

Hessisches Ministerium für
Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

HESSEN



Ökonomische Potenziale der Elektromobilität

Mögliche Geschäftsfelder in der Batterie-
und Zellfertigung und im Recycling.

Eine Orientierungshilfe.



Supplement zur Broschüre

Ökonomische Potenziale der Elektromobilität in der Metropolregion Rhein-Main-Neckar

Die Produktion von Batteriematerialien
als Zukunftsmotor der chemischen Industrie

Vorwort

Der Markt für Batterien vor allem für die Elektromobilität wächst in Riesenschritten. Dies birgt enormes Geschäftspotenzial für die Entwickler und Hersteller von benötigten Materialien, Maschinen, Anlagen und Prozesstechnik. Diese Potenziale bieten sich auch „Quereinsteigern“, die bisher in anderen Segmenten tätig waren, aber die erforderlichen Kernkompetenzen für die Zell- bzw. Batteriefertigung oder für das spätere Recycling mitbringen.

Die Auseinandersetzung mit dem Thema Batterieproduktion lohnt nicht nur aus betriebswirtschaftlicher, sondern auch aus volkswirtschaftlicher Perspektive: Zum einen gilt es, möglichst große Teile der Batterie-Wertschöpfungskette in Deutschland abzudecken und so die Abhängigkeit von Lieferanten aus anderen Kontinenten zu minimieren. Zum anderen trägt der Wechsel vom verbrennungsmotorischen zum elektrischen Fahrzeugantrieb entscheidend dazu bei, gefährdete Arbeitsplätze in der Metropolregion Rhein-Main-Neckar und in ganz Deutschland zu erhalten.

Diese Übersicht dient den hessischen Unternehmen der Automotive-Branche sowie zahlreichen anderen Unternehmen mit passender technologischer Expertise als Orientierungshilfe. In diesen Unternehmen vorhandene Maschinen und Verfahrenslösungen könnten auch für die Produktion von Batteriematerialien oder Batteriekomponenten eingesetzt werden, auch wenn dies bisher noch nicht erwogen wurde. Diese Ergänzung zur Broschüre *Ökonomische Potenziale der Elektromobilität in der Metropolregion Rhein-Main-Neckar. Die Produktion von Batteriematerialien als Zukunftsmotor der chemischen Industrie* beschreibt die Prozesse in der Zell- und Batterieherstellung ebenso wie die beim Recycling. Darüber hinaus gibt sie Auskunft über die zur Produktion erforderliche Technik.

Noch befindet sich der Batteriemarkt für Elektrofahrzeuge und andere Energiespeicheranwendungen erst im Entwicklungs- und Hochlaufstadium und bietet somit vielfältige Chancen für innovative Unternehmen. Vielleicht kann auch Ihr Unternehmen davon profitieren ...

Für Fragen in diesem Zusammenhang stehen wir gerne zur Verfügung.

Ihre

LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH
HA Hessen Agentur GmbH
Hessen Trade & Invest GmbH

Inhalt

Vorwort	3
Märkte und Materialien:	
Wirtschaftliche Potenziale	6
Märkte für batterieelektrische Speicher wachsen exponentiell	7
Vom Material über die Zelle zur Batterie	7
Globale Wertschöpfungskette	8
Batteriezellfertigung kommt nach Europa	9
Ausgangsmaterialien und Verfahren der Zellproduktion	12
Chancen für hessische Industriebetriebe	14
Zell- und Batteriefertigung:	
Erforderliche Kompetenzen	16
Zellproduktion	17
Batterieproduktion	20
Recycling	21
Impressum	26



Märkte und Materialien: Wirtschaftliche Potenziale



Märkte und Materialien

Märkte für batterieelektrische Speicher wachsen exponentiell

In den letzten 10 Jahren ist die Zahl der elektrisch angetriebenen Pkw von bescheidenen Anfängen zu beachtlicher Größe gewachsen. Alle deutschen Automobilhersteller führen jetzt mehrere Modelle in ihren Programmen, die entweder vollständig batterieelektrisch angetrieben werden (BEV) oder einen Hybridantrieb besitzen (PHEV). Darüber hinaus sind wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) angekündigt, die ebenfalls über mehr oder weniger große Batterien verfügen. Es wird erwartet, dass sich der Wechsel vom Verbrennungs- zum Elektromotor noch weiter beschleunigt, unter anderem angetrieben von der CO₂-Gesetzgebung und zukünftig drohenden Verboten von konventionellen Fahrzeugen in immer mehr Ländern.

Stromspeicher der Wahl ist heute und für die absehbare Zukunft die Lithium-Ionenbatterie. Sie wurde vor 30 Jahren zunächst für tragbare elektronische Geräte entwickelt, dann hochskaliert und findet heute ein weites Anwendungsfeld von BEV über Busse und Lkw bis hin zu elektrischen Fähren und großen stationären Speichern für erneuerbare Energien.

Vom Material über die Zelle zur Batterie

Die kleinste Energiespeichereinheit einer Batterie bildet die elektrochemische Zelle. Eine einzige Li-Ionenzelle reicht aus, um ein Handy zu betreiben. Für ein rein batterieelektrisch angetriebenes Fahrzeug braucht man mindestens 100 Zellen, die dann auch etwa fünfzigmal größer als die Handyzelle sind. Schlüsselmaterialien in der Zelle sind das Anodenmaterial, das Kathodenmaterial, der Separator und der Elektrolyt. Diese Materialien wurden speziell für diese Anwendung entwickelt. Sie bestimmen entscheidend die Eigenschaften der Zelle, zum Beispiel, wie viel Energie pro Gewicht beziehungsweise pro Volumen sie speichern kann. Aber auch die mechanischen Komponenten der Zelle, etwa das Gehäuse, erfüllen wichtige Aufgaben, beispielsweise Sicherheitsfunktionen.

