



Fachbereich WD 5

Primär- und Sekundärbatterien

Primär- und Sekundärbatterien

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 076/25
Abschluss der Arbeit: 13.11.2025
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Klima

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.	Überblick und Zusammenfassung	4
1.1.	Überblick	4
1.2.	Benennung	4
1.3.	Zusammenfassung	4
2.	Aufbau einer Batterie	4
2.1.	Batteriezelle	5
2.2.	Batteriepack	6
2.3.	Eigenschaften einer Batterie	6
3.	Verwendung und Verbreitung von Primär- und Sekundärbatterien	7
3.1.	Verwendung	7
3.2.	Verbreitung	8
4.	Energiedichte	10
4.1.	Definition	10
4.2.	Energiedichten von Primärbatterien	11
4.3.	Energiedichten von Sekundärbatterien	11

1. Überblick und Zusammenfassung

1.1. Überblick

Dieser Sachstand gibt einen Überblick über grundlegende und alltägliche Aspekte von (wiederaufladbaren und nicht wiederaufladbaren) Batterien. Neben dem Aufbau typischer Batterien werden die Eigenschaften benannt, die für die Verbreitung und den Verwendungszweck der jeweiligen Batterietypen mitentscheidend sind. Die Eigenschaft Energiedichte von Batterien wird in einem eigenen Abschnitt erläutert.

1.2. Benennung

Der Verband der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI) erklärt auf seiner Homepage zur Benennung von Einwegbatterien und wiederaufladbaren Batterien:

„Primärbatterien können nur einmal entladen und danach nicht wieder aufgeladen werden. Sekundärbatterien hingegen, landläufig auch als Akkumulatoren bezeichnet, sind wieder aufladbar.“¹

Der vorliegende Sachstand folgt dieser Namenskonvention des ZVEI. Die Benennung in der zitierten Literatur weicht von dieser Konvention teilweise ab.

1.3. Zusammenfassung

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Primär- und Sekundärbatterien – von der Knopfzelle im Hörgerät bis zum Batteriespeicherkraftwerk. Je nach Bauart und Zellchemie weisen Batterien unterschiedliche Eigenschaften auf, z. B. in Bezug auf Kosten, Energiedichte und Selbstentladungsrate. Diese Eigenschaften bestimmen die Verbreitung und den Verwendungszweck einer konkreten Batterie. Im Bereich der Primärbatterien sind Alkali-Mangan-Batterien aufgrund ihres guten Preis-Leistungs-Verhältnisses am weitesten verbreitet. Im Bereich der Sekundärbatterien sind es Lithium-Ionen-Batterien, die aufgrund ihrer in der Vergangenheit stark gesunkenen Kosten, ihrer großen Energiedichte und ihrer langen Lebensdauer am häufigsten zum Einsatz kommen.

2. Aufbau einer Batterie

Der folgende Abschnitt basiert auf einem Auszug aus einer früheren Arbeit der Wissenschaftlichen Dienste:

Wissenschaftliche Dienste (2024): Batterierecycling – Technische Aspekte und Recyclingkonzepte ausgewählter Länder, WD 5 – 3000 – 078/24,
<https://www.bundestag.de/resource/blob/1014788/fb6a4f49c0ca148337fa972f3f4b634b/WD-5-078-24-pdf.pdf>.

1 Homepage des Verbands der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI): <https://www.zvei.org/themen/wo-liegt-eigentlich-der-unterschied-zwischen-einer-batterie-und-einem-akku>.

2.1. Batteriezelle

Eine Batterie besteht aus vier Hauptbestandteilen – Anode, Kathode, Separator und Elektrolyt, siehe Abbildung 1. Anode und Kathode sind in der Regel Trägerfolien (Stromableiter in Abbildung 1), die mit Materialien, zwischen denen ein Spannungspotenzial entsteht (Aktivmaterialien in Abbildung 1), beschichtet werden. Über die Stromableiter wird Energie in die Batterie ein- oder aus ihr abgeleitet. Passiert das, findet zwischen den Aktivmaterialien ein Ionenaustausch statt, der die Energie speichert bzw. freisetzt. Um einen Kurzschluss zu vermeiden, werden die Aktivmaterialien durch den Separator getrennt. Der Ionenaustausch erfolgt über den leitfähigen, meist flüssigen Elektrolyten.

Um Batteriezellen herzustellen, werden die in Abbildung 1 skizzierten Folien (Anode, Separator, Kathode) gestapelt oder aufgewickelt, mit Kontakten versehen und in entsprechende Gehäuse verpackt.² Anschließend wird das Gehäuse mit dem Elektrolyten befüllt.³ Eine ausführlichere Beschreibung des Aufbaus von Batteriezellen findet sich z. B. bei Börger und Wenzel.⁴ Manche Batteriezellen weichen von diesem Aufbau ab, z. B. Alkali-Mangan-Zellen.

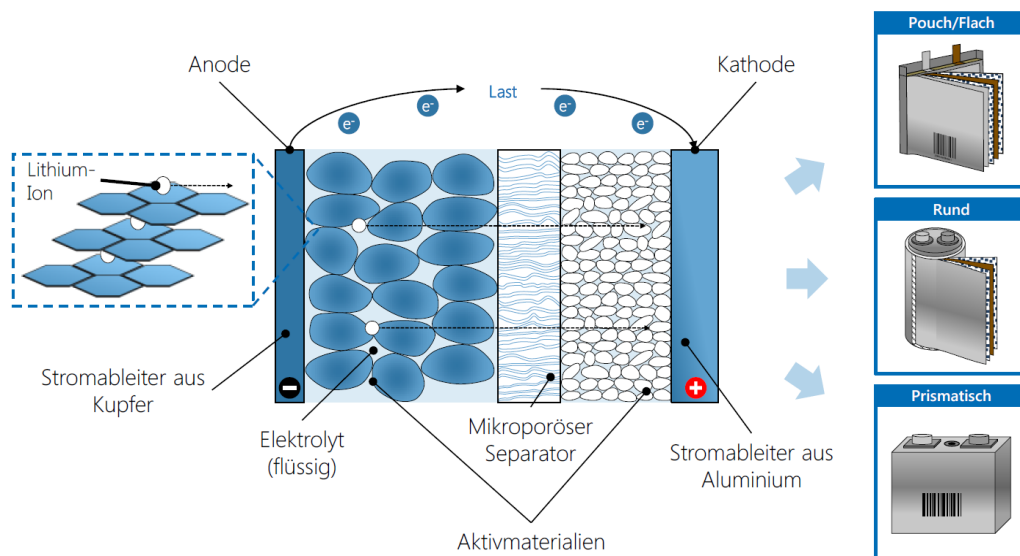


Abbildung 1: Skizze des grundlegenden Aufbaus einer Lithium-Ionen-Batterie.⁵

- 2 RWTH Aachen und Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2015): Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle, Seite 12, https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaoqixv.
- 3 Ebd., Seite 13.
- 4 Börger und Wenzl (2023): Batterien – Grundlagen, Systeme, Anwendungen, Kapitel 4, <https://www.wiley-vch.de/de/fachgebiete/ingenieurwesen/batterien-978-3-527-33883-2>.
- 5 Abbildung entnommen aus: RWTH Aachen und Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2015): Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle, Seite 3, https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaoqixv.

2.2. Batteriepack

Batteriezellen werden entweder einzeln verwendet (z. B. für kleine Geräte im Haushalt), oder zu Batteriemodulen gebündelt, siehe Abbildung 2 links. Ein Batteriemodul besteht in der Regel aus mehreren Batteriezellen und Elektronikkomponenten (Sensoren für Temperatur, Ladezustand, usw.) in einem Gehäuse.⁶ Mehrere Module werden anschließend zusammen mit einem Batteriemanagementsystem und weiteren Komponenten (z. B. Kühlsystem) zu einem Batteriepack zusammengefasst, siehe Abbildung 2, rechts. Diese Batteriepacks können dann z. B. in Elektrofahrzeuge verbaut werden.

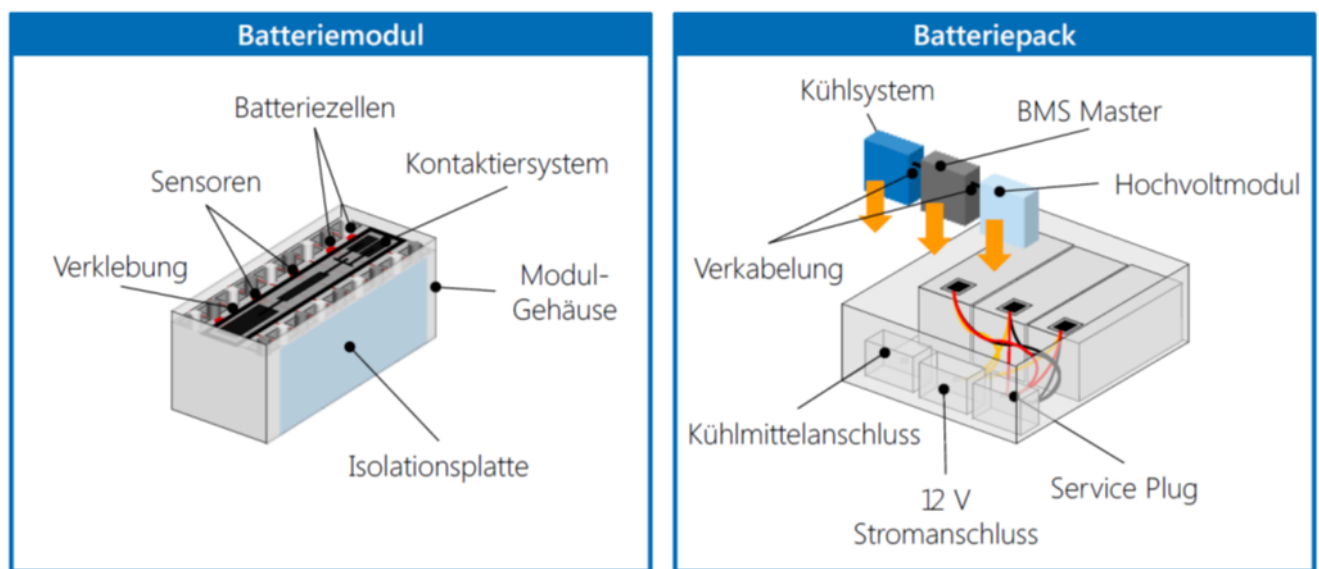


Abbildung 2: Skizze eines Batteriemoduls (links) und eines Batteriepacks (rechts).⁷

2.3. Eigenschaften einer Batterie

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Batteriearten. Sie unterscheiden sich einerseits in ihrer Zellchemie, andererseits in der Konstruktionsweise von Zelle, Modul und Pack. Im Bereich der Automobilindustrie gibt es u. a. Entwicklungen hin zu modulfreien Batterien, bei denen die Batteriepacks direkt aus Batteriezellen zusammengesetzt werden.⁸ Abhängig von Bauart und

6 RWTH Aachen und Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2015): Montageprozess eines Batteriepacks, Seite 7, https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaaoiyk.

7 Abbildung entnommen aus: RWTH Aachen und Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2015): Montageprozess eines Batteriepacks, Seite 3, https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaaoiyk.

8 Köllner (2024): Was ist die Cell-to-Pack-Technologie?, <https://www.springerprofessional.de/batterie/automobilproduktion/was-ist-die-cell-to-pack-technologie-/23684340>.

Zellchemie weisen Batterien (von der Knopfzelle im Hörgerät bis zum Batterie-Speicherkraftwerk) unterschiedliche Eigenschaften auf, u. a.:⁹

- Gravimetrische und volumetrische Energiedichte (Abschnitt 4),
- Entladeleistung unter verschiedenen Lastbedingungen,
- Temperaturempfindlichkeit,
- Selbstentladungsrate,
- Umweltverträglichkeit (also Toxizität und Möglichkeit des Recyclens),
- Kosten.

Das Science Media Center Germany¹⁰ nennt weitere Aspekte wie die Schnellladefähigkeit und die Lebensdauer (Ladezyklen) für Sekundärbatterien.¹¹ Diese Eigenschaften beeinflussen den Verwendungszweck und die Verbreitung einer konkreten Batterie (Abschnitt 3).

3. Verwendung und Verbreitung von Primär- und Sekundärbatterien

3.1. Verwendung

Primär- und Sekundärbatterien haben unterschiedliche Verwendungszwecke.¹² Primärbatterien bestehen dabei meist aus einzelnen Zellen, nicht aus Batteriemodulen und -packs. In ihrer Übersichtsarbeit zum technischen Stand von Primärbatterien schreiben Thakur et al.:¹³

[Primärbatterien] werden häufig in Geräten mit geringem Energieverbrauch verwendet, beispielsweise in Haushaltsgeräten wie Fernbedienungen, Taschenlampen und Rauchmeldern. Beispiele für Primärbatterien sind Alkali-Mangan-Batterien, Zink-Kohle-Batterien, Lithium-Primärbatterien und Silberoxidbatterien. Diese Batterien sind in der Regel kostengünstig, weit

-
- 9 Thakur et al. (2025): Non-rechargeable batteries: a review of primary battery technology and future trends, Physical Chemistry Chemical Physics, Kapitel 3, <https://doi.org/10.1039/D4CP04614E>; übersetzt durch den Verfasser dieses Sachstands mithilfe von KI; im Original mit weiteren Quellenverweisen.
- 10 Die Arbeitsweise des Science Media Centers haben die Wissenschaftlichen Dienste in einer früheren Arbeit dargestellt, vgl. Wissenschaftliche Dienste (2024): Wissenschaftskommunikation – Das Science Media Center, Aktueller Begriff Nr. 12/24, <https://www.bundestag.de/resource/blob/1014074/d3730ff463c5524ecc7f43f0b2461722/Wissenschaftskommunikation-Das-Science-Media-Center.pdf>.
- 11 Science Media Center Germany (2025): Batterien: Kriterien, um Forschungsmeldungen einzuordnen, <https://www.sciencemediacenter.de/angebote/24052>.
- 12 Ebd.
- 13 Thakur et al. (2025): Non-rechargeable batteries: a review of primary battery technology and future trends, Physical Chemistry Chemical Physics, <https://doi.org/10.1039/D4CP04614E>; übersetzt durch den Verfasser dieses Sachstands mithilfe von KI; im Original mit weiteren Quellenverweisen.

verbreitet und bieten eine lange Haltbarkeit, wodurch sie sich ideal für Anwendungen mit geringem Energieverbrauch eignen, bei denen eine seltene Verwendung oder eine langfristige Lagerung erforderlich ist.

[Sekundärbatterien] eignen sich ideal für Anwendungen mit hohem Energieverbrauch, bei denen eine langfristige Nutzung erforderlich ist, wie beispielsweise in Elektrofahrzeugen, Smartphones und Laptops. Zu den wiederaufladbaren Batterietypen gehören Nickel-Metallhydrid-Batterien, Lithium-Ionen-Batterien und Blei-Säure-Batterien. Sekundärbatterien sind in der Anschaffung oft teurer, bieten aber aufgrund ihrer Wiederverwendbarkeit im Laufe der Zeit erhebliche Kosteneinsparungen. Sie spielen auch eine entscheidende Rolle in Speichersystemen für erneuerbare Energien und ermöglichen die Integration von Solar- und Windenergie in die Stromnetze.

3.2. Verbreitung

Laut Internationaler Energieagentur (IEA) dominieren derzeit Lithium-Ionen-(Sekundär)-Batterien den Markt aufgrund der gefallen Kosten und der gestiegenen Leistungsfähigkeit:¹⁴

Lithium-Ionen-Batterien haben sich in den letzten zehn Jahren dank einer Kostensenkung um 90 % seit 2010, höherer Energiedichten und längerer Lebensdauer gegenüber Alternativen durchgesetzt. Die Preise für Lithium-Ionen-Batterien sind von 1.400 USD pro Kilowattstunde im Jahr 2010 auf weniger als 140 USD pro Kilowattstunde im Jahr 2023 gesunken. Dies ist einer der schnellsten Kostenrückgänge, die jemals bei einer Energietechnologie zu verzeichnen waren, und ist auf Fortschritte in Forschung und Entwicklung sowie Skaleneffekte in der Fertigung zurückzuführen. Außerdem haben sie eine viel höhere Energiedichte als Blei-Säure-Batterien, sodass sie in viel leichteren und kompakteren Batteriepacks gestapelt werden können.

Lithium-Ionen-Batterien dominieren sowohl Elektrofahrzeug- als auch Speicheranwendungen [...]. Dies zeigt sich daran, dass der Marktanteil von Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) bis 2023 auf 40 % der Elektrofahrzeugverkäufe und 80 % der neuen Batteriespeicher gestiegen ist. Lithium-Ionen-Batterien machen heute fast alle Batterien in Elektrofahrzeugen und neuen Speicheranwendungen aus.

„Lithium-Ionen-Batterie“ ist dabei ein Sammelbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Batterien, bei denen der Ionenaustausch zwischen den Aktivmaterialien (siehe Abschnitt 2.1) durch

14 Internationaler Energieagentur (IEA) (2024): Batteries and Secure Energy Transitions, Seite 11, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cb39c1bf-d2b3-446d-8c35-aae6b1f3a4a0/BatteriesandSecureEnergyTransitions.pdf>; übersetzt durch den Verfasser dieses Sachstands mithilfe von KI.

Lithium-Ionen geschieht.¹⁵ Einen Überblick über gängige zukunftssträchtige Materialien für Lithium-Ionen-Batterien geben z. B. Lin et al.¹⁶ oder Borah et al.¹⁷

Das Umweltbundesamt (UBA) hat für die Jahre 2015 bis 2023 Zahlen zu den in den Verkehr gebrachten Gerätebatterien veröffentlicht. Eine Gerätebatterie ist eine (Primär- oder Sekundär-) Batterie, „die gekapselt ist, 5 kg oder weniger wiegt, nicht speziell für die industrielle Verwendung ausgelegt ist und bei der es sich nicht um eine Elektrofahrzeugbatterie, eine LV-Batterie¹⁸ oder eine Starterbatterie¹⁹ handelt.“²⁰ Eine Allzweck-Gerätebatterie ist eine Batterie, „die speziell auf Interoperabilität ausgelegt ist, mit den folgenden gängigen Formaten: 4,5 Volt (3R12), Knopfzelle, D, C, AA, AAA, AAAA, A23, 9 Volt (PP3).“²¹ Gerätebatterien sind also die Batterien, die breite Verwendung im Alltag finden, sei es im Handy, in der Armbanduhr oder in der Fernbedienung.

Im Jahr 2023 wurden laut UBA 19.801 Tonnen Sekundär-Gerätebatterien in den Verkehr gebracht, wovon Lithium-Ionen-Batterien mit 15.623 Tonnen den Hauptteil ausmachten.²²

Im Jahr 2023 wurden außerdem 35.396 Tonnen Primär-Gerätebatterien in den Verkehr gebracht, wovon Alkali-Mangan-Batterien (auch Alkaline-Batterien) mit 29.240 Tonnen den Hauptteil ausmachten.²³ Diese Batterien lösten aufgrund ihrer höheren Energiedichte (Abschnitt 4.2) Zink-Kohle-Batterien in den 1960er-Jahren ab.²⁴ Sie sind robust, haben eine geringe Selbstentladung

-
- 15 VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (2021): Kompendium: Li-Ionen-Batterien - Grundlagen, Merkmale, Gesetze und Normen, Seite 3, <https://www.dke.de/resource/blob/933404/3d80f2d93602ef58c6e28ade9be093cf/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf>.
 - 16 Lin et al (2022): Recycling of Power Lithium-Ion Batteries – Technology, Equipment, and Policies, Kapitel 1.2, <https://www.wiley-vch.de/de/fachgebiete/naturwissenschaften/recycling-of-power-lithium-ion-batteries-978-3-527-35108-4>.
 - 17 Borah et al. (2020): On battery materials and methods, Materials Today Advances 6, <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2019.100046>.
 - 18 Batterien für leichte Verkehrsmittel, siehe Art. 3 Abs. 1 Nr. 11 der Verordnung 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG, <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>.
 - 19 Umgangssprachlich „Autobatterie“, vgl. ebd., Art. 3 Abs. 1 Nr. 12.
 - 20 Ebd., Art. 3 Abs. 1 Nr. 9.
 - 21 Ebd., Art. 3 Abs. 1 Nr. 10.
 - 22 Umweltbundesamt (2024): Altbatterien, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/altbatterien#geratebatteriemarkt-menge-der-in-verkehr-gebrachten-nicht-wiederaufladbaren-batterien-und-akkus-sinkt-im-jahr-2023-deutlich>.
 - 23 Umweltbundesamt (2024): Altbatterien, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/altbatterien#geratebatteriemarkt-menge-der-in-verkehr-gebrachten-nicht-wiederaufladbaren-batterien-und-akkus-sinkt-im-jahr-2023-deutlich>.
 - 24 Stiftung Warentest (2024): Batterien im Test – Was Sie über Batterien wissen sollten, <https://www.test.de/Batterien-im-Test-5592001-5843209/>.

und einen einfacheren Aufbau als Lithium-Primärbatterien.²⁵ Alkali-Mangan-Batterien haben zwar eine geringere Energiedichte als Lithium-Primärbatterien, allerdings ein besseres Preis-Leistungs-Verhältnis.²⁶

4. Energiedichte

4.1. Definition

Das Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V. definiert auf seiner Homepage Batterieforum-Deutschland.de die Energiedichte im Zusammenhang mit Batterien²⁷ wie folgt:

„Bei der Energiedichte unterscheidet man zwischen volumetrischer und gravimetrischer Energiedichte.

Die gravimetrische Energiedichte beschreibt, wie viel Energie pro Gewicht (Masse) der Batterie gespeichert werden kann. Sie wird in Kilowattstunden pro Kilogramm (kWh/kg) angegeben. Je höher die Energiedichte ist, desto leichter ist eine Batterie bei gleicher gespeicherter Energiemenge. Lithium-Ionen-Batterien haben im Vergleich zu Blei-Säure-Batterien etwa eine dreifach höhere gravimetrische Energiedichte. Das bedeutet, dass eine Lithium-Ionen-Batterie, welche die gleiche Energiemenge wie eine Bleisäure-Batterie speichert, nur ein Drittel von der Blei-Säure-Batterie wiegt.

Die volumetrische Energiedichte beschreibt, wie viel Energie pro Volumen aus einer Batterie entnommen werden kann. Sie wird in Kilowattstunden pro Liter (kWh/L) angegeben. Je höher die volumetrische Energiedichte, umso kleinere Maße hat eine Batterie bei gleicher gespeicherter Energiemenge.

Die Energiedichte gibt etwa Auskunft darüber, wie lange ein Elektroauto fahren kann, bevor es aufgeladen werden muss, während die Leistungsdichte dafür entscheidend ist, wie stark ein Elektroauto beschleunigen kann.“²⁸

Das Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V. weist daraufhin, dass neben der theoretische Energiedichte der Zellchemie auch die praktische umsetzbare Energiedichte einer Batterie von Bedeutung ist und erläutert das am Beispiel der Lithium-Luft-Batterie:

„Aus der Gruppe der Metall-Luft-Batterien wird besonders an der Realisierung von Lithium-Luft-Batterien intensiv geforscht. Da Lithium von allen Metallen das höchste

25 Ebd.

26 Stiftung Warentest (2024): Batterien im Test – Die besten Akkus und Einwegbatterien, <https://www.test.de/Batterien-im-Test-5592001-0/>.

27 Für eine allgemeinere Definition von Energiedichte vgl. Homepage chemie.de zur Energiedichte: <https://www.chemie.de/lexikon/Energiedichte.html>.

28 Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V.: Batterie-Lexikon zu Energiedichte, <https://www.batterieforum-deutschland.de/lexikon/energiedichte/>.

elektrochemische Potential aufweist, bieten diese Batterien von allen Metall-Luft-Systemen die mit Abstand höchste Energiedichte, die man theoretisch erreichen kann. [...]

Allerdings kann sich auch herausstellen, dass viel zusätzliche Technik und Elektronik benötigt wird (etwa zur Reinigung der Luft), sodass durch das dadurch verursachte Gewicht und der dadurch verursachte Platz die theoretische Energiedichte derart verringert, dass die Batterien kaum noch Vorteile zu weiterentwickelten Lithium-Ionen-Batterien haben. So liegt die theoretische materialseitige Energiedichte eines Lithium-Luft-Systems bei 3.450 Wh/kg, berücksichtigt man jedoch die gesamte Peripherie, reduziert sich die mögliche Energiedichte auf etwa 1.000 Wh/kg. Momentan verfügbare Primärzellen erreichen Energiedichten von rund 800 Wh/kg.²⁹

Weitere Ausführungen zu theoretisch möglichen und praktisch umsetzbaren Energiedichten finden sich in der Fachliteratur.³⁰

4.2. Energiedichten von Primärbatterien

Primärbatterien stehen derzeit deutlich weniger im wissenschaftlichen Fokus als Sekundärbatterien. Energiedichten von Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Energiedichten von typischen Primärbatterien.³¹

Zellchemie	Gravimetrische Energiedichte [Wh/kg]	Volumetrische Energiedichte [Wh/l]	Quelle
Alkali-Mangan-Batterie	150-200		Thakur et al.
		350	chemie.de, Mignon-Baugröße (AA)
Zink-Kohle-Batterie	50-70		Thakur et al.
		150	chemie.de, Mignon-Baugröße (AA)

4.3. Energiedichten von Sekundärbatterien

Das Science Media Center Germany stellt auf seiner Homepage Informationen zur Bewertung von Batterien (bzw. Meldungen zu Batterien) bereit. Unter anderem werden Orientierungswerte für

-
- 29 Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V.: Batterie-Lexikon zu Lithium-Luft-Batterien, <https://www.batterieforum-deutschland.de/lexikon/lithium-luft-batterien/>; im Original mit weiteren Quellenverweisen.
- 30 Vgl. z. B. Frith et al. (2023): A non-academic perspective on the future of lithium-based batteries, Nature Communications, Abbildung 3 und zugehöriger Text, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-35933-2>.
- 31 Daten entnommen aus: Thakur et al. (2025): Non-rechargeable batteries: a review of primary battery technology and future trends, Physical Chemistry Chemical Physics, Kapitel 3, <https://doi.org/10.1039/D4CP04614E>; chemie.de zu Alkali-Mangan-Batterien: <https://www.chemie.de/lexikon/Alkali-Mangan-Batterie.html>.

Energiedichten im Jahr 2024 genannt und dabei zwischen Zelle und vollständiger Batterie unterschieden. Diese Werte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Typische Energiedichten von Sekundärzellen und -batterien für verschiedene Zusammensetzungen der Zellchemie im Jahr 2024.³²

Zellchemie	Volumetrische Energiedichte		Gravimetrische Energiedichte	
	Zelle	Batterie	Zelle	Batterie
Nickel-Mangan-Cobalt	700 Wh/l	450 Wh/l	200 bis >300 Wh/kg	170 Wh/kg
Lithium-Eisen-phosphat	378 Wh/l	290 Wh/l	bis 200 Wh/kg	150 Wh/kg
Natrium-Ionen	262 Wh/l	200 Wh/l	bis 160 Wh/kg	130 Wh/kg
Festkörper-Batterie	>800 Wh/l	>700 Wh/l	>359 Wh/kg	>280 Wh/kg

Ausführlichere Analysen von Energiedichten finden sich in der Fachliteratur.³³

-
- 32 Daten entnommen aus: Science Media Center Germany (2025): Batterien: Kriterien, um Forschungsmeldungen einzuordnen, <https://www.sciencemediacenter.de/angebote/24052>; im Original mit weiteren Quellenverweisen und Hinweisen.
- 33 Vgl. z. B. Frith et al. (2023): A non-academic perspective on the future of lithium-based batteries, Nature Communications, Abbildung 3 und zugehöriger Text, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-35933-2>; Vekić (2020), Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität: Status, Zukunftsperspektiven, Recycling, Tabelle 1, <https://sgt.agw.kit.edu/downloads/Publikationen/Think%20Tank/Lithium-Ionen-Batterien%20f%C3%BCr%20die%20Elektrom.pdf>; Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (2021): Kompendium – Li-Ionen-Batterien Grundlagen, Merkmale, Gesetze und Normen, Kapitel 3.1.1, <https://www.dke.de/resource/blob/933404/fa7a24099c84ef613d8e7afd2c860a39/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf>.