim Ladevorgang wird umgekehrt Strom zugeführt und die Redox-Reaktion umgekehrt. Redox-Flow-Batterien können auch als eine Art reversibel arbeitende Brennstoffzelle angesehen werden, bei der der elektrochemische „Brennstoff“ nicht vollständig zerstört wird, sondern bei Leistungseinspeisung wiedergewonnen werden kann [14]. Das elektrochemisch aktive Material ist dabei in der Elektrolyt-Flüssigkeit gelöst.

Entkopplung von Leistung und Kapazität

Die Speicherung und die Umwandlung der Energie finden an zwei verschiedenen Orten in der Batterie statt – und damit sind Leistung und Kapazität voneinander entkoppelt, was, wie oben bereits beschrieben, eine Besonderheit der Redox-Flow-Technologie ist.

Feststoffbatterien altern durch Temperaturschwankungen sowie durch die Zahl der Lade- und Entladezyklen. Diese lassen die verwendenden Feststoffe quellen und schrumpfen. Diese mechanischen Veränderungen führen u.a. zu Kapazitätsverlusten. Redox-Flow-Batterien altern hingegen nicht durch die Zahl der Zyklen, sondern durch die Zeitspanne, in der sie im geladenen Zustand gehalten werden. Ein Vorteil der Redox-Flow-Batterien ist, dass sie einfach zu warten sind; sollte ein Energiewandler beschädigt sein, kann er von den Tanks abgekoppelt und getauscht oder gewartet werden. Sollte der Elektrolyt beeinträchtigt sein, können die Tanks vom Energiewandler abgekoppelt und der Elektrolyt entweder regeneriert oder ersetzt werden, was bei Feststoffbatterien nicht möglich ist. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Selbstentladung im Ruhezustand.

Es gibt verschiedene Arten von Redox-Flow-Batterien. Zu den herkömmlichen Typen zählen allem solche auf der Basis von Vanadiumsalzen in verschiedenen Oxidationsstufen. Ihr Nachteil: Vanadium ist toxisch und steht nur in einem sehr begrenzten Maße zur Verfügung. Etwa 90 % des produzierten Vanadiums wird zu Stahlherstellung benötigt. Eine Ausweitung der Produktion ist aufgrund der beschränkten Vorkommen nicht möglich, entsprechend sind steigende Preise zu erwarten.

Batterietypen auf der Basis von wasserlöslichen Eisenverbindungen und/oder auf der Basis organischer Verbindungen gehen diesen Problemen aus dem Weg. Hier eröffnet sich ein Weg, die Kosten für eine längerfristige Speicherung noch einmal deutlich zu verringern. Zudem sind sie umweltfreundlicher und leicht zu installieren [18].

Organic-Flow-Batterie – die maßschneiderbare Alternative

Für eine beliebig skalierbare und nachhaltige Stromspeicherung sind Technologien notwendig, die kostengünstig und somit wettbewerbsfähig, frei von kritischen Rohstoffen, ökologisch und recycelbar sind. Rein metallbasierte Systeme können diese Anforderungen zum Großteil nicht erfüllen.

Als Alternative bietet sich an, aromatische organische Verbindungen einzusetzen. Sie stellen eine geeignete Quelle für potenzielle kostengünstige redox-aktive Elektrolyte dar. Der besondere Vorteil: Durch kleine Variationen, beispielsweise der Seitengruppen eines aromatischen Grundgerüsts, können dessen Eigenschaften optimiert werden. So lassen sich z.B. Redox-Potential, Zyklusstabilität, Wasserlöslichkeit und Temperaturstabilität gezielt einstellen und verbessern – und auf diese Weise die Kosten für ein Speichersystem reduzieren und mannigfaltige Einsatzbereiche erschließen.

Bereits kleine Veränderungen an den Grundmolekülen können genutzt werden, um die Substanz auf die sonstigen Randbedingungen maßzuschneidern [19].

Hochleistungselektrolyt für die Zukunft

Die Organic-Flow-Batterie von CMBlu arbeitet mit zwei verschiedenen wässrigen Elektrolyten: Als Negolyt dient eine organische Verbindung auf Basis eines speziell entwickelten, für diese Anwendung optimierten aromatischen Ringsystems. Der Posolyt ist eine gängige organische Eisen-Komplexverbindung. Die organische Verbindung speichert zwei Elektronen pro Molekül und ist somit ein echter Hochleistungselektrolyt [19].

Die beiden unterschiedlichen Elektrolyt-Lösungen werden in separaten Tanks gelagert. Über Rohrsysteme zirkulieren sie durch die Anoden- bzw. Kathodenräume der Energiewandler-Stacks. In diesen Zellen finden die beiden elektrochemischen Reaktionen, die Oxidation und die Reduktion, räumlich voneinander getrennt statt. Ein Monitoring-System überwacht und ein Batteriemanagementsystem (BMS) steuert die Vorgänge elektrisch und hydraulisch. Das BMS kann zudem in ein übergeordnetes Energiemanagementsystem (EMS) integriert werden.

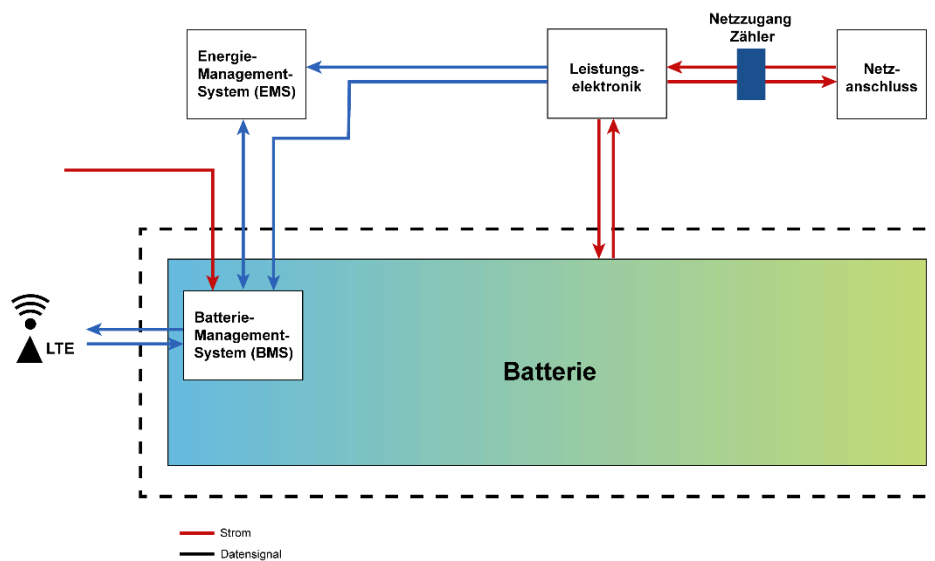


Abbildung 6: Schnittstellen und Anschlüsse Organic-Flow-Batterie, CMBlu Energy AG; abgerufen am 15.04.2020;

Wie bei allen Flow-Batterien hängt die Kapazität von der Größe der Tanks und der darin enthaltenen Menge Elektrolyt ab. Die Leistung der Flow-Batterie hängt dagegen vom Material und der Fläche der Elektroden sowie der Kinetik des Redox-Prozesses an der Elektrodenoberfläche ab, also einer intrinsischen Eigenschaft des Elektrolyttypen. Das bedeutet, dass Kapazität und Leistung unabhängig voneinander gewählt werden können, je nach den individuellen Erfordernissen [20].

Auch eine spätere Erweiterung ist möglich, indem die Tanks durch größere ersetzt bzw. weitere Stacks nachgerüstet werden. Sicherheitsabstände zwischen den Stacks sind nicht notwendig, sie können neben- oder übereinandergestellt aufgestellt werden. Ein klarer Pluspunkt für die Organic-Flow-Batterie gegenüber Lithium-Ionen-Batterien im stationären Betrieb; diese benötigen aus brandschutztechnischen Gründen Sicherheitsabstände oder Brandschutzmauern zwischen den Stacks.

Die Stacks bestehen aus seriengeschalteten Halbzellen. Anoden- und Kathodenhalbzelle sind paarweise durch eine halbdurchlässige Membran verbunden, die selektiv Ionenwanderung zulässt, um den notwendigen Ladungsausgleich zu ermöglichen, aber die Vermischung der beiden Elektrolyte verhindert. Die Elektrolyte, Posolyt und Negolyt, lagern in zwei separaten Tanks und werden durch zwei getrennte Rohrsysteme durch den Stack gepumpt.

