



Sachstand

Großbatteriespeicher

Einzelfragen zur Lithium-Ionen-Batterietechnologie

Großbatteriespeicher

Einzelfragen zur Lithium-Ionen-Batterietechnologie

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 002/19
Abschluss der Arbeit: 28. Januar 2019
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Kenngößen von Energiespeichersystemen	5
3.	Ausgewählte Kenngößen von Lithium-Ionen-Speichern	5
4.	Marktübersicht Batteriespeicher	6
5.	Zentrale Lithium-Ionen-Großspeicherprojekte	6
6.	Ökonomische Aspekte von Stromspeichern	9
7.	Quellenverzeichnis	12

1. Einleitung

Für die deutsche Stromversorgung müssen insgesamt zu jeder Zeit knapp 600 Megawatt von den Netzbetreibern zur Stabilisierung vorgehalten werden. Mit einer installierten Leistung von 140 Megawatt im Jahr 2017 war Deutschland Vorreiter bei Großspeicherprojekten. Lithium-Ionen-Speichertechnologien kommen hierfür zunehmend zum Einsatz.

Streng genommen müssten Lithium-Ionen-Batterien als Lithium-Ionen-Akkumulatoren (wieder-aufladbare elektrochemische Energiespeicher, Akkus) bezeichnet werden. In der Literatur werden beide Begriffe, Batterie und Akkumulator, synonym verwendet.

Das Einsatzgebiet der Lithium-Ionen-Batterien reicht, in Abhängigkeit von ihrer Größe (Leistung), vom Stromspeicher bzw. Pufferspeicher für die Erneuerbaren Energien, über Lastmanagement und Primärregelenergie bis hin zur Notstromversorgung. Auch in Elektroautos werden vorzugsweise Lithium-Ionen-Akkus eingesetzt. Ebenso setzen viele Heimspeicher-Hersteller diese Technologie ein. Die kalendarische Lebensdauer von unter fünf Jahren wird für den Konsumgüterbereich angesetzt, für den Industriebereich sollen Lebensdauern von über 10 Jahren akzeptabel sein.¹

Als elektro-chemische Speicher haben Lithium-Ionen-Batterien eine hohe Energiedichte und wenig Kapazitätsverlust bei häufigem Laden. Eigenschaften, die ihre Lebensdauer beeinflussen, sind die Zellchemie², die Verarbeitung der Batteriezellen und ihr Nutzungsprofil. Da kein Memory-Effekt auftritt, d. h. die Batteriekapazität auch nach mehreren Teilentladungen nicht sinkt, hängt die maximale Zyklenzahl von den Umgebungsbedingungen, insbesondere der Temperatur ab. Die Zyklenzahl wird mit einer Spannbreite für Großbatterien von mittlerweile > 10.000 Zyklen angegeben. Für eine lange Lebensdauer hat die Lithiumionen-Zelle idealerweise einen Ladezustand zwischen 30-70 %. Hohe Temperaturen wirken sich schädlich auf die Lebensdauer aus. Mit Wirkungsgrade von über 90 % sind Lithium-Ionen-Batterien im Allgemeinen sehr effizient. Mit volu-

1 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, S. 270

Witsch, Katrin, Handelsblatt (2018). „Tesla bringt ersten Großspeicher in Europa ans Netz“, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/us-elektro-pionier-tesla-bringt-ersten-grossspeicher-in-europa-ans-netz/22583232.html?ticket=ST-798084-JENbeA40xORLOEKFLddH-ap1>, 18.05.2018, 17:35 Uhr

Bundesverband Energiespeicher (BVES) (2016). „Speichertechnologien Steckbrief-Li-Ionen Stromspeicher“, https://www.bves.de/wp-content/uploads/2016/03/FactSheet_echemisch_Li_Ionen.pdf

2 Es gibt verschiedene Zelltypen der Lithium-Ionen-Akkus (Li-Ion). Die Unterscheidung bezieht sich auf das Material, das für Elektroden und Elektrolyt verwendet wird: LiNiO₂: Lithium-Nickel-Oxid, LiMn₂O₄: Lithium-Mangan-Oxid, LiCoO₂: Lithium-Kobalt-Oxid, Li₄Ti₅O₁₂: Lithium-Titanoxid, LiFePO₄: Lithium-Eisen-Phosphat, LiFeMnPO₄: Lithium-Eisen-Mangan-Phosphat, LiFeYPO₄: Lithium-Eisen-Yttrium-Phosphat, LiNMC: Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt, LiNiCoAlO₂ (auch NCA): Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid, aus: Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.) „Marktübersicht Batteriespeicher“, https://www.carmen-ev.de/files/Sonne_Wind_und_Co/Speicher/Markt%C3%BCbersicht-Batteriespeicher_2018.pdf („Carmen-Batteriespeicher“)

metrischen Energiedichten um 270 kWh/m³ besitzen sie das größte Potential für kompakte Speicherlösungen. Demgegenüber stehen - verglichen mit anderen Batteriesystemen - die höchsten spezifischen Kosten.³

Durch die Skalierbarkeit von Lithium-Ionen-Batterien, d. h. der Möglichkeit des modularen Aufbaus (von Kilowattstunden (kWh) bis Megawattstunden (MWh)), sind theoretisch beliebig große Systeme denkbar. Allerdings gibt es nur eine geringe Kostendegression mit der Systemgröße.⁴

Die vorliegende Arbeit behandelt insbesondere die technische Spezifikation und ökonomischen Aspekte von Großspeichern in der Größenordnung um 50 Megawatt (MW).

2. Kenngrößen von Energiespeichersystemen

In der Literatur werden teilweise Energiedichte, Leistung und Kapazität zur Beschreibung der Speicherkapazität bez. des Speicherpotenzials verwendet.

Die Energiedichte wird in **Wattstunden** pro Kilogramm oder pro Liter angegeben. Die Leistung in **Watt** pro Kilogramm oder Liter. Die Energiedichte verwendet man, um das Anwendungsspektrum der Speicher zu beschreiben. Die Leistungsdichte gibt die Leistung pro Gewicht bzw. Volumen an.

Die **Leistung** in Watt gibt die Ein- und Ausspeicherleistung an. Sie beschreibt die Lade- und Entladeleistung als Arbeit pro Zeit.

Die **Speicherkapazität** beschreibt den Stromanteil, den eine Anwendung überhaupt speichern kann. Sie wird als Arbeit bezeichnet, in Wattstunden [Wh] angegeben und beziffert den nutzbaren Energieanteil des Speichers.

3. Ausgewählte Kenngrößen von Lithium-Ionen-Speichern

Die folgenden Zahlen liefern beispielhaft Indikatoren der verschiedenen Parameter „und können zwischen verschiedenen Produkten und Installationen erheblich variieren“.⁵

- Technical Readiness Level⁶: 9
- Gesamtwirkungsgrad: 84 - 87 %
- Typische Nennausspeicherdauer: 0,5 bis 2 h
- Energiedichte: 200 bis 350 Wh/l (bezogen auf die Volumeneinheit)
- Zyklendauer (Voll-Ladezyklen): 1.000 bis 5.000, deutlich mehr Ladezyklen mit deutlich höherem Kostenrahmen

3 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Seite 270, 611

4 Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2017). VDI-Statusreport „Energiespeicher“, Seite 35

5 Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2017). VDI-Statusreport „Energiespeicher“, Seite 85-87

6 Technologiereifegrad von 1 bis 9, mit TRL9 als ausgereiftestes System: „Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes“

- Auf die Leistung bezogene Installationskosten (starke Abhängigkeit der geologischen Rahmenbedingungen): 150 bis 200 €/kW
- Auf die bereitgestellte Energie bezogenen Installationskosten: 250 bis 800 €/kWh.

4. Marktübersicht Batteriespeicher

In der Marktübersicht „Batteriespeicher“ finden sich über 360 Speichersysteme von insgesamt 26 Herstellern und Anbietern, die für stationäre Systeme vorgesehen sind. Die Angaben für Batterie-Stromspeicher gelten für Batterien, wie sie auch für Elektroautos und Photovoltaik-Heimspeicher eingesetzt werden. Die entsprechenden Kenndaten wie z. B. Nutzkapazität, Ladezyklen, Wirkungsgrad und Laufzeit, der Hinweis, ob sie als modulares System einsetzbar sind und der Endkundenpreis sind, sofern Angaben vorlagen, nach Unternehmen und Produkt aufgelistet.⁷

Eine Beispielspezifikation für eine Batteriezelle, die modular von 1 bis 50 MW aufgebaut werden kann, liefert die Firma „Saft Groupe SA“. Die Produktbroschüre wirbt mit bis zu 20 Jahren Lebensdauer bei täglichen Zyklen mit 60 % Entladungstiefe und mit einem Wirkungsgrad von mehr als 95 %.⁸

5. Zentrale Lithium-Ionen-Großspeicherprojekte

Lithium-Ionen-Akkus werden als Kleinspeicher auch in Laptops und Smartphones eingesetzt. Großspeicher der Druckluftspeicher- oder Pumpspeichertechnologie haben eine Leistung von 100 bis 300 Megawatt (MW) bzw. 1 bis 500 MW. Die Leistung der Lithium-Ionen-Akkus liegt in der Regel zwischen 0,002 bis einige 10 MW (10.000 kW).⁹

Die Grenze für Heimspeicher für z. B. Photovoltaikanlagen liegt bei einer Leistung/Kapazität von > 30 kW/30 kWh.¹⁰ Dies ist ein Richtwert. Speicher mit höheren Kapazitäten gelten als Großspeicher. Wobei zwischen dezentralen und zentralen Systemen unterschieden werden muss. Als dezentrale Großsysteme gelten auch Heimspeicher, die in einem System als Pool zusammengefasst

7 Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.) „Marktübersicht Batteriespeicher“, https://www.carmen-ev.de/files/Sonne_Wind_und_Co/Speicher/Markt%C3%BCbersicht-Batteriespeicher_2018.pdf, ab Seite 7

8 Saft Groupe SA (2019). „Intensium® Max, the megawatt energy storage system“, <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/intensium%C2%AE-max-megawatt-energy-storage-system>

Saft Groupe SA (2013). „Intensium Max product brochure“, <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/intensium%C2%AE-max-megawatt-energy-storage-system?text=&tech=76&market=330&sort=newest&submit=Search>

9 Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) (2018). „Systemkomponenten: Energiespeicher“, http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Programmbroschuere/fz2019/fz2019_03_02.pdf, Seite 25

Umrechnung: Kilowatt = 1000 Watt, Megawatt = 1.000.000 Watt, 1000 Kilowatt = 1 Megawatt, und 0,002 MW = 2 kW

10 Bundesverband Energiespeicher (BVES) (2016). „Leitfaden für Großspeicher“, https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/03/20170224_Leitfaden-f%C3%BCr-Gro%C3%9Fspeicher.pdf

werden. In der Regel haben die dezentralen Systeme unterschiedliche Besitzer. Für zentrale Systeme ist derzeit die Leistung/Kapazitätsskala nach oben hin offen.¹¹

Die folgenden Abschnitte zeigen Beispiele für Großspeicher unterschiedlicher Größenordnungen. Einzelne verfügbare technische Kenndaten der verwendeten Batteriezellen werden beispielhaft genannt.

- Im Batteriepark „WEMAG/Younicos“ in Schwerin sind über 25.000 Lithium-Ionen-Zellen mit einer Leistung von 5 MW errichtet worden. Der Hersteller Samsung SDI gibt auf seine Batteriezellen 20 Jahre Garantie, wenn sie mit der Software und dem Batteriemangement der Younicos AG betrieben werden¹². Das System kommt im Primärregelbereich bereits rentabel zum Einsatz. Für Regelenergiebereitstellung im Sekundärregel- und Minutenreservebereich wurde bisher die Wirtschaftlichkeit in der Praxis noch nicht nachgewiesen.¹³
- In Zusammenarbeit mit dem niederländischen Versorger „Eneco“ und „Mitsubishi“ entstand in Schleswig-Holstein, in Jardelund, das Großspeichersystem „EnspireME“ aus 10.000 Lithium-Ionen-Batterien mit einer Leistung von 48 MW.¹⁴
- Im britischen Glassenbury ist bereits ein Großspeicher mit 50 MW am Netz.¹⁵
- Die Firma Tesla hat in Australien im Dezember 2017 einen Großspeicher in Betrieb genommen. Dieser ist mit einer Leistung von 100 Megawatt bislang der größte Batteriespeicher der Welt. Das gesamte Projekt, das von der Firma Tesla umgesetzt wurde, hat ein Volumen von 200 Millionen Dollar. Als Speichertechnologie wurden sogenannte „Powerpacks“, unbegrenzt skalierbare Modulsysteme, eingesetzt. Das Modul „Powerpack“ ist

11 Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) (2015). Kurzstudie „Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung“, https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/BEE_HM_FENES_Kurzstudie_final.pdf

12 Frick, Frank, (2016). „Boom für Batterieparks“, Bild der Wissenschaft, Themenheft „Die Challenge“ (2016), S.31
Stern, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Seite 651

13 Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) (2015). Kurzstudie „Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung“, https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/BEE_HM_FENES_Kurzstudie_final.pdf

