



Fraunhofer

ISI

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG ISI

PRODUKT-ROADMAP LITHIUM-IONEN-BATTERIEN 2030



VORWORT



Batterien haben Tradition in Deutschland. Das vielleicht renommierteste Beispiel ist die 1904 gegründete Varta GmbH, ein wichtiger Teil deutscher Industriegeschichte. Ein Quantensprung in der Batterietechnologie war die Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie. Sie vollzog sich in den 1990er-Jahren ausschließlich in Asien, angekoppelt an die Unterhaltungselektronikindustