

2 Rahmenbedingungen und Strategien für die Fertigung von Traktionsbatterien

In diesem Kapitel wird die Basis für ein problemspezifisches Verständnis der vorliegenden Entscheidungssituation gelegt. Die Ausführungen beziehen sich dabei, sofern nicht anders angegeben, auf Lithium-Ionen-Batterien, welche die derzeit dominante Batterietechnologie für Elektrofahrzeuge darstellen. Es werden zunächst die Eigenschaften von Traktionsbatterien als Komponente in Fahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang aufgezeigt. Anschließend wird die Fertigungskette von Traktionsbatterien detailliert und es werden die mit der Fertigung verbundenen Kosten und Investitionen analysiert. Danach werden die Umfeldfaktoren, welche die Entscheidung über die Fertigungstiefe von Traktionsbatterien beeinflussen, beschrieben. Zum Abschluss werden auf Basis einer empirischen Untersuchung die bisherigen Strategien der Automobilhersteller für die Fertigung von Traktionsbatterien vorgestellt.

2.1 Eigenschaften von Traktionsbatterien

Die Traktionsbatterie ist der Speicher für die zum Antrieb eines elektrifizierten Fahrzeugs benötigte Energie. Anders als die in konventionellen Fahrzeugen benötigte Starterbatterie wird die Traktionsbatterie während der gesamten Betriebszeit eines Fahrzeugs genutzt. Zur Speicherung der elektrischen Energie können auch Kondensatoren und Schwungräder verwendet werden. Gegenüber diesen Technologien haben Batterien wesentliche Vorteile, wie eine höhere Energiedichte, und werden deshalb in Fahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang eingesetzt. Bei Traktionsbatterien handelt es sich um Sekundärbatterien, welche im Gegensatz zu Primärbatterien nach dem Entladevorgang wieder aufgeladen werden können. Beim Entladen wird dabei chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt, welche dann durch den Elektromotor in die kinetische Energie des Fahrzeugs umgesetzt wird.¹⁸ In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge spezifiziert. Darüber hinaus werden die aktuellen Batterietechnologien vorgestellt und der prinzipielle Aufbau einer Traktionsbatterie erläutert.

¹⁸ Vgl. hierzu insgesamt Winter/Brodd (2004), S. 4247–4248; Aifantis et al. (2010), S. 17; Wallentowitz et al. (2010), S. 84 sowie S. 125; DLR (2011), S. 55; Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (2011), S. 11–12.

2.1.1 Anforderungen an Traktionsbatterien

An Batterien, welche in Fahrzeugen eingesetzt werden, bestehen grundsätzlich andere Anforderungen als an Batterien für nicht dem Transport dienende Anwendungen, wie der Konsumelektronik. Diese Anforderungen leiten sich aus den Kundenerwartungen an elektrifizierte Fahrzeuge ab. So erwarten Kunden ein günstiges und sicheres Fahrzeug, welches auch über lange Distanzen zufriedenstellende Fahrleistungen erbringt.¹⁹ Daraus ergeben sich als wesentliche Anforderungen an Traktionsbatterien geringe Kosten und eine hohe Sicherheit sowie eine ausreichende Energie- und Leistungsdichte. Darüber hinaus bestehen weitere Anforderungen, auf welche im Folgenden allerdings nicht im Detail eingegangen wird, wie eine hohe kalendarische und zyklische Lebensdauer, ein möglichst großer Einsatzbereich (z. B. hohe Toleranz für stark schwankende Einsatztemperaturen) oder eine kurze Ladedauer.²⁰

Die hohen Kosten von Traktionsbatterien werden als wesentliche Ursache für die derzeit noch geringe Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang gesehen.²¹ Bei Kosten von ca. 700 EUR pro kWh ergeben sich Gesamtkosten von ca. 14.000 EUR für eine Traktionsbatterie, wie sie am Markt für Fahrzeuge mit einer Reichweite von 150 km²² angeboten wird.²³ Dadurch haben elektrifizierte Fahrzeuge wesentlich höhere Anschaffungskosten als ähnlich dimensionierte konventionelle Fahrzeuge. Diese höheren Anschaffungskosten können auch unter der Annahme geringerer Betriebskosten über den Lebenszyklus eines Fahrzeugs nicht kompensiert werden. Langfristig werden die Kosten für Traktionsbatterien sinken und sich damit die Anschaffungskosten von elektrifizierten Fahrzeugen denen konventioneller Fahrzeuge annähern (Abbildung 2-1).²⁴ Zu erreichen ist diese Kostenreduktion insbesondere durch den Einsatz günstigerer Materialien und durch Skaleneffekte in der Fertigung, welche in Abschnitt 2.2.2 detailliert werden.

¹⁹ Vgl. Krebs (2010), S. 78; Wallentowitz et al. (2010), S. 22

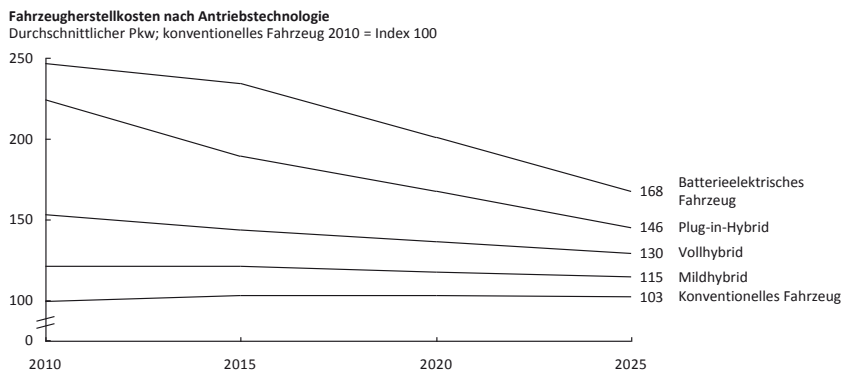
²⁰ Vgl. Anforderungen Anderman et al. (2000), S. 8–15; Winter/Brodd (2004), S. 4258–4259; Fraunhofer ISI (2010), S. 16; Mock (2010), S. 54–57; Nationale Plattform Elektromobilität (2010a), S. 8; Wallentowitz et al. (2010), S. 85–86; Fraunhofer ISI (2013), S. 36–42.

²¹ Vgl. Anderman et al. (2000), S. 19; Kalhammer et al. (2007), S. 24 sowie S. 44; Ramsey (2010); Carr (2011), S. 29; Deloitte (2011), S. 12; Boston Consulting Group (2011), S. 14; Indiana University (2011), S. 29

²² Dies entspricht einer Traktionsbatterie, die ca. 20 kWh Energie speichern kann.

²³ Vgl. Kosten Roland Berger (2009), S. 52 sowie S. 64; Fraunhofer IAO (2010), S. 43; Kampker/Swist (2010), S. 26; National Research Council (2010), S. 4; Ramsey (2010); Wallentowitz et al. (2010), S. 130; Deloitte (2011), S. 10; DLR (2011), S. 67.

²⁴ Vgl. Lebenszykluskosten und Kostenentwicklung EPRI (2004); Hensley et al. (2009), S. 90; A.T. Kearney (2009), S. 2; McKinsey (2009), S. 16; Fraunhofer IAO (2010), S. 27; Kleinhans (2010), S. 10; Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S. 26.

Abbildung 2-1: Entwicklung der Fahrzeugherstellkosten nach Antriebstechnologie²⁵

Aufgrund verschiedener Vorfälle mit sich entzündenden Traktionsbatterien und den damit verbundenen Bedenken der Öffentlichkeit spielt der Sicherheitsaspekt eine bedeutende Rolle. Im Vergleich zu Batterien in Konsumelektronikprodukten enthalten Traktionsbatterien wesentlich höhere Energiemengen, weshalb sie zu kritischen Situationen führen können. Darüber hinaus sind Traktionsbatterien Hochvoltbatterien, so dass Vorkehrungen zur Vermeidung einer unbeabsichtigten Berührung getroffen werden müssen. Um die Sicherheit der Nutzung von Traktionsbatterien und des Umgangs mit ihnen zu gewährleisten, werden bestimmte Anforderungen an die Batterien gestellt.²⁶ Der Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik unterscheidet dabei sechs verschiedene Sicherheitsebenen (Abbildung 2-2). Daraus ist ersichtlich, dass Traktionsbatterien nicht nur beim normalen Fahrbetrieb sicher sein müssen, sondern ihre Sicherheit auch bei Wartung und Reparatur, Entsorgung oder Rettungseinsätzen gewährleistet sein muss. Um die rechtliche Grundlage für umfassende Sicherheitsvorkehrungen zu schaffen, wurden verschiedene Normen und Verordnungen erlassen.²⁷

²⁵ Abbildung nach Kleinhans (2010), S. 10.

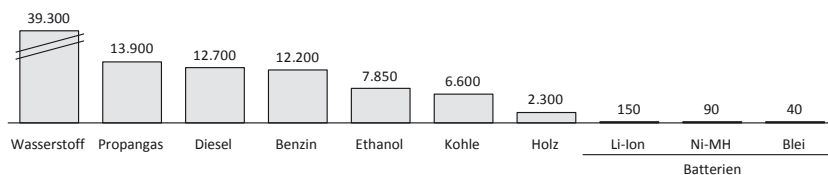
²⁶ Vgl. hierzu insgesamt Voelcker (2007), S. 28; DLR (2011), S. 67–68; Indiana University (2011), S. 35.

²⁷ Vgl. Sicherheitsebenen, Einsatzszenarien sowie Normen und Verordnungen VDE (2010), S. 153–154.

Abbildung 2-2: Sicherheitsebenen für Batterien²⁸

Hochvoltsicherheit	Schutz vor direktem oder indirektem Berühren gefährlicher Spannungen
Funktionale Sicherheit	Die von der Funktion einer Komponente abhängenden Risiken
Brandschutz	Maßnahmen zur Verhinderung der Entstehung eines Brandes
Crashsicherheit	Verhalten in einer Crashesituation
Chemische Sicherheit	Gefahr durch Kontakt mit aggressiven chemischen Substanzen
Verkehrssicherheit	Gefahr durch Wechselwirkung mit Verkehrsgeschehen

Die Energie- und Leistungsdichte einer Batterie bestimmt die Eigenschaften eines elektrifizierten Fahrzeugs maßgeblich. Die Energiedichte gibt an, wie viel Energie eine Masse- bzw. Volumeneinheit der Batterie speichern kann (gravimetrische bzw. volumetrische Energiedichte). Sie bestimmt die in einer Batterie gespeicherte Energie und damit die Reichweite von Elektrofahrzeugen.²⁹ Die Reichweite kann zwar durch eine größere Batterie erhöht werden, jedoch nehmen dadurch Gewicht und Volumen der Batterie zu, was wiederum negativ auf die Reichweite wirkt. Das Ziel ist es, möglichst viel Energie bei möglichst geringem Gewicht³⁰ zu speichern.³¹ Bisher haben Batterien im Vergleich zu anderen Energieträgern eine sehr geringe gravimetrische Energiedichte (Abbildung 2-3). Durch Verwendung neuer Materialien ist damit zu rechnen, dass die Energiedichte von Batterien in den nächsten Jahren gesteigert wird.³²

Abbildung 2-3: Gravimetrische Energiedichte verschiedener Energieträger in Wh/kg³³

Im Gegensatz zur Energiedichte beschreibt die Leistungsdichte, wie viel Leistung pro Masse- bzw. Volumeneinheit eine Batterie abgegeben kann (gravimetrische bzw. volumetrische

²⁸ Abbildung nach VDE (2010), S. 153–154.

²⁹ Vgl. Definition und Wirkung Winter/Brodd (2004), S. 4248–4259; Aifantis et al. (2010), S. 15; DCTI (2010), S. 30.

³⁰ Das Gewicht der Batterie hat einen größeren Einfluss auf die Reichweite als deren Volumen, so dass sich die meisten Analysen auf das Gewicht beziehen.

³¹ Vgl. Reichweite und Konstruktion Aifantis et al. (2010), S. 15; Wallentowitz et al. (2010), S. 125–126.

³² Vgl. Amirault et al. (2009), S. 4–5; Aifantis et al. (2010), S. 15; DCTI (2010), S. 30; Mock (2010), S. 54–57.

³³ Daten basierend auf DLR (2011), S. 56.

Leistungsdichte). Sie definiert demnach, wie viel Energie pro Zeiteinheit zum Antrieb des Fahrzeugs zur Verfügung steht. Dadurch werden die Beschleunigung und die Geschwindigkeit eines Elektrofahrzeugs bestimmt.³⁴ Anders als die Energiedichte, die primär von den Materialeigenschaften bestimmt wird, lässt sich die Leistungsdichte durch den Fertigungsprozess variieren, indem z. B. die Elektrodendicke verändert wird.³⁵

Energie- und Leistungsdichte entwickeln sich nicht proportional zueinander, sondern zeigen eine gegenläufige Entwicklung. Dadurch müssen die beiden Parameter einer Batterie auf das Anwendungsfeld angepasst werden. So benötigen Batterien für Hybridfahrzeuge eine hohe Leistungsdichte, da für Beschleunigungsvorgänge die schnelle Abgabe und Rekuperation hoher Leistungen erforderlich ist. Demgegenüber werden Batterien für Elektrofahrzeuge auf hohe Energiedichte hin ausgelegt, um größere Reichweiten zu ermöglichen.³⁶

2.1.2 Übersicht aktueller Batterietechnologien

In elektrifizierten Fahrzeugen wurden bisher verschiedene Arten von Traktionsbatterien eingesetzt. Als technologische Basis stehen Blei-Säure-Batterien, nickelbasierte Batterien (Nickel-Cadmium-, Natrium-Nickelchlorid- und Nickel-Metallhydrid-Batterien) und Lithium-Ionen-Batterien zur Verfügung. Diese Technologien unterscheiden sich in ihren Eigenschaften, z. B. ihrer Energie- und Leistungsdichte (Abbildung 2-4). Für ihren Einsatz als Traktionsbatterien ergeben sich deshalb verschiedene Vor- und Nachteile.

Blei-Säure-Batterien finden sich in fast allen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor als Starterbatterie. Sie gelten als die derzeit kostengünstigste Speichertechnologie (<100 EUR/kWh) mit hoher Zuverlässigkeit während der Nutzung. Allerdings weisen sie nur eine geringe Energiedichte auf, was zu einem hohen Gewicht der Batterie führt. Auch besitzen sie eine eingeschränkte Lebensdauer von 2 bis 5 Jahren und lassen sich aufgrund des hohen Bleianteils schlecht recyceln.³⁷ Aufgrund dieser Eigenschaften werden Blei-Säure-Batterien vor allem für industrielle Anwendungen eingesetzt, bei denen das hohe Gewicht nur eine geringe Rolle spielt (z. B. Lokomotiven) oder sogar notwendig ist (z. B. Gabelstapler).³⁸ Als Traktionsbatterie im Personenkraftverkehr wurde diese Technologie in den 1990er Jahren in Elektrofahr-

³⁴ Vgl. Definition Winter/Brodd (2004), S. 4248–4259; Aifantis et al. (2010), S. 15; DCTI (2010), S. 30.

³⁵ Vgl. Amirault et al. (2009), S. 4–5.

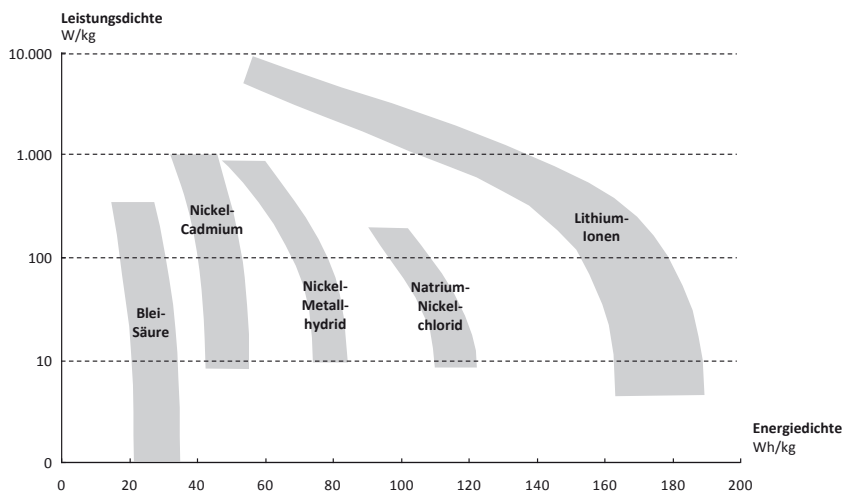
³⁶ Vgl. hierzu insgesamt Deutsche Bank (2009), S. 45; Aifantis et al. (2010), S. 16; DCTI (2010), S. 31; Mock (2010), S. 43; Nationale Plattform Elektromobilität (2010a), S. 2; VDE (2010), S. 108.

³⁷ Vgl. Eigenschaften Anderman et al. (2000), S. 109; DCTI (2010), S. 33; Fraunhofer IAO (2010), S. 10; Mock (2010), S. 44; Wallentowitz et al. (2010), S. 88; VDE (2010), S. 98–99; DLR (2011), S. 57–58; Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (2011), S. 17.