14 Handelsblatt (2018). „Tesla bringt ersten Großspeicher in Europa ans Netz“, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/us-elektro-pionier-tesla-bringt-ersten-grossspeicher-in-europa-ans-netz/22583232.html?ticket=ST-798084-JENbeA40xORLOekFLddH-ap1>, 18.5.2018, 17:35 h

50komma2 (2018). „Europas größte Batterie in Betrieb“, <http://50komma2.de/ww/2018/07/02/europas-groesste-batterie-in-betrieb/>

15 Handelsblatt (2018). „Tesla bringt ersten Großspeicher in Europa ans Netz“, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/us-elektro-pionier-tesla-bringt-ersten-grossspeicher-in-europa-ans-netz/22583232.html?ticket=ST-798084-JENbeA40xORLOekFLddH-ap1>, 18.5.2018, 17:35 h

G2 Energy „Project Overview“, <https://www.g2energy.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/Project-Overview-Glassenbury.pdf>

eine „Gleichstrom-Energiespeichereinheit mit 16 einzelnen Batteriegruppen („pods“), einem Wärmemanagementsystem und Hunderten von Sensoren, mit denen die Leistung jeder einzelnen Zelle überwacht und berichtet wird“, folgenden Produktdaten: Energiekapazität 210 kWh (Wechselstrom) pro Powerpack, Umgebungstemperatur -30 bis 50 °C Systemwirkungsgrad (Wechselstrom) bei einem Wärmemanagement bei 25 °C Umgebungstemperatur, 88 % Energieeffizienz (2 Stundenbasis), 89 % Energieeffizienz (4 Stundenbasis), extremer Langlebigkeit und einer Entladetiefe von 100 %.¹⁶

- Beim Steag-Großbatterie-System besteht jedes Li-Ionen-Großbatterie-System aus 6 Containern mit einer Gesamtleistung von 15 MW (3 x 5 MW). Bis Anfang 2017 sollen Systeme mit einer Kapazität von etwa 90 MWh errichtet werden. Die Module bestehen aus den gleichen Zellen wie die, die bei der Elektromobilität eingesetzt werden. Die Investitionskosten sollen 100 Millionen betragen.¹⁷
- Die Firma Hoppecke hat kleinere Großspeicher in Betrieb genommen und größere Speicher (bis 100 MW) projektiert. Das bislang größte Projekt in einer Photovoltaik-Anlage in Asien besitzt eine Speicherkapazität von etwa 100 MWh. Die Lithium-Ionen-Batterien werden mit einem Wirkungsgrad von > 95 % bei vollständiger Ladung und Entladung, einer Zyklenzahl von 6.000 Zyklen bei 25 °C Außentemperatur und mit einer Lebensdauer von bis zu 20 Jahren beworben.¹⁸

16 Handelsblatt (2018). „Tesla bringt ersten Großspeicher in Europa ans Netz“, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/us-elektro-pionier-tesla-bringt-ersten-grossspeicher-in-europa-ans-netz/22583232.html?ticket=ST-798084-JENbeA40xORLOEkFLddH-ap1>, 18.5.2018, 17:35 h

Energyload (2017). „Tesla Powerpacks: der größte Batteriespeicher der Welt entsteht in Australien“, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparks/tesla-powerpack-batteriespeicher-australien/>, 18.7.2017

Tesla (2017). „Tesla Powerpack to Enable Large Scale Sustainable Energy to South Australia“, https://www.tesla.com/de_DE/blog/tesla-powerpack-enable-large-scale-sustainable-energy-south-australia, 6.7.2017

Tesla „Powerpack“, https://www.tesla.com/de_DE/tesla-powerpack?redirect=no

17 Management-Circle (2016). „Im Fokus: Das größte Batteriespeicher-Projekt in Deutschland“, <https://www.management-circle.de/blog/im-fokus-das-groesste-batteriespeicher-projekt-in-deutschland/>, 21.7.2016

STEAG „STEAG Großbatterie-Systeme für mehr Versorgungssicherheit“, <http://www.steag-grossbatterie-system.com/>

STEAG (2019). „Flexible-Batteriespeicher für die Energiewende“, <https://www.steag.com/de/aktuelles/einblicke/flexible-batteriespeicher-fuer-die-energiewende/>

STEAG (2019). „Wichtiger Baustein für die Versorgungssicherheit“, <https://www.steag.com/de/leistungen/grossbatterien/>

18 Hoppecke (2017). „Am Netz: Innovativer HOPPECKE-Hybrid-Großspeicher erfolgreich in Betrieb genommen“, <https://www.hoppecke.com/de/news/am-netz-innovativer-hoppecke-hybrid-grossspeicher-erfolgreich-in-betrieb-genommen/m>, 29.9.2017

Hoppecke (2018). „sun - powerpack protect“, https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products/Downloads/sun_powerpack_protect_DE.pdf, 03/2018

- Die Firma LEAG will im Lausitzer Braunkohlrevier einen 50 MW-Batteriegroßspeicher errichten. Der Kohlekonzern investiert über 20 Millionen Euro in das Projekt „Big Battery Lausitz“, das 2020 in Betrieb gehen soll.¹⁹ „Die Kosten für das Projekt liegen bei rund 25 Millionen Euro. Das Land fördert es mit vier Millionen Euro.“²⁰
- Nach Aussagen der Firma „Vattenfall“ soll der Stromspeicher „battery@pyc“ am Standort „Pen y Cymoedd“ in Südwales künftig mit knapp 20 MW Regelleistung erbringen. „Insgesamt 500 Lithium-Ionen-Batterien mit je 33 kWh Kapazität sind auf fünf Container verteilt. Es handelt sich dabei um dieselben Batterien, die auch im BMW i3 verbaut sind, aber für die stationäre Nutzung adaptiert wurden. Am gleichen Standort betreibt Vattenfall einen 228-MW-Windpark mit 76 Windturbinen, die 15 Prozent des Jahresstromverbrauchs walisischer Haushalte erzeugen können.“²¹
- Das mit 18 MW größte Stromspeichersystem in der Schweiz ist seit Anfang Mai 2018 in Betrieb. Die Systemlieferanten sind die Firmen LG Chem, Südkorea und NEC, USA/Japan. Die 1.428 Lithium-Ionen-Batteriemodule haben eine Speicherkapazität von 7,5 MWh. Die Lebensdauer der Batterie wird mit 10 Jahren angegeben. Die Kosten für das Gesamtprojekt betragen 6.000.000 Franken.²²

6. Ökonomische Aspekte von Stromspeichern

Batteriespeicher sind technisch aufgrund ihrer geringen Reaktionszeiten im Millisekundenbereich grundsätzlich zur Bereitstellung von Regelleistung bis in den Minutenbereich geeignet. „Erste zentrale Batteriespeichersysteme kommen im Primärregelbereich bereits zum Einsatz, auch dezentrale Batteriespeicher sind im Verbund dazu ebenfalls in der Lage. Die Erbringung von Regelleistung aus gepoolten, dezentralen Batteriespeichern ist heute bereits wirtschaftlich. Abrechnungsmechanismen sowie die Verteilung von Netz- und EEG-Umlagekosten sind noch offen.“²³

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) bemerkt in seinem Statusreport „Energiespeicher“ im Jahr 2017, dass im Stromsektor Stromspeicher erst ab einem erneuerbaren Anteil von 70 bis 80 % ökonomisch rentabel werden. Verzögert sich der Netzausbau oder wird dieser durch z. B. Maßnahmen wie Erdverkabelung teurer, so würde der Einsatz von Stromspeichern deutlich früher

19 Energyload (2018). „Großspeicher in der Lausitz von LEAG“, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparcs/grossspeicher-lausitz-leag/>.

20 rbb (2018). „LEAG baut bis 2020 Riesen-Batteriespeicher in der Lausitz“, <https://www.rbb24.de/studiocottbus/wirtschaft/2018/12/leag-batteriespeicher-lausitz-speicher-batterie.html>

21 Energyload (2018). „Vattenfall nimmt bisher größten Batteriespeicher in Betrieb“, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparcs/vattenfall-batteriespeicher/>, 3.6.2018

22 Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (2018). „So funktioniert die größte Batterie der Schweiz“, <https://www.ekz.ch/batterie>

23 Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) (2015). Kurzstudie „Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung“, https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/BEE_HM_FENES_Kurzstudie_final.pdf

eine wichtige Rolle im Elektrizitätssystem spielen. Insbesondere im Zusammenhang mit den exponentiell steigenden Kosten für die Abregelung von erneuerbarem Strom im Norden und dem Ausgleich durch Kraftwerke im Süden Deutschlands (Redispatch) in Milliardenhöhe.²⁴ Die folgende Tabelle zeigt die finanzielle Belastung in Form von Steuern und Abgaben, die bei der Beladung von Stromspeichern anfallen können (Stand 2017).²⁵