Werden Zellen zu einer Batterie verschaltet, so muss die Batterie zusätzlich zu der elektrischen Verschaltung und der mechanischen Halterung der Zelle noch weitere Funktionen übernehmen. Dazu gehört das Wärme-management, um die Zellen sowohl vor zu hohen als auch vor zu niedrigen Temperaturen zu bewahren. Des Weiteren zählt das elektrische Management hierzu, welches fertigungsbedingte Unterschiede zwischen den Zellen ausgleicht. Darüber hinaus hat die Batterie spezielle Sicherheitsfunktionen, die das Risiko eines Batteriebrands minimieren.

Globale Wertschöpfungskette

In den letzten 30 Jahren hat sich eine globale Wertschöpfungskette für Li-Ionenbatterien entwickelt. Die geografische Verteilung der Aufgaben ist einerseits historisch bedingt – die ersten Batterien wurden 1990 von Sony in Japan gefertigt und auf den Markt gebracht – andererseits sind sie an der Größe des Markts ausgerichtet: Für die Elektromobilität ist China heute mit Abstand der größte Markt. Zellen sind in gewisser Weise standardisiert, Batterien wiederum sind sehr anwendungsbezogen, werden daher meist auf der Basis von zugekauften Zellen lokal, zum Beispiel in Deutschland, gefertigt.

Die Situation heute lässt sich wie folgt beschreiben: Materialien und andere Komponenten zur Herstellung von Zellen werden vor allem in Asien gefertigt, zum Teil von europäischen Firmen in deren Fabriken vor Ort. Zellfertigung findet fast ausschließlich in China, Korea und Japan statt. Die USA und vor allem Europa haben nur einen kleinen Anteil. Die Fertigung von Batterien für Pkw der europäischen OEMs findet in Europa statt.

Die Wertschöpfung eines vollständig batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeugs (BEV) geht zu etwa 30 Prozent auf die Batterie zurück, daran haben die Zellen den weitaus größeren Anteil. In der Zelle wiederum tragen die Materialien und die Zellkomponenten den größten Anteil zur Wertschöpfung bei. Dies bedeutet, dass sich die europäische Automobilindustrie mit der Elektrifizierung des Antriebs nach heutigem Stand in eine große Abhängigkeit begibt und ein großer Teil der Wertschöpfung in Asien erfolgt.



Die Performance eines einzig batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeugs wird zum größten Teil durch die Performance der Batterie und diese wiederum durch die Zelle bestimmt. Die Leistungssteigerung der Batterie in den letzten Jahren ist auf höher performante Materialien und optimiertes Zelledesign zurückzuführen. Die Zelle bildet also ein Differenzierungsmerkmal, was zu einer engen Zusammenarbeit von europäischen Automobilherstellern und asiatischen Zellproduzenten geführt hat.

Batteriezellfertigung kommt nach Europa

Das Wachstum der Elektromobilität bildet nicht das einzige Anwendungsgebiet für Li-Ionenbatterien. Auch stationäre Speicher für den Haushalt oder für das Stromnetz, die Schifffahrt und die Eisenbahn sind stark wachsende Märkte. Die Elektromobilität beschränkt sich nicht nur auf Pkw, sondern auch Busse und Lkw stellen Wachstumsmärkte dar. Allerdings ist das Elektroauto bereits heute der größte Markt für Batterien.

Europa ist nach China der zweitgrößte Markt für Fahrzeuge, die rein batterieelektrisch oder mit Plug-In-Hybrid angetrieben werden (BEV bzw. PHEV), gefolgt von den USA. Für das Jahr 2025 werden für Europa 3.000.000 BEV prognostiziert. Dies entspricht in etwa einer Batteriekapazität von 150 Gigawattstunden (GWh) (s. Abbildung 1). Bereits heute werden in den USA Zellen im großen Maßstab für BEV gefertigt, zum Beispiel von Panasonic für Tesla.

Dagegen gab es in Europa bis vor Kurzem nur eine Zellfertigung in kleinen Mengen für Nischenanwendungen. Koreanische Firmen wie LG Chem und Samsung haben bereits in Osteuropa investiert, jedoch liegt die vorhandene Kapazität noch unter 10 GWh pro Jahr. Die chinesische Firma CATL, einer der drei größten Zellhersteller weltweit, plant in Erfurt den Bau einer Zellfabrik. VW kooperiert mit der schwedischen Firma Northvolt, in Planung ist eine gemeinsame Zellfertigung in Niedersachsen (Abbildung 2).