³⁸ Vgl. Anderman et al. (2000), S. 109.

zeugen verwendet (z. B. erste Versionen von GM EV 1 und Ford Ranger EV).³⁹ Aktuell werden Blei-Säure-Batterien in Mikrohybriden⁴⁰, welche nur eine geringe Speicherkapazität erfordern, und in Elektrorollern auf dem asiatischen Markt eingesetzt.⁴¹ Insgesamt handelt es sich um eine ausgereifte Technologie, welche aufgrund ihrer geringen Energiedichte allerdings nicht für eine breite Anwendung in elektrifizierten Fahrzeugen geeignet ist.⁴²

Abbildung 2-4: Energie- und Leistungsdichte verschiedener Batterietechnologien⁴³



Nickel-Cadmium-(Ni-Cd)-Batterien wurden in den 1990er Jahren von französischen Automobilherstellern genutzt und seitdem allerdings nicht weiter als Traktionsbatterien eingesetzt.⁴⁴ Als Vorteile für Nickel-Cadmium-Batterien gelten ihre lange Lebensdauer, ihre günstigen Herstellkosten sowie die guten Schnellladeeigenschaften. Jedoch besitzen sie nur eine geringe Energiedichte (ca. 50 Wh/kg) und ihr ausgeprägter Memory-Effekt⁴⁵ macht einen hohen Wartungsaufwand notwendig. Der wohl größte Nachteil ist die Verwendung des Schwerme-

³⁹ Vgl. Anderman et al. (2000), S. 109.

⁴⁰ Definition von Mikrohybriden in Abschnitt 2.3.5.

⁴¹ Vgl. DCTI (2010), S. 33; Mock (2010), S. 44; VDE (2010), S. 98–99; DLR (2011), S. 57–58; Wheels Unplugged (2012).

⁴² Vgl. Anderman et al. (2000), S. 17; DLR (2011), S. 57–58. Zu verweisen ist auf einzelne Initiativen, welche planen Blei-Säure-Batterien in größerem Umfang einzusetzen (vgl. Zoia (2012)).

⁴³ Vereinfachte Abbildung nach Kalhammer et al. (2007), S. 25 (Ragone-Diagramm).

⁴⁴ Vgl. Anderman et al. (2000), S. 114–115; Mock (2010), S. 45.

⁴⁵ Durch den Memory-Effekt verliert die Batterie schnell ihre maximale Kapazität, wenn sie nicht vollständig entladen wird.

talls Cadmium, welches als umwelt- und gesundheitsschädlich gilt.⁴⁶ Aufgrund dessen schränkte die Europäische Union den Einsatz von Nickel-Cadmium-Batterien stark ein und die Technologie verlor seitdem an Bedeutung.⁴⁷ Nickel-Cadmium-Batterien gelten als Entwicklungsschritt von Blei-Säure-Batterien hin zu ausgereifteren nickelbasierten Technologien.⁴⁸

Natrium-Nickelchlorid-Batterien, auch Zebra-Batterien⁴⁹ genannt, gehören zur Gruppe der Hochtemperaturbatterien. Erst ab einer inneren Temperatur von ca. 300 °C kann Energie entnommen werden. Dadurch ist ein Aufheizen der Batterie vor der Nutzung notwendig, wobei die Batterie anschließend durch eine thermisch isolierende Ummantelung unabhängig von der Umgebungstemperatur genutzt werden kann. Die für das Aufheizen benötigte Energie wird der Batterie entnommen, wodurch thermische Verluste bei langen Standzeiten entstehen.⁵⁰ Des Weiteren besitzen Zebra-Batterien eine geringe Leistungsdichte, weshalb sie sich für den Einsatz in Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeugen nicht eignen. Als Vorteile werden die hohe Lebensdauer, der geringe Preis (ca. 500 EUR/kWh), die hohe Energiedichte (ca. 120 Wh/kg) sowie der hohe Wirkungsgrad und die gute Recyclingfähigkeit genannt.⁵¹ Zebra-Batterien werden eingeschränkt im Personenverkehr genutzt, wobei sie bisher lediglich in Testflotten (z. B. Smart ForTwo ed) oder kleinen Stadtwagen (z. B. Think City) verwendet wurden. Während die Technologie für den Einsatz in stationären Energiespeichern gut geeignet ist, wird sie sich langfristig für Traktionsbatterien nicht durchsetzen.⁵²

Nickel-Metallhydrid-(Ni-MH-)Batterien stellen eine Weiterentwicklung von Nickel-Cadmium-Batterien dar.⁵³ Sie weisen dabei eine höhere Leistungsdichte auf und verzichten auf das schädliche Cadmium. Als Vorteile werden ihre Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer sowie ihre hohe Sicherheit genannt. Einen Nachteil bilden die im Vergleich zu Zebra-Batterien ho-

⁴⁶ Vgl. Eigenschaften Anderman et al. (2000), S. 114–115; DCTI (2010), S. 33; Mock (2010), S. 45; VDE (2010), S. 99–101; Wallentowitz et al. (2010), S. 88.

⁴⁷ Vgl. Mock (2010), S. 45.

⁴⁸ Vgl. Anderman et al. (2000), S. 17; Wallentowitz et al. (2010), S. 88; DLR (2011), S. 58; Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (2011), S. 18.

⁴⁹ Zebra = Zero Emission Battery Research Activities.

⁵⁰ Vgl. Hochtemperaturbatterie Kalhammer et al. (2007), S. 40–41; DCTI (2010), S. 34; Mock (2010), S. 45–46; VDE (2010), S. 102–104.

⁵¹ Vgl. Eigenschaften Kalhammer et al. (2007), S. 40–41; DCTI (2010), S. 34; Mock (2010), S. 45–46; VDE (2010), S. 102–104; Wallentowitz et al. (2010), S. 87; DLR (2011), S. 58.

⁵² Vgl. Einsatz DCTI (2010), S. 34; Mock (2010), S. 45–46; VDE (2010), S. 102–104; Wallentowitz et al. (2010), S. 87; DLR (2011), S. 58.

⁵³ Vgl. Anderman et al. (2000), S. 25; DCTI (2010), S. 34; DLR (2011), S. 58.

hen Kosten. Außerdem dürfen die Batterien im Betrieb nicht vollständig entladen werden.⁵⁴ Diese Eigenschaften führen dazu, dass Nickel-Metallhydrid-Batterien vor allem in Hybridfahrzeugen eingesetzt werden. Diese Fahrzeuge benötigen eine nicht ganz so hohe Energiekapazität und werden nicht vollständig entladen. Insbesondere der Einsatz im populären Toyota Prius hat Nickel-Metallhydrid-Batterien eine derzeit marktbeherrschende Stellung für Batterien in Hybridfahrzeugen verschafft.⁵⁵ Trotz ihres hohen Reifegrads wird der Einsatz von Nickel-Metallhydrid-Batterien aufgrund ihres eingeschränkten Kostensenkungs- und Entwicklungspotenzials in Zukunft jedoch auf Hybridfahrzeuge beschränkt bleiben.⁵⁶

Lithium-Ionen-(Li-Ion-)Batterien stellen die neueste Technologie bei Traktionsbatterien dar, welche in Elektrofahrzeugen Anwendung findet.⁵⁷ Die Eigenschaften der Batterien lassen sich durch verschiedene Materialkombinationen der Elektroden auf den spezifischen Einsatzzweck abstimmen.⁵⁸ Generell zeichnen sich Lithium-Ionen-Batterien durch eine hohe Energie- und Leistungsdichte sowie eine gute Lebensdauer und geringe Selbstentladung aus. Der größte Nachteil der Technologie liegt in der Verwendung sehr reaktiver Materialien, welche bei Überhitzung zu kritischen Sicherheitssituationen führen können. Der Preis der Technologie liegt am oberen Ende vergleichbarer Batterietechnologien.⁵⁹ Da es sich um eine relativ neue Technologie mit großem Entwicklungspotenzial handelt, wird an der Technologie stark geforscht. Es ist damit zu rechnen, dass in Zukunft die Eigenschaften bei gleichzeitig sinkenden Kosten verbessert werden, wodurch die Attraktivität dieser Batterietechnologie weiter steigt.⁶⁰ Lithium-Ionen-Batterien werden in fast allen aktuellen Elektrofahrzeugen (z. B. GM Volt, Nissan Leaf) sowie in einigen Hybridfahrzeugen (z. B. Mercedes S400 Hybrid) verwendet.⁶¹

⁵⁴ Vgl. Eigenschaften Kalhammer et al. (2007), S. 37–38; Axsen et al. (2008), S. 14; Deutsche Bank (2009), S. 39; DCTI (2010), S. 34; Fraunhofer IAO (2010), S. 10; VDE (2010), S. 99–101; Wallentowitz et al. (2010), S. 88–89; DLR (2011), S. 58.

⁵⁵ Vgl. Einsatz Axsen et al. (2008), S. 14; Deutsche Bank (2009), S. 39; DCTI (2010), S. 34; Lowe et al. (2010), S. 6; Nationale Plattform Elektromobilität (2010a), S. 2; VDE (2010), S. 99–101.

⁵⁶ Vgl. Taniguchi (2001), S. 117; Kromer/Heywood (2007), S. 34; VDE (2010), S. 99–101; Wallentowitz et al. (2010), S. 88–89.

⁵⁷ Vgl. DLR (2011), S. 59.

⁵⁸ Vgl. DCTI (2010), S. 34; VDE (2010), S. 104–106; DLR (2011), S. 59. Eine Spezifizierung erfolgt in Kapitel 2.1.3.

⁵⁹ Vgl. Eigenschaften Anderman et al. (2000), S. 44; Kalhammer et al. (2007), S. 27–28; Kromer/Heywood (2007), S. 34–36; Zhang (2007), S. 2; Axsen et al. (2008), S. 15–16; Babel (2009), S. 33; Deutsche Bank (2009), S. 40–41; DCTI (2010), S. 34; Fraunhofer IAO (2010), S. 10; Goldman Sachs (2010), S. 11; Lowe et al. (2010), S. 12; VDE (2010), S. 104–106; Wallentowitz et al. (2010), S. 89–93; DLR (2011), S. 59.

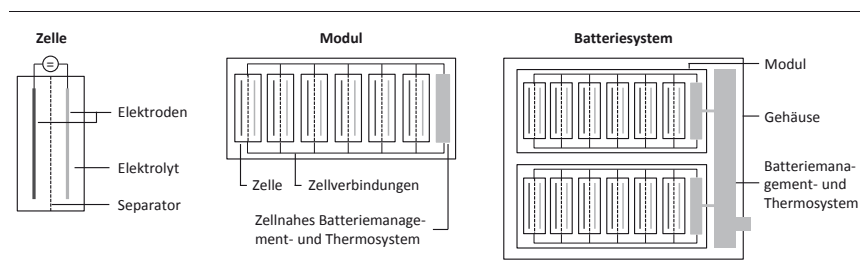
⁶⁰ Vgl. zukünftige Entwicklung Kromer/Heywood (2007), S. 34–36; DCTI (2010), S. 34; Wallentowitz et al. (2010), S. 89–93; DLR (2011), S. 59.

⁶¹ Vgl. Einsatz Anderman et al. (2000), S. 44; Kromer/Heywood (2007), S. 34–36; Voelcker (2007), S. 27; Babel (2009), S. 33; Lamm et al. (2009), S. 491–492; Roland Berger (2009), S. 43–44; Goldman Sachs (2010), S. 31; Lowe et al. (2010), S. 10; Mock (2010), S. 46–47; National Research Council (2010), S. 8; DLR (2011), S. 59; Wheels Unplugged (2012).

2.1.3 Prinzipieller Aufbau von Traktionsbatterien

Die Basis einer Traktionsbatterie bildet die Batteriezelle, welche die elektrische Energie abgibt bzw. in Form chemischer Energie speichert. Die Zelle bildet die wichtigste Komponente einer Batterie, da sie sowohl die wesentlichen Batterieeigenschaften als auch die Kosten bestimmt. Mehrere identische Zellen werden zu einem Modul zusammengeschaltet.⁶² Eine durch die gewünschte Batteriekapazität definierte Anzahl von Modulen bildet das Batteriesystem, welches auch als Batteriepaket bezeichnet wird (Abbildung 2-5). Im Batteriesystem sind neben den Modulen das Batteriemanagementsystem, welches die wesentlichen Batterieeigenschaften steuert und regelt, sowie das Thermosystem, welches für die optimale Betriebstemperatur der Batterie sorgt, enthalten.⁶³ Die Batterie ist als ein Gesamtsystem verschiedener Komponenten zu betrachten, welches verschiedenen Anforderungen, wie Modularität, Wartbarkeit und Recyclingfähigkeit, genügen muss. Da die einzelnen Komponenten eng miteinander verzahnt sind, erfordert die Optimierung der Batterieeigenschaften die gesamthafte Betrachtung aller Komponenten.⁶⁴

Abbildung 2-5: Schematischer Aufbau einer Traktionsbatterie⁶⁵



Die Zelle besteht aus zwei Elektroden (Kathode und Anode), dem dazwischenliegenden Separator sowie einem meist flüssigen oder gelartigen Elektrolyt.⁶⁶ Bei der Entladung nimmt die Kathode Elektronen über die Verbindung mit der Anode auf. Zeitgleich gibt die Anode Lithium-Ionen ab, welche durch den Elektrolyt zur Kathode wandern, um die Reaktion aus-

⁶² Meist werden sechs bis zwölf Zellen in Reihe zu einem Modul geschaltet um die Gesamtspannung zu erhöhen und anschließende werden mehrerer Module parallel geschaltet.

⁶³ Vgl. Aufbau Batteriesystem Anderman et al. (2000), S. 19; Gaines/Cuenca (2000), S. 8; Zhang (2007), S. 13–14; Lamm et al. (2009), S. 492; Fraunhofer IAO (2010), S. 14; National Research Council (2010), S. 9; VDE (2010), S. 115–116; Wallentowitz et al. (2010), S. 85 sowie S. 129; DLR (2011), S. 64; Roland Berger (2011a), S. 16; WZL (2011), S. 6.

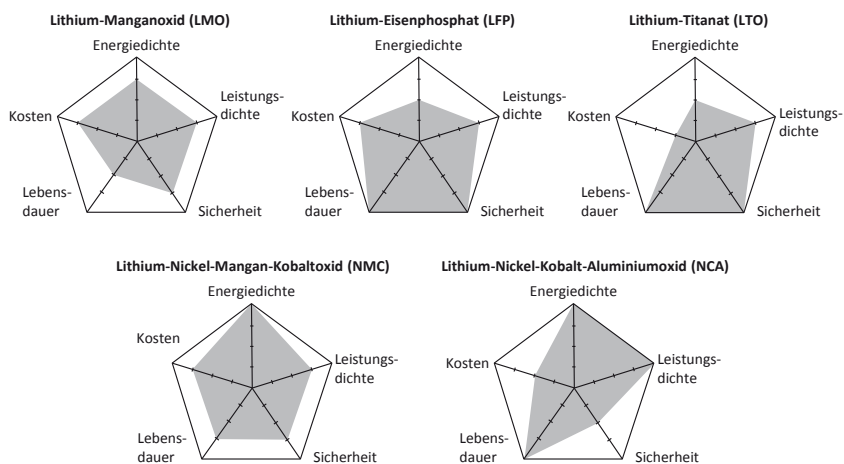
⁶⁴ Vgl. Optimierung Gesamtsystem Fraunhofer IAO (2010), S. 14; VDE (2010), S. 113–114.

⁶⁵ Vereinfachte Abbildung nach Roland Berger (2011a), S. 16.

⁶⁶ Vgl. Winter/Brodd (2004), S. 4247–4248; Zhang (2007), S. 3–4; Babiel (2009), S. 34–35; Lowe et al. (2010), S. 15; Argonne (2011), S. 4.

zugleichen. Beim Ladevorgang kehrt sich der Fluss der Elektronen und Ionen um und es wird elektrische in chemische Energie umgewandelt, welche in der Zelle gespeichert wird.⁶⁷

Abbildung 2-6: Batterieeigenschaften nach gewähltem Kathodenmaterial⁶⁸



Anmerkung: Je weiter sich die Fläche entlang einer Anforderung erstreckt, desto besser wird diese erfüllt.

Kathode und Anode bestehen aus einem Trägermaterial, welches mit dem Elektrodenmaterial beschichtet ist. Als Trägermaterial wird für die Anode meist Kupfer und für die Kathode Aluminium verwendet.⁶⁹ Während als Elektrodenmaterial für die Anode meist Graphit genutzt wird,⁷⁰ werden für die Beschichtung der Kathode einer Lithium-Ionen-Batterie unterschiedliche Materialien verwendet. Entsprechend der Materialkombination lassen sich unterschiedliche Zell- und damit auch Batterieeigenschaften realisieren (Abbildung 2-6). Die Wahl des Kathodenmaterials hängt vom Anwendungszweck ab, also beispielsweise davon, ob die Batterie in einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug eingesetzt wird.⁷¹ Die Marktteilnehmer verwenden dabei unterschiedliche Technologien.⁷² Lithium-Manganoxid (LMO) stellt eine ausgereifte Technologie dar und wird entsprechend häufig eingesetzt. Lithium-Eisenphosphat (LFP) ist eine günstige Variante, da auf teure Materialien wie Zink oder Kobalt verzichtet wird. Es besitzt eine hohe Zyklenfestigkeit und wird vor allem in Batterien für

⁶⁷ Vgl. Funktionsweise Babel (2009), S. 34–35; Argonne (2011), S. 4.

⁶⁸ Abbildung nach Boston Consulting Group (2010), S. 3.

⁶⁹ Vgl. Lowe et al. (2010), S. 29–30.

⁷⁰ Vgl. Lamm et al. (2009), S. 494; Lowe et al. (2010), S. 30; Mock (2010), S. 60–61; VDE (2010), S. 104.

⁷¹ Vgl. Kathodenmaterial Voelcker (2007), S. 29; Mock (2010), S. 58–60.

⁷² Vgl. Roland Berger (2009), S. 46; Goldman Sachs (2010), S. 70.

Strategische Planung der Fertigungstiefe bei
Unsicherheit und Dynamik
Ein simulationsbasierter Ansatz am Beispiel der
Fertigung von Traktionsbatterien
Huth, C.
2014, XXIX, 304 S. 74 Abb., Softcover
ISBN: 978-3-658-06830-1