Form der Belastung	netzabhängige Speicher					
	netzunabhängige Speicher		Pumpspeicher		sonstige Speicher	
	Entgeltspflichtig	Befreiungsmöglichkeit	Entgeltspflichtig	Befreiungsmöglichkeit	Entgeltspflichtig	Befreiungsmöglichkeit
Netzentgelte	Nein	→ Nicht nötig	Ja	→ Ja	Ja	→ Ja
Konzessionsabgabe	Nein	→ Nicht nötig	Ja	→ Offen	Ja	→ Offen
Stromsteuer	Offen	→ Offen	Ja	→ Ja	Ja	→ Offen
EEG-Umlage	Evtl.	→ Ja	Ja	→ Ja	Ja	→ Teilweise
KWK-Umlage	Nein	→ Nicht nötig	Ja	→ Offen	Ja	→ Offen
Offshore-Umlage	Nein	→ Nicht nötig	Ja	→ Offen	Ja	→ Offen
AbLaV-Umlage	Nein	→ Nicht nötig	Ja	→ Offen	Ja	→ Offen
StromNEV-Umlage	Nein	→ Nicht nötig	Ja	→ Offen	Ja	→ Offen

Der VDI fasst die derzeitigen wirtschaftlichen Aspekte der Stromspeicher exemplarisch zusammen:

„Die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind bisher lediglich für Stromspeicher und Gasspeicher geregelt. Die Analyse im Statusreport zeigt, dass es bereits Möglichkeiten zur Befreiung von Steuern und Abgaben für Stromspeicher gibt. Diese Möglichkeiten beschränken sich nach derzeitiger Rechtslage noch auf bestimmte Speichertechnologien oder bestimmte Speicherzwecke. Entscheidend für die zukünftige Ausgestaltung des rechtlichen Rahmens wird die gesetzliche Definition des Begriffs „Letztverbraucher“ sein. Erfolgt eine Änderung der bisherigen Definition, wie es im Moment von einer Vielzahl potenzieller Speicherbetreiber gefordert wird, kann dies zur Befreiung von Speichieranlagen von Steuern

24 Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2017). VDI-Statusreport „Energiespeicher“, Seite 4f

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) VDI-Statusreport „Energiespeicher – Zusammenfassung und Ausblick“, https://m.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/geu_dateien/FB3/Energiespeicher_Zusammenfassung.pdf, Seite 2

25 Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2017). VDI-Statusreport „Energiespeicher“, Seite 20

Den rechtlichen Rahmen erfolgt auf der Grundlage des EnWG und der darauf aufbauenden Verordnungen wie Verordnung für die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzentgeltverordnung, StromNEV), Verordnung für die Entgelte für den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (Gasnetzentgeltverordnung GasNEV), Verordnung über die Anreizregulierung der Energieversorgungsnetze (Anreizregulierungsverordnung, ARegV), Verordnung über Konzessionsabgaben für Strom und Gas, (Konzessionsabgabenverordnung, KAV), Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten (AbLaV) und dem Stromsteuergesetz (StromStG) und dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG).

und Abgaben führen. Im Strommarktgesetz 2.0 wurde dieser Forderung erneut nicht nachgekommen. Die lange kritisierten Benachteiligungen von Stromspeichern durch Doppelbelastungen (vor allem bei der EEG-Umlage) sind hingegen behoben worden. [...] Bei der Wirtschaftlichkeit von Energiespeichern muss weiterhin zwischen System- (eher volkswirtschaftlicher Ansatz) und Akteursicht (eher betriebswirtschaftlicher Ansatz) unterschieden werden, da sich in der Regel aus beiden Blickwinkeln unterschiedliche Zielgrößen und Wirtschaftlichkeitsbereiche ergeben. Hier ist darauf zu achten, dass Marktregularien so gestaltet werden, dass den Akteuren wirtschaftliches Handeln in der Zielrichtung möglich ist, damit volkswirtschaftlich optimale Energiesysteme aufgebaut werden.“²⁶

In einer Studie zur Innovation von verschiedenen Energiespeichersystemen befassen sich die Autoren mit der Frage, welche Effekte verschiedene Speicherstrategien in der deutschen Industrie auslösen könnten. Hierfür haben die Autoren anhand von Zukunftsszenarien die Bandbreite der Investitions- und Beschäftigungseffekte verschiedener Optionen Batteriespeicher und Wasserstofftechnologie eingeschätzt. Beispielsweise wird der Frage nachgegangen: „Welche Investitions- und Beschäftigungseffekte entstehen, wenn die jeweilige Technologieoption bis 2030 zu einer netzwirksamen Leistung von 10 GW_{el} ausgebaut wird?“ Dabei wird zum Beispiel für stationäre Batterien angenommen, dass ein Umfang von 10 GW mit einer Speicherkapazität von 12,5 GWh installiert wird.²⁷

Darüber hinaus haben die Autoren weitere Annahmen getroffen: Stationäre Batterien seien wartungsfrei, der Betrieb größerer Speicher in der Industrie oder bei Energieversorgern durch bestehende Leitzentralen überwacht und es entstünde kein zusätzlicher Personalbedarf für den Betrieb, die Nutzungsdauer stationärer Batterien würde 20 Jahren betragen.²⁸

Für stationäre Batterien lägen die Industrieinvestitionen damit je jährliche Produktionskapazität bei 125 Mio. €/GWh. „Allerdings wird davon ausgegangen, dass durch den technischen Fortschritt eine Reduktion der Investitionskosten für Produktionsanlagen von 2 % pro Jahr erreicht wird.“ Die Herstellungskosten betragen für die Jahre 2018, 2030 und 2050 jeweils 625 €/kWh, 250 €/kWh und 125 €/kWh Speicherkapazität und die Installation 20 % der Investitionskosten. Angaben zur Wartung werden für diese Technologieart leider nicht gemacht.²⁹

26 Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2017). VDI-Statusreport „Energiespeicher“, Seite 4f

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) VDI-Statusreport „Energiespeicher – Zusammenfassung und Ausblick“, https://m.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/geu_dateien/FB3/Energiespeicher_Zusammenfassung.pdf, Seite 2

27 Hans-Böckler-Stiftung (2018). Studie „Innovation Energiespeicher - Chancen der deutschen Industrie“, https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_404.pdf, Band 404, Seite 10

28 Hans-Böckler-Stiftung (2018). Studie „Innovation Energiespeicher - Chancen der deutschen Industrie“, https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_404.pdf, Band 404, Seite 77

29 Hans-Böckler-Stiftung (2018). Studie „Innovation Energiespeicher - Chancen der deutschen Industrie“, https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_404.pdf, Band 404, Seite 20

Herausforderungen für die Batterieforschung sind nach Meinung des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien „die Übertragung der bisherigen Lithium-Technologie für Handys und Laptops auf großskalige industrielle Batteriesysteme (einige 10 kWh für Batteriefahrzeuge bis einige 10 MWh für Batteriespeicherwerke). Ziel ist die Erhöhung der Energiedichte durch neue Elektrodenmaterialien. Dabei können Metall-Luft-Systeme (Zn, Li, Metall), Metall-Schwefel-Zellen oder multivalente Systeme wie Mg, Al, Zn eine Steigerung der Energiedichte um Faktor 2-5 im Vergleich zu heutigen Lithium-Ionen-Zellen ermöglichen (> 240 Wh/kg).“ Festkörper-Batterien, bei denen eine Lithium-Ionen-leitende Keramik den flüssigen, organischen Elektrolyten ersetzt, sollen die derzeit in den Batterien enthaltenen brennbaren organischen Stoffe ablösen. Damit besitzen die Batterien eine höhere chemische Stabilität. Bei geeignetem Design erwartet man auch höhere Energiedichten als bei heutigen Lithium-Ionen-Batterien.

Bis 2020 sollten Systemkosten für die Serienproduktion von weniger als 150 €/kWh auf Batteriepackebene realistisch sein. Der Batteriemarkt wächst derzeit um ca. 8 % pro Jahr und soll im Jahr 2019 einen Wert von 120 Mrd. Euro erreicht haben.³⁰

7. Quellenverzeichnis

50komma2 (2018). „Europas größte Batterie in Betrieb“, <http://50komma2.de/ww/2018/07/02/europas-groesste-batterie-in-betrieb/>

Bundesverband Energiespeicher (BVES) (2016). „Leitfaden für Großspeicher“, https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/03/20170224_Leitfaden-f%C3%BCr-Gro%C3%9Fspeicher.pdf

Bundesverband Energiespeicher (BVES) (2016). „Speichertechnologien Steckbrief-Li-Ionen Stromspeicher“, https://www.bves.de/wp-content/uploads/2016/03/FactSheet_chemisch_Li_Ionen.pdf

Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) (2015). Kurzstudie „Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung“, https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/BEE_HM_FENES_Kurzstudie_final.pdf

Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.) „Marktübersicht Batteriespeicher“, https://www.carmen-ev.de/files/Sonne_Wind_und_Co/Speicher/Markt%C3%BCbersicht-Batteriespeicher_2018.pdf

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (2018). „So funktioniert die größte Batterie der Schweiz“, <https://www.ekz.ch/batterie>

Energyload (2017). „Tesla Powerpacks: der größte Batteriespeicher der Welt entsteht in Australien“, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparcs/tesla-powerpack-batteriespeicher-australien/>, 18.7.2017

30 Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) (2018). „Systemkomponenten: Energiespeicher“, http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Programmbroschuere/fz2019/fz2019_03_02.pdf, Seite 26

Energyload (2018). „Großspeicher in der Lausitz von LEAG“, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparcs/grossspeicher-lausitz-leag/>

Energyload (2018). „Vattenfall nimmt bisher größten Batteriespeicher in Betrieb“, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparcs/vattenfall-batteriespeicher/>, 3.6.2018

Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) (2018). „Systemkomponenten: Energiespeicher“, http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Programmbroschuere/fz2019/fz2019_03_02.pdf

Frick, Frank, (2016). „Boom für Batterieparcs“, Bild der Wissenschaft Themenheft „Die Challenge“ (2016)

G2 Energy „Project Overview“, <https://www.g2energy.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/Project-Overview-Glassenbury.pdf>

Handelsblatt (2018). „Tesla bringt ersten Großspeicher in Europa ans Netz“, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/us-elektro-pionier-tesla-bringt-ersten-grossspeicher-in-europa-ans-netz/22583232.html?ticket=ST-798084-JENbeA40xORLOEkFLddH-ap1>, 18.5.2018, 17:35 h

Hans-Böckler-Stiftung (2018). Studie „Innovation Energiespeicher - Chancen der deutschen Industrie“, https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_404.pdf, Band 404

Hoppecke (2017). „Am Netz: Innovativer HOPPECKE-Hybrid-Großspeicher erfolgreich in Betrieb genommen“, <https://www.hoppecke.com/de/news/am-netz-innovativer-hoppecke-hybrid-grossspeicher-erfolgreich-in-betrieb-genommen/m>, 29.9.2017

Hoppecke (2018). „sun - powerpack protect“, https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products/Downloads/sun_powerpack_protect_DE.pdf, 03/2018

Management-Circle (2016). „Im Fokus: Das größte Batteriespeicher-Projekt in Deutschland“, <https://www.management-circle.de/blog/im-fokus-das-groesste-batteriespeicher-projekt-in-deutschland/>, 21.7.2016

rbb (2018). „LEAG baut bis 2020 Riesen-Batteriespeicher in der Lausitz“, <https://www.rbb24.de/studiocottbus/wirtschaft/2018/12/leag-batteriespeicher-lausitz-speicher-batterie.html>

Saft Groupe SA (2013). „Intensium Max product brochure“, <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/intensium%C2%AE-max-megawatt-energy-storage-system?text=&tech=76&market=330&sort=newest&submit=Search>

Saft Groupe SA (2019). „Intensium Max, the megawatt energy storage system“, <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/intensium%C2%AE-max-megawatt-energy-storage-system>

STEAG (2019). „Flexible-Batteriespeicher für die Energiewende“, <https://www.steag.com/de/aktuelles/einblicke/flexible-batteriespeicher-fuer-die-energiewende/>

STEAG (2019). „Wichtiger Baustein für die Versorgungssicherheit“, <https://www.steag.com/de/leistungen/grossbatterien/>

STEAG „STEAG Großbatterie-Systeme für mehr Versorgungssicherheit“, <http://www.steag-gross-batterie-system.com/>

Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Tesla (2017). „Tesla Powerpack to Enable Large Scale Sustainable Energy to South Australia“, https://www.tesla.com/de_DE/blog/tesla-powerpack-enable-large-scale-sustainable-energy-south-australia, 6.7.2017

Tesla „Powerpack“, https://www.tesla.com/de_DE/tesla-powerpack?redirect=no

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2017). VDI-Statusreport „Energiespeicher“

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) VDI-Statusreport „Energiespeicher – Zusammenfassung und Ausblick“, https://m.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/geu_dateien/FB3/Energiespeicher_Zusammenfassung.pdf

Witsch, Katrin, Handelsblatt (2018). „Tesla bringt ersten Großspeicher in Europa ans Netz“, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/us-elektro-pionier-tesla-bringt-ersten-gross-speicher-in-europa-ans-netz/22583232.html?ticket=ST-798084-JENbeA40xORLOEkFLddH-ap1>, 18.05.2018, 17:35 Uhr