Prognostizierter Anteil der Elektrofahrzeuge am europäischen Fahrzeugmarkt

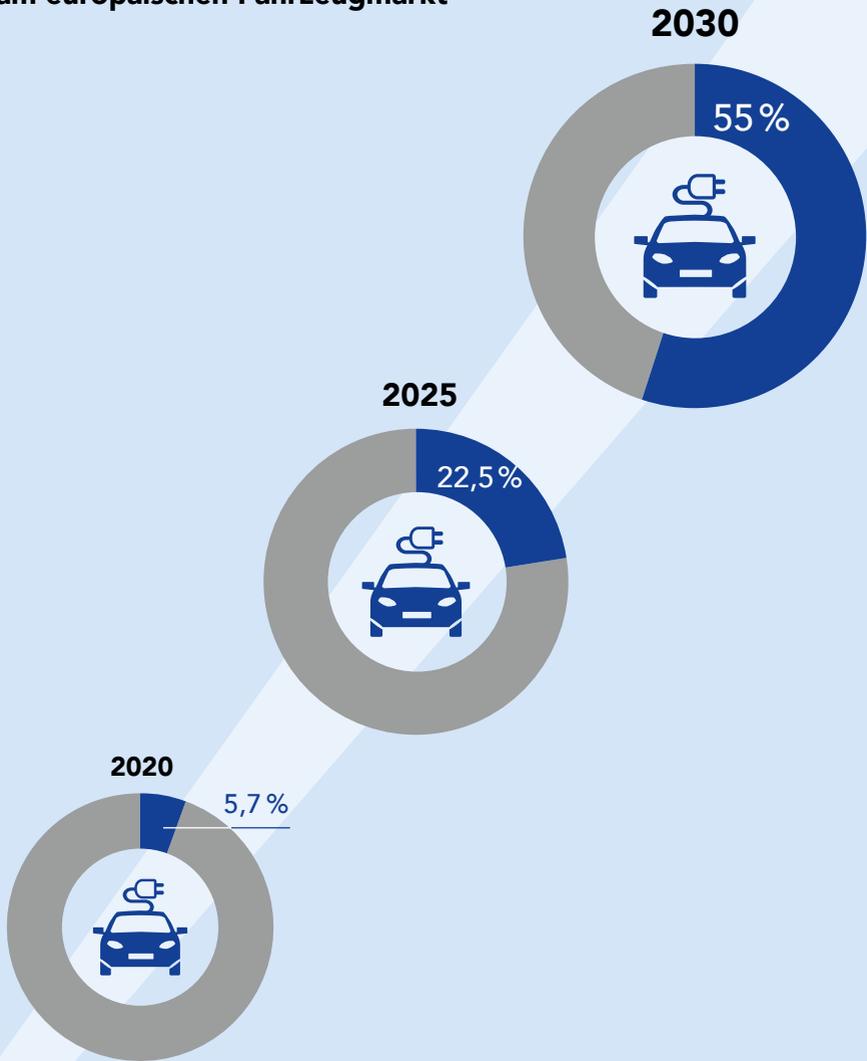


Abb. 1: Nachfrage nach Elektromobilität in Europa steigt rasant

Quelle: Viktor Irle (EV-Volumes.com), *The Big Question About BEVs vs PHEVs – What Does the Actual Trend Suggests?*, Vortragsfolien, Advanced Automotive Battery Conference Europe 2020 (AABC Europe 2020)

Vielzahl von Li-Ionen-Fabriken in Europa vorgesehen

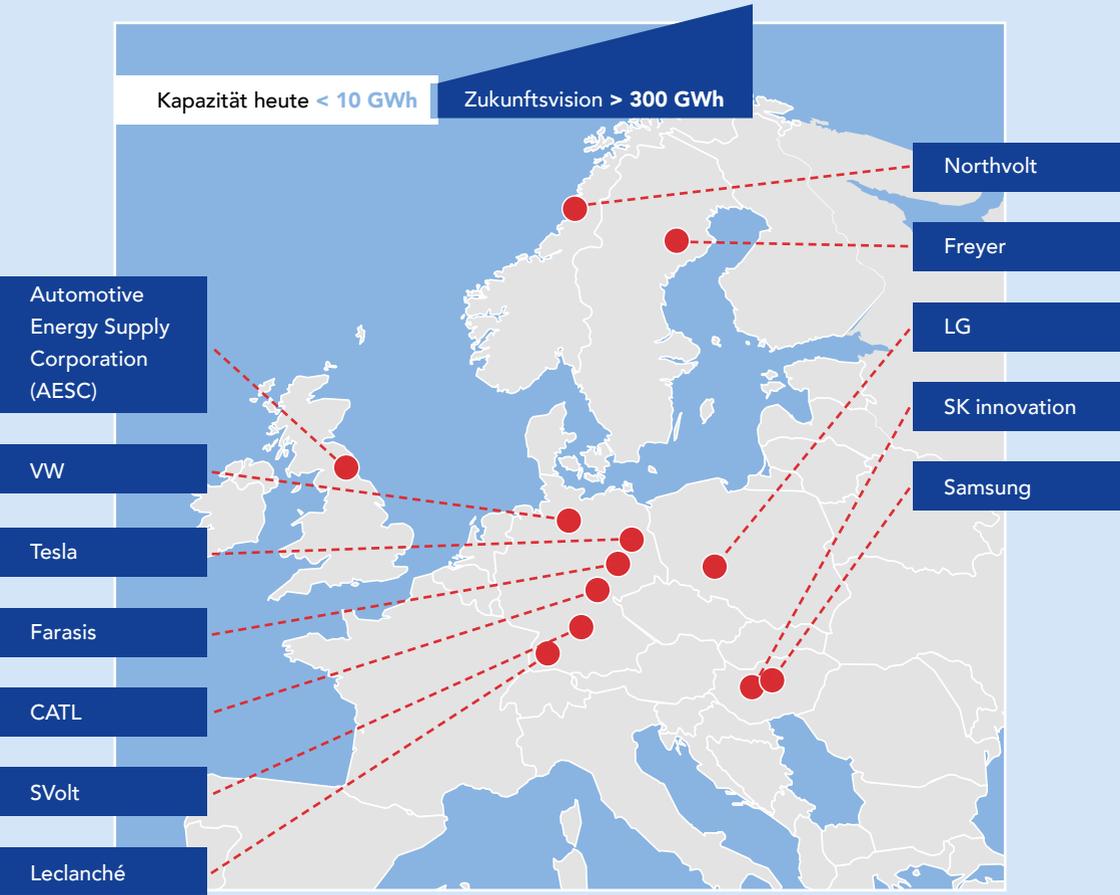


Abb. 2: Geplante Expansion der Zellfertigung in Europa

Quelle: Vincent Ledoux-Pedailles (Infinity Lithium), *How Is Europe Positioned In the Global Lithium Race?*, Vortragsfolien, Advanced Automotive Battery Conference Europe 2020 (AABC Europe 2020)



Zellfertigung an europäischen Standorten wird zunehmend attraktiv für Unternehmen.



Ausgangsmaterialien und Verfahren der Zellproduktion

Für eine Li-Ionenzelle sind spezielle Materialien mit eng spezifizierten Eigenschaften notwendig (Abbildungen 3 und 4). Die Ausgangsmaterialien wie **Lithium, Grafit, Nickel, Mangan oder Eisen** müssen aufgereinigt werden. In komplexen Prozessen werden hieraus die Aktivmaterialien gewonnen. Firmen wie BASF und Umicore sind mit diesen Materialien weltweit vertreten.

Der **Elektrolyt** besteht aus einem Lithiumsalz in einer organischen Flüssigkeit. Auch zur Elektrolyt-Fertigung verfügt die europäische und speziell auch die deutsche Chemie über das notwendige Know-how, wenn auch die Elektrolyte zurzeit vornehmlich in Asien produziert werden. Das gleiche gilt für die Separatoren, die beispielsweise aus mikroporösen Polymerfolien bestehen. Diese Materialien bilden den Ausgangspunkt für den Zellhersteller.

Die Zellherstellung beginnt mit den Elektroden, die in einem speziell entwickelten Beschichtungsverfahren aus den pulverförmigen Aktivmaterialien hergestellt werden. Diese Beschichtung erfolgt auf dünnen Aluminium- bzw. Kupferfolien. Diese dienen in der Zelle als Stromsammler (Kollektoren). Bei der gängigen Beschichtungstechnologie handelt es sich um eine Nassbeschichtung. Neue Verfahren, zum Beispiel eine Trockenbeschichtung, befinden sich in der Entwicklung, auch in deutschen Forschungsinstituten.

Lithium-Ionen-Batterie: Aufbau und Funktionsprinzip

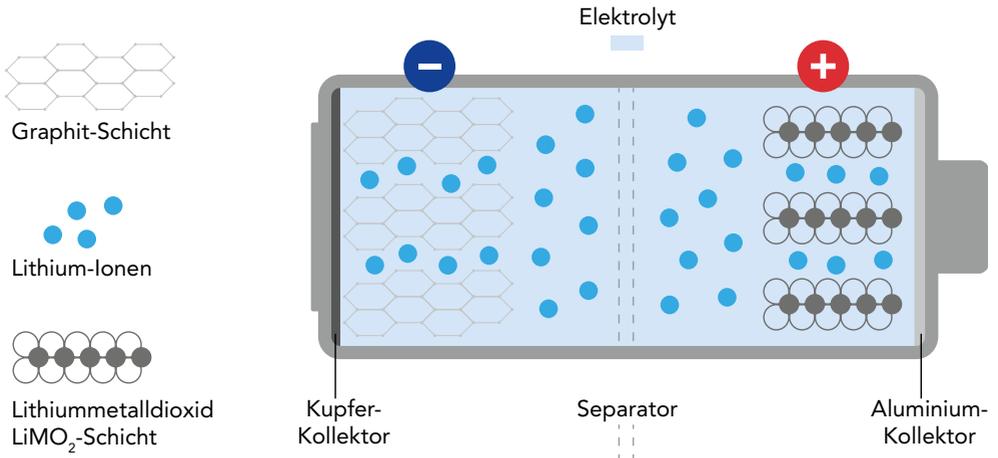


Abb. 3: Struktur einer Lithium-Ionen-Batterie

(Eigene Darstellung)

Für die Zelle gibt es unterschiedliche Formen und auch verschiedene Fertigungskonzepte. Die Rundzelle oder auch zylindrische Zelle genannt, wird gewickelt, die Flachzelle oder Pouchzelle kann in einem Stapelverfahren hergestellt werden. Hierzu müssen die Elektroden aus der kontinuierlichen Fertigung vereinzelt werden, was zum Beispiel durch Laserschneiden erfolgt. Die zylindrische Zelle wird in einen Stahl- oder Aluminiumgehäuse verbaut, die Flachzelle kann mit einer Folie eingehaust werden, der sogenannten Pouch. Nach dem Verschließen der Zelle wird diese durch eine Befüll-Öffnung mit dem Elektrolyten getränkt. Anschließend wird die Zelle formiert, d. h. geladen und wieder teilentladen.

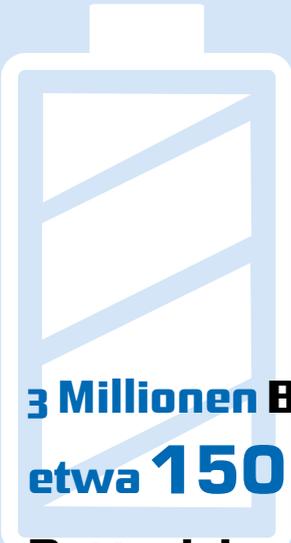
Chancen für hessische Industriebetriebe

Das wirtschaftliche Potenzial der Zellfertigung ist enorm: Der prognostizierte Bedarf von 150 GWh im Jahr 2025 entspricht in etwa 15 Milliarden Euro Umsatz pro Jahr auf Zellbasis. Der Aufbau dieser Kapazität bedeutet eine Investition von etwa 20 Milliarden Euro in die Zellfertigung und die Zulieferer. Dies ist erst der erste Schritt bei der Elektrifizierung der Mobilität und anderer Bereiche.

Bis jetzt ist keine Zellfertigung in Hessen geplant. Hessen kann jedoch auch ohne eine solche Fabrik von dieser Entwicklung profitieren. Das Land ist der Standort von Chemieunternehmen, die entweder bereits Zulieferer für die Li-Ionenzellfertigung sind wie Umicore, oder solche, die das Know-how dafür besitzen, es zu werden. Ein Beispiel hierfür bildet die Firma Merck, die in der Vergangenheit bereits Elektrolytkomponenten entwickelt hat.

Hessische Unternehmen sind auch als Zulieferer für den Aufbau der Zellfertigung interessant: Viele hessische Mittelständler verfügen über spezielles Know-how, das bei der Entwicklung und Herstellung von Teilen der Fertigungsstraßen notwendig ist. Deutsche Unternehmen wirken aufgrund ihres Könnens bereits heute an dem Bau von Fabriken in den USA und Asien mit.

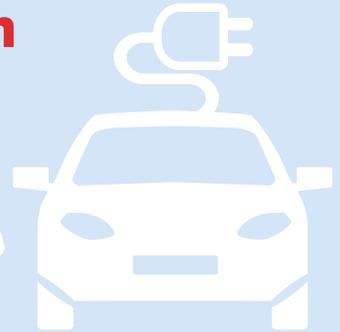
Hessen besitzt auch eine wissenschaftliche Infrastruktur, die die Fertigung und Weiterentwicklung der Technologie unterstützen kann. Die Universität Gießen zählt zum Beispiel zu den weltweit führenden Institutionen in der Entwicklung der nächsten Generation von Li-Batterien.



Für Europa
prognostizierte **BEV**
im Jahr 2025:
3 Millionen

**3 Millionen BEV benötigen
etwa 150 GWh**

Batteriekapazität



Jahreskapazität
einer voll ausgebauten
Fabrik für die
Zellfertigung:
40 GWh



Materialverbrauch der
Erzeugung von

80 Millionen Zellen

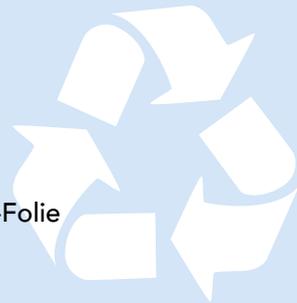
(Typische BEV-Größe)

ca. **80.000 t** Kathodenmaterial

ca. **40.000 t** Anodenmaterial

ca. **200 Millionen m²** Kupfer- und Aluminium-Folie

ca. **400 Millionen m²** Separator



Zell- und Batteriefertigung: Erforderliche Kompetenzen



Zell- und Batteriefertigung

Abbildung 4 zeigt die einzelnen Schritte der Zellfertigung. Die hessische Industrie kann auf unterschiedliche Weise zur Zellproduktion beitragen: Sie kann zum einen Zellmaterial und Komponenten sowie Maschinen und Anlagen für die Zell-, Modul- und Batteriefertigung zuliefern. Darüber hinaus kann sie Batterien an ihrem Lebensende recyceln.

Zellproduktion

Lieferung von Materialien

Bei den für die Zellfertigung benötigten Materialien handelt es sich im Wesentlichen um das positive und negative Aktivmaterial, den Separator und den Elektrolyten. Das **positive Material** ist typischerweise eine Oxidverbindung, welche die Elemente Lithium, Nickel, Mangan, Cobalt oder Eisen enthält. Die Synthese des Materials erfolgt in den meisten Fällen in einem zweistufigen Verfahren mit einem wässrigen Prozess, gefolgt von einem Ofenprozess bei 500 bis 900 °C. Das **negative Material** besteht zum großen Teil aus Graphit, entweder Naturgraphit, der aufgereinigt und mechanisch nachbehandelt wird, oder aus synthetischem Graphit, der bei Temperaturen von über 2.500 °C gewonnen wird, zum Beispiel aus Teer oder Koks. Die **Separatoren** sind mikroporöse Polymerfolien mit einer Dicke von unter 20 µm, beschichtet zumeist mit einem nanoskaligen Pulver, zum Beispiel Aluminiumoxid, in einer Dicke von etwa 2 µm. Ebenfalls kommen beschichtete dünne Vliesstoffe zum Einsatz. Der **Elektrolyt** stellt eine Lösung eines Lithiumsalzes in organischen Lösungsmitteln dar. Bei Letzteren handelt es sich zumeist um Karbonate; das Lithiumsalz ist typischerweise eine Fluorverbindung.

Andere Zellkomponenten bilden **Aluminium- und Kupferfolien** mit einer Dicke von unter 15 µm. Diese dienen sowohl als Träger für die Aktivmaterialien als auch als Stromsammelr. Das **Zellgehäuse** besteht entweder aus einem tiefgezogenen Aluminiumbecher oder einer tiefgezogenen, metallisierten Kunststoffolie.



Abb. 4:
Wertschöpfungskette
der Li-Ionenzellfertigung

Quelle: Benedikt Konersmann (P3 automotive GmbH), Large Scale Automotive Cell Manufacturing In Europe. Three Market Entry Potentials For New Players In Europe, Vortragsfolien, Kompetenzforum Lithium-Ionen-Batterien am 16. Juni 2020, (Wertschöpfung auf Basis des adressierbaren Kostenanteils (CapEx-Abschreibung, Gemeinkosten und Profit-Pool)).

Die meisten Ankündigungen einer Zellfertigung gehen für eine voll aus-gebaute Fabrik von einer Jahreskapazität von etwa 40 GWh aus. Dies entspricht etwa 80 Millionen Zellen einer typischen Größe für BEV und einer Geschwindigkeit von ungefähr drei Zellen pro Sekunde, die auf mehrere Linien verteilt ist. Eine solche Fabrik verbraucht pro Jahr etwa 80.000 t Kathodenmaterial, 40.000 t Anodenmaterial, 200 Millionen m² Kupfer- und Aluminium-Folie sowie 400 Millionen m² Separator.

Herstellung und Produktionsumgebung

Die Prozesse zur Zellfertigung lassen sich in drei Abschnitte unterteilen: Elektrodenfertigung, Zellassemblierung und Zellformierung. Viele Fertigungsschritte erfordern ein spezielles Arbeitsumfeld, zum Beispiel Räume mit extrem niedriger Luftfeuchtigkeit oder Bedingungen, die eine Kontamination mit kleinsten Partikeln aus der Luft verhindern.

Die gängige **Elektrodenfertigung** setzt sich zusammen aus einem Mischprozess der Komponenten der aktiven Masse, einer Beschichtung der Träger und einer Verdichtung der aufgetragenen Schicht. Hierbei kommen unterschiedliche Mischverfahren vom Planetenmischer bis zum Doppelschneckenextruder zum Einsatz. Am meisten wird ein Beschichtungsprozess eingesetzt, bei dem eine Paste durch eine Schlitzdüse auf die Trägerfolien aufgetragen wird und anschließend eine Trocknung erfolgt. Aber auch andere Verfahren, zum Beispiel eine Trockenbeschichtung, werden aktuell erprobt. Die Verdichtung erfolgt mit einem Kalander.

Vor der **Zellassemblierung** müssen die Zellkomponenten im Vakuum getrocknet werden. Die Assemblierung hängt stark vom Zelldesign ab. Dabei kommen Prozesse wie Schneiden der Elektroden, zum Beispiel per Laserschneiden, Wickeln, Stapeln und Schweißen zum Einsatz. Hier ist hohe mechanische Präzision und hohe Prozessgeschwindigkeit gefragt. Der Elektrolyt wird am Ende der Zellassemblierung unter Vakuum eingefüllt.

Nach dem Verschließen der Zelle wird diese unter kontrollierten Temperaturbedingungen geladen und entladen, die **Formierung**. Daran schließen sich verschiedene elektrische Prüfungen an.

Tempo und Präzision erforderlich

Alle Fertigungsschritte erfordern eine hohe Geschwindigkeit und eine große Präzision. Auch eine Online-Qualitätsüberwachung ist unabdingbar.

Li-Ionenzellen müssen wasserfrei sein. Eine Elektrodenfertigung findet daher in klimatisierten Räumen statt, die Zellassemblierung sogar in einem Trockenraum. Alle mechanischen Prozesse müssen permanent überwacht werden, zum Beispiel durch optische Verfahren. Dies gewährleistet die erforderliche hohe Reproduzierbarkeit der Zelleigenschaften und reduziert Ausschuss. Andere Eigenschaften wie die Reinheit von Ausgangsstoffen, Rheologie von Pasten, Beschichtungsqualität und das Verhalten bei der Formierung erfordern Online-Messmethoden.

Die Geschwindigkeit der Produktion bildet eine besondere Herausforderung. Um höchste Effizienz zu erreichen, müssen die Anlagen, mit denen die Arbeitsschritte erfolgen, soweit wie möglich verkettet und vollständig automatisiert sein. Da die Eingangsmaterialien der Zellfertigung etwa 60 Prozent des Wertes der Zelle ausmachen, ist sicherzustellen, dass sowohl der prozess- als auch qualitätsbedingte Ausschuss entlang der gesamten Fertigung sehr niedrig ausfällt.

Batterie-Produktion

Größere Batterien (s. Beispiel in Abbildung 5) sind oft aus Modulen aufgebaut, die dann aus einer kleineren Anzahl von Zellen bestehen. Unabhängig von der Konfiguration erfordern die Batterien neben der mechanischen Halterung der Zellen eine hochstromfähige Verkabelung sowie Messleitungen und Fühler. Das Kontaktieren der Zellen erfolgt meistens durch Laserschweißen. Batteriestrom und Einzelzellspannungen sowie Temperaturen werden elektronisch überwacht, wobei bei größeren Batterien, wie sie zum Beispiel in BEV eingesetzt werden, ein Master/Slave-Konzept Anwendung findet. Die elektrische Trennung der Batterie, zum Beispiel im Havarie-Fall, geschieht durch eine Kombination von Schützen und Sicherungen. Die meisten Batterien sind flüssiggekühlt.

Eine Batterie ist mechanisch und elektrisch ein komplexes Gebilde, das zusätzlich die Kühlung sowie viele Sicherheitsfunktionen enthält. Diese Fertigung ist ebenfalls hochautomatisiert und erfordert Online-Messmethoden zur Qualitätsüberwachung.

In den Tabellen auf der folgenden Doppelseite (Abb. 6) sind die Produkte der Zell- und Batterieproduktion, die zu ihrer Herstellung erforderlichen Prozesse und Maschinen/Equipment sowie die notwendige Produktionsinfrastruktur und -umgebung zusammengestellt.

Hochvoltbatteriesystem des e-up!

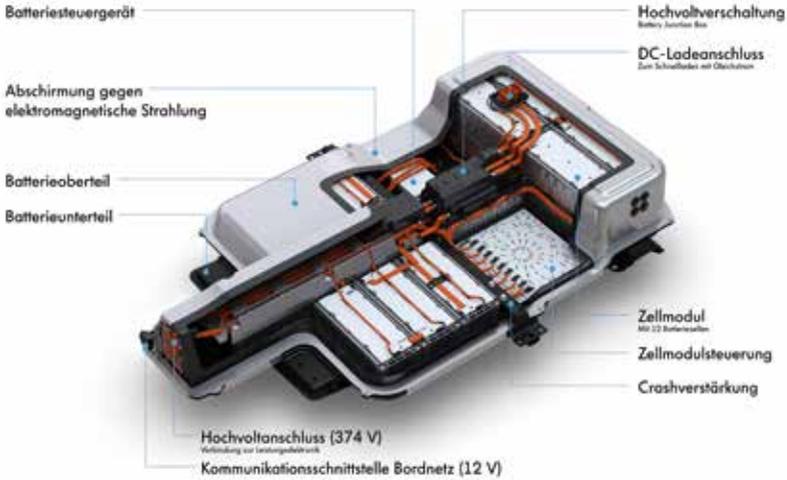


Abb. 5: Beispiel für ein Hochvoltbatteriesystem

Quelle: Volkswagen AG

Recycling

Am Ende ihrer Lebensdauer müssen die Batterien gesammelt und recycelt werden. Aus Sicherheitsgründen sollte die Batterie zunächst vollständig entladen werden, was jedoch nicht immer möglich ist. Dies erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen. Die Batterie muss zunächst zerlegt werden. Wertvolle Bestandteile bilden zum Beispiel die Kupferkabel, die Schaltkreise und Gehäuseteile aus Stahl oder Aluminium. Die Zellen müssen aufgeschlossen werden, zum Beispiel durch Zerkleinern. Anschließend können wertvolle Materialien wie Lithium, Nickel, Kupfer, und Kobalt entweder durch wässrige oder Hochtemperaturprozesse getrennt und wieder dem Kreislauf zugefügt werden.

Diese Prozesse werden zwar schon im industriellen Maßstab genutzt, jedoch muss ihre Kapazität stark erweitert werden. Aufgrund der langen Lebensdauer einer Li-Ionenbatterie hinkt das Recyclingvolumen dem Produktionsvolumen um etwa 10 Jahre hinterher. Außerdem befinden sich neue Prozesse in der Entwicklung, die nicht nur die Elemente wie Lithium und Nickel wiedergewinnen, sondern zum Beispiel auch die Aktivmaterialien trennen und aufbereiten. Diese können dann ohne den aufwendigen Syntheseprozess wieder der Zellfertigung zugeführt werden.

Produkt	Prozess	Maschinen/Bezeichnung	Infrastruktur/Umgebung
Kathode & Anode	Dosieren von Pulvern und Flüssigkeiten	Vorratsbehälter mit Zuführung Dosierer	
	Mischen	Mischer	
	Thermischer Prozess	Ofen	
	Nassbeschichtung der Elektrodenableiter	Förderpumpe	Reinraum (Klasse 7 oder 8)
		Auftragswerk	
		Trockenstrecke	
	Kalandrieren der Elektroden	Kalander	
	Rollenschneiden	Rollenschere	
Trocknen	Vakuumtrockenöfen		
	Vakuum pumpen		

Produkt	Prozess	Maschinen/Bezeichnung	Infrastruktur/Umgebung
Batterie- fertigung	Kontaktieren der Zellen	Laserschweißen, Roboter	HV-Arbeiten
	Batteriekühlung	Kühlaggregate	
	Elektronisches Management	Integrierter Schaltkreis (IC)	
	Sicherheitsfunktionen	Schalterschütze	

Produkt	Prozess	Maschinen/Bezeichnung	Infrastruktur/Umgebung
Formierung	Laden, Entladen	Formationsgeräte	Temperierte Räume
		Öfen oder temperierte Räume	Brandhemmende Umgebung
	Entgasen	Heißsiegelmaschine	
	Reifelagerung		Temperierte Räume

Produkt	Prozess	Maschinen/Bezeichnung	Infrastruktur/Umgebung
Zelle	Vereinzeln (Schneiden) der Elektroden	Stanzen oder Laserschneiden	Trockenraum (-40 °C bis -50 °C Taupunkt, Reinraumklasse 7)
	Stapeln	Stapler oder Z-Faltung	
	Verbinden der Ableiter	Ultraschall- oder Laserschweißen	
	Folie tiefziehen (Zellgehäuse)	Tiefziehwerkzeuge	Handschuhbox
	Einhausen	Pick and Place	
	Elektrolytkomponenten aufreinigen	Destillation	
	Mischen		
	Elektrolyt dosieren	Dosier- und Befüllanlage	Vakuum
	Zelle verschließen	Heißsiegelmaschine	



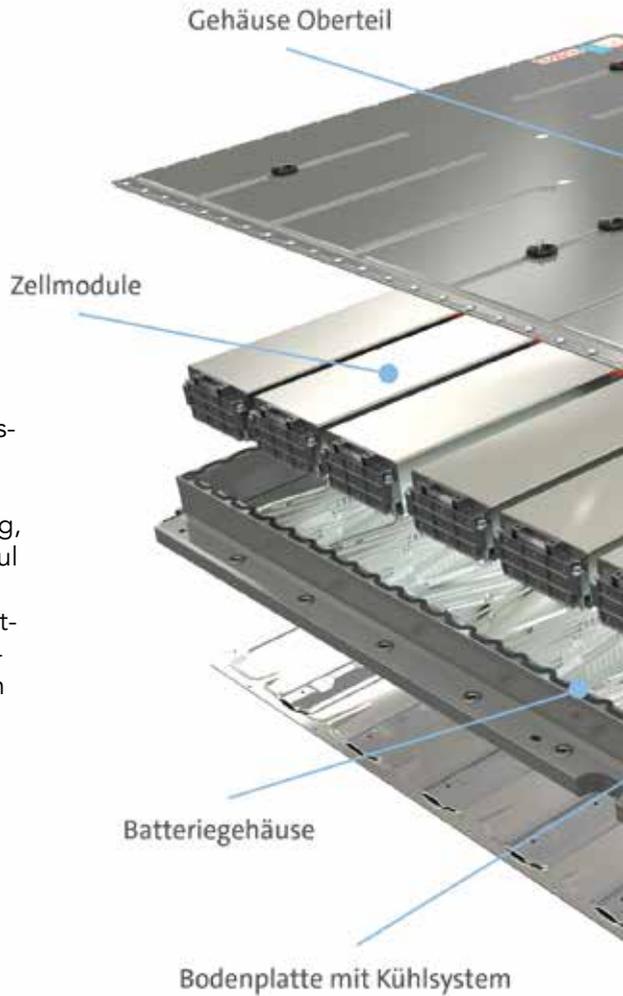
Produkt	Prozess	Maschinen/Bezeichnung	Infrastruktur/Umgebung
Recycling	Zerlegen der Batterie und Zellen	Roboter	Brandschutz
	Entschichten		
	Zerkleinerung	Malwerke	
	Auftrennung der Stoffe		