Robust und unproblematisch

Aufgrund der Potentialdifferenz der Elektrolyte kann an den Elektroden eine Spannung abgegriffen werden. Wird ein Verbraucher angeschlossen, fließt elektrischer Strom und die Batterie wird entladen. Wird umgekehrt Strom eingespeist, verlaufen die Redox-Reaktionen der Halbzellen in entgegengesetzter Richtung, die Batterie wird wieder aufgeladen.

Die Organic-Flow-Batterien sind betriebssicher für Personal sowie Umwelt, es werden weder brennbare noch explosive Substanzen eingesetzt. Die Elektroden kommen ohne metallhaltige Katalysatoren aus und es werden auch sonst keine giftigen Schwermetalle verwendet. Alle benötigten Rohstoffe sind leicht verfügbar, Versorgungsengpässe sind auch langfristig nicht zu erwarten. Die Elektrolyte haben gute Voraussetzungen für eine Rezyklierbarkeit.

Anders als bei konventionellen Batterien ist eine vollständige Endladung bei Organic-Flow-Batterien kein Problem. Anschließend können sie ohne Verzögerung sofort wieder aufgeladen werden, indem die benötigte Spannung angelegt wird. Die Leistung lässt dadurch nicht nach und die Batterien nehmen keinen Schaden.

Auf dem Weg in den Markt

Organic-Flow-Batterien sind vor allen in stationären Bereichen der Stromversorgung flexibel einsetzbar: von kleinen Inselnetzen, über industrielle und kommerzielle Anwendungen bis hin zu sehr großen Systemen im drei- und vierstelligen Megawatt-Bereich in Stromnetzen [7]. Im Technikum der CMBlu Energy AG wurden mehrere Generationen von Systemen gebaut und getestet. In einem eigenen Testzentrum können Interessenten die Technologie live erleben und im Hinblick auf ihre Einsatzbereiche erproben.

Elektrofahrzeuge und andere mobile Anwendungen bleiben nach wie vor die Domäne von Lithium-Ionen-Batterien, die als klassische Feststoffbatterien zwar eine höhere Energiedichte aufweisen, aber bei hohen Energiemengen deutlich schneller an ihre wirtschaftlichen Grenzen kommen. In allen Anwendungsfeldern, in denen Volumen beziehungsweise Gewicht der Batterie zweitrangig sind, dafür aber große Energiemengen kostengünstig gehandhabt werden müssen, haben Organic-Flow-Batterien entscheidende Vorteile. Organic-Flow-Batterien können als Pufferspeicher im Bereich der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität zukünftig eingesetzt werden, um das gleichzeitige Schnellladen von mehreren Fahrzeugen an Ladestationen zu ermöglichen. Die zeitweise benötigten Energiemengen könnten vom Stromnetz nicht zur Verfügung gestellt werden.



Abbildung 7: Anwendungsbereiche der Organic-Flow-Batterie als Pufferspeicher für die Elektromobilität und als Quartierspeicher im urbanen Raum, CMBlu Energy AG; abgerufen am 15.04.2020;

Auch elektrisch angetriebene Schiffe, z.B. Fähren, könnten im Hafen über Ladestationen aufgeladen werden. Kreuzfahrtschiffe könnten mit Organic-Flow-Batterien ausgestattet werden, die sie während ihrer Fahrt aufladen, und den gespeicherten Strom dann für langsame Fahrten in Häfen nutzen. Besonders günstig ist hierbei, dass Organic-Flow-Batterien auch durch den Austausch von entladenelem Elektrolyt durch geladenen Elektrolyt „betankt“ werden können, was beispielsweise ebenfalls in einem Hafen passieren könnte.

Die Organic-Flow-Batterie ist aufgrund der hohen Leistung nicht für den Heimspeicherbereich gedacht, kann aber beispielsweise als Quartierspeicher für Siedlungen oder Wohngebiete eingesetzt werden. Auch für den gewerblichen Bereich sind Batteriespeicher interessant: So können Industriebetriebe Kosten sparen, indem sie Lastspitzen mit gespeicherter Energie ausgleichen („peak shaving“) oder durch das sogenannte „load shifting“ den Strombezug in Zeiten günstigerer Netztarife verschieben [21].

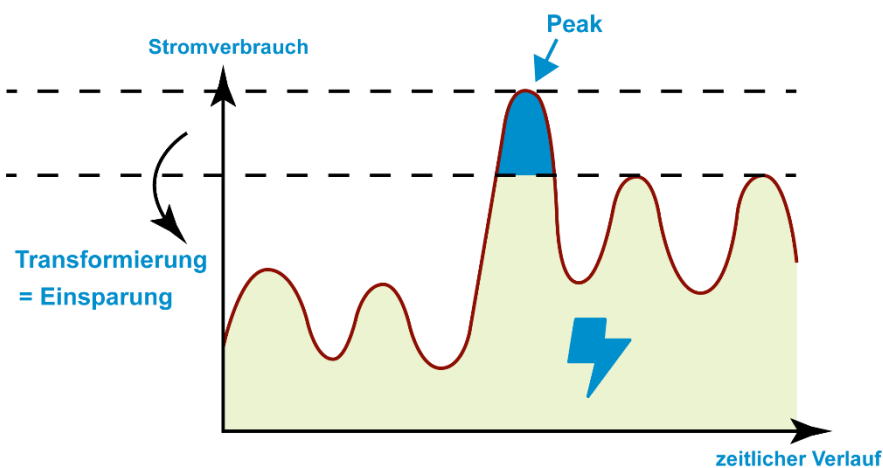


Abbildung 8: Grafik „Peakshaving“, CMBlu Energy AG; abgerufen am 21.04.2020;

Organic-Flow-Batteriespeicher auf Netzebene können rasch wie Spitzenlastkraftwerke reagieren, um Versorgungsüberschüsse aufzunehmen und Versorgungsengpässe auszugleichen. Die Energie können sie kurz- oder auch langfristig speichern. So helfen sie, das Stromnetz zu entlasten, den ortsnahen Verbrauch zu steigern und Erneuerbare Energien zu integrieren, etwa als regionale Puffersysteme und für Windparks oder Photovoltaik-Anlagen. Neue Kraftwerke können geringer dimensioniert werden, der Ausbau von Stromtrassen verliert an Dringlichkeit.

Organic-Flow-Batterien für die Energiewende

Eine erfolgreiche Energiewende ist ohne große stationäre Speicher nicht zu vollziehen, da es für notwendig ist, zeitlich fluktuierende Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien aufzufangen. Erst leistungsfähige Speicher sind es, die Solaranlagen und Windparks zu grundlastfähigen „hybriden Kraftwerken“ machen. Daneben spielen Speicher für die Energieversorgung von Industrieparks eine zunehmend wichtigere Rolle, da hier Lastspitzen kurzfristig abgefangen werden müssen, die vom Energienetz nicht schulterbar sind. Aber auch die urbane Elektromobilität sowie die Eigenversorgung von Quartieren mit lokal erzeugtem Strom wird erst durch effektive, kostengünstige Batteriespeicher ermöglicht. Für Organic-Flow-Batteriespeicher geht der Trend klar in Richtung großskaliger Anwendungen, bei denen Feststoffbatterien trotz all ihrer Vorteile unlösbare Defizite haben.

Im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien sind Organic-Flow-Batterien kostengünstiger in der Speicherung großer und sehr großer Energiemengen und darüber hinaus nachhaltiger in ihrem Ressourceneinsatz. Ihr Betrieb ist sicherer und stabiler. Es werden keine problematischen Rohstoffe verwendet, Versorgungsengpässe oder Kostenexplosionen sind nicht zu erwarten. Die Entsorgung ist umweltverträglich, da die meisten Komponenten leicht zu recyceln sind und keine problematischen Abfallprodukte entstehen.