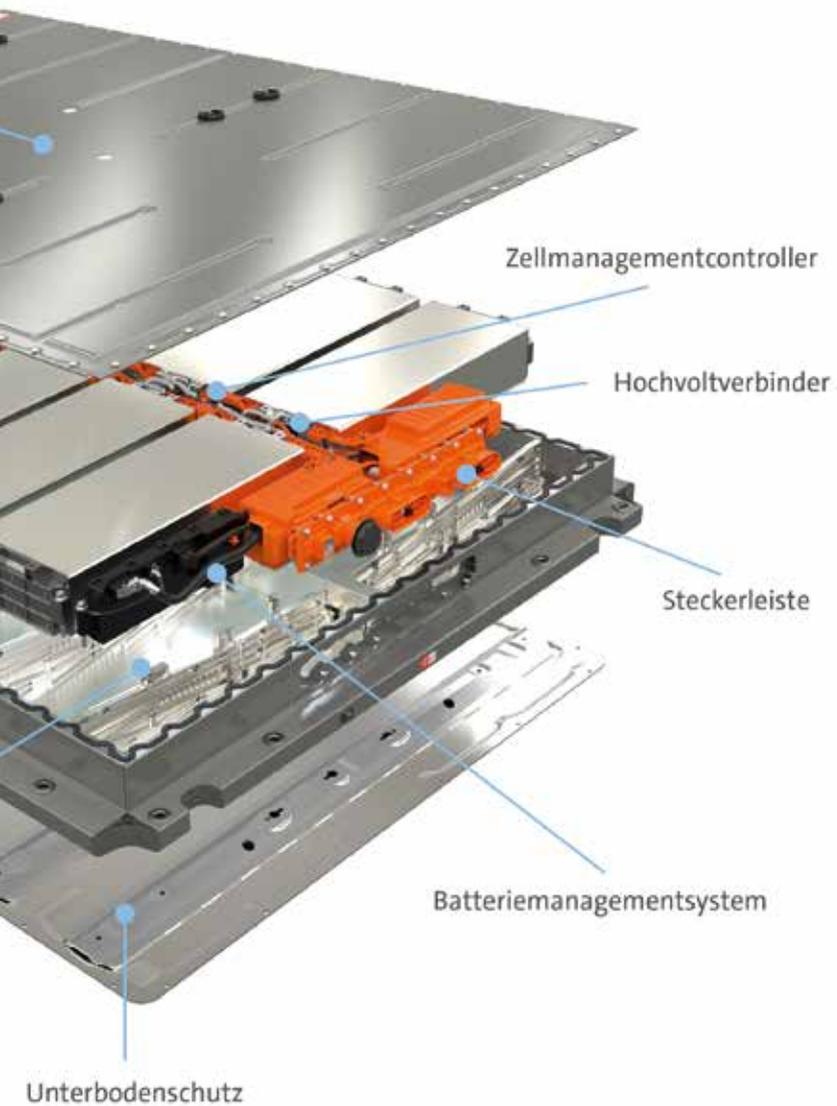
Abb. 6: Prozesse, Maschinen und Infrastruktur für die Zell- bzw. Batteriefertigung bis zum Recycling

Quelle: Eigene Darstellung

Explosionsansicht einer Traktionsbatterie für einen Pkw. Gezeigt werden Zellmodule, die in der Bodenplatte eingebaute Kühlung, die Hochvoltverbinder von Modul zu Modul, das Zellmanagement (Slave), das Batteriemanagementsystem (Master) sowie der Hochvoltverbindungsteil mit Schützen und Sicherungen.

Quelle: Volkswagen AG





Impressum

Autor Dr. Klaus Brandt

Redaktion Alexander Bracht, HA Hessen Agentur GmbH
und Ulrich Erven, LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH

Redaktionelle Mitarbeit: Dr. Kerstin Burmeister

Herausgeber
Landesinitiative Strom bewegt

LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH
Mainzer Straße 118
65189 Wiesbaden

HA Hessen Agentur GmbH
Hessen Trade & Invest GmbH
Konradinallee 9
65189 Wiesbaden
Telefon 0611 95017-80

www.strom-bewegt.de
www.hessen-agentur.de
www.htai.de
www.landesenergieagentur-hessen.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen (HMWEVW)
Kaiser-Friedrich-Ring 75, 65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Gestaltung: Sabine Schmidt, das-design-plus.de

Druck www.a-m-service.de | Klimaneutraler Druck
Gedruckt auf RecyStar Natur, hergestellt aus 100 % Altpapier,
ausgezeichnet mit den Umweltzertifikaten Blauer Engel,
FSC-Recycling und der EU-Blume.

Bildnachweise: Titelseite Copyright ©Umicore;
S. 21 und S. 24-25: Volkswagen AG

Anmerkung zur Verwendung

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise –
nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Dezember 2020, 1. Auflage

Eventuelle Änderungen oder Ergänzungen werden auf
unserer Website www.strom-bewegt.de veröffentlicht.

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

Ökonomische Potenziale der Elektromobilität

in der Metropolregion Rhein-Main-Neckar



HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH



HESSEN
TRADE & INVEST