Literaturverzeichnis

- 1 Agora Energiewende: State of Affairs of the German Power Market in 2019; 01 2020
<https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-german-power-market-state-of-affairs-in-2019/>
<https://www.agora-energiewende.de/presse/neuigkeiten-archiv/co2-preis-drueckt-treibhausgasemissionen-und-kohleverstromung-2019-auf-rekordtiefs/>
- 2 https://www.bp.com/de_de/germany/home/presse/energie-analysen/energy-outlook/ausgewaehlte-grafiken-zum-energy-outlook.html
- 3 <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Systemintegration-Erneuerbarer-Energien/systemintegration.html>
- 4 <https://www.bmbf.de/de/batterien-fuer-die-energiewende-8217.html>
- 5 <https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/strom/sektorenkopplung>; Bedeutung und Notwendigkeit von sektorenkoppelnden Speichern für die Energiewende, Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al., Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher FENES, OTH Regensburg, www.bmwi.de
- 6 <https://www.pv-magazine.de/2019/02/04/studie-photovoltaikspeicher-machen-verteilnetzausbau-fuer-elektromobilitaet-ueberfluessig/>
- 7 <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/oekostrom/energiespeicher.html>
- 8 Fraunhofer UMSICHT: Studie „Speicher für die Energiewende“
- 9 http://www.stromtankstellen.eu/smes_speicher.html
- 10 <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/oekostrom/energiespeicher/superkondensator.html>
- 11 <https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/klima-und-energie-info/power-to-x>
- 12 <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/batteriefabriken-europa-vernachlaessigt-innovation/>
- 13 <https://www.chemie.de/lexikon/Bleiakkumulator.html>

- 14 ECOFYS: Energy Storage – Opportunities and Challenges; A West Coast Perspective White Paper; www.ecofys.com/com/publications
- 15 <http://www.aku-abc.de/aku-lebensdauer.php>
- 16 ESS: Further Beyond Four Hours; www.essinc.com
Jason Deign, Greentech Media, October 26, 2017: China Plans Graphite Megafactories to Meet Booming Demand for Battery Storage; <https://www.greentechmedia.com/articles/read/china-builds-graphite-megafactories-for-battery-storage#gs.=djqo0M>.
- 17 <https://www.forbes.com/sites/frankahrens/2017/12/22/2017-the-year-europe-got-serious-about-killing-the-internal-combustion-engine/#9557c482ff0a>
- 18 ESS: Beyond Four Hours; www.essinc.com
- 19 Hofmann, J.D., et al.: Quest for Organic Active Materials for Redox Flow Batteries: 2,3-Diaza-anthraquinones and Their Electrochemical Properties; Chem. Mater. 2018, 30, 762–774
- 20 <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/stromspeicher/redox-flow-batterie.html>
- 21 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Technologie Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030; www.isi.fraunhofer.de

Abbildungsverzeichnis

- 1 Abbildung 1: Anteil des Stroms aus regenerativen Energiequellen (Quelle: BDEW, AGEB Stand 06/2019); abgerufen am 15.04.2020; [<https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/erneuerbare-energien-methodenstreit-sorgt-fuer-verwirrung-2019755/>]
- 2 Abbildung 2: Stromverbrauch und Erzeugung, Prognose bis 2030, IG Windkraft; abgerufen am 15.04.2020; [https://www.igwindkraft.at/?mdoc_id=1040479]
- 3 Abbildung 3: Sektorenkopplung, Schnittstellen von erneuerbaren Energien; abgerufen am 15.04.2020; [<https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/strom/sektorenkopplung/die-verknuepfung-von-strom-waerme-und-verkehr-im-energiesystem-der-zukunft>]
- 4 Abbildung 4: Technologieüberblick Energiespeicher, Agentur für erneuerbare Energien; abgerufen am 15.04.2020; [<https://www.unendlich-viel-energie.de/energiespeicher-technologien-und-ihre-bedeutung-fuer-die-energiewende2>]
- 5 Abbildung 5: Schemazeichnung Redox-Flow-Batterie bzw. Organic-Flow-Batterie, CMBlu Energy AG; abgerufen am 15.04.2020
- 6 Abbildung 6: Schnittstellen und Anschlüsse Organic-Flow-Batterie, CMBlu Energy AG; abgerufen am 15.04.2020;
- 7 Abbildung 7: Anwendungsbereiche der Organic-Flow-Batterie als Pufferspeicher für die Elektromobilität und als Quartierspeicher im urbanen Raum, CMBlu Energy AG; abgerufen am 15.04.2020;
- 8 Abbildung 8: Grafik „Peakshaving“, CMBlu Energy AG; abgerufen am 21.04.2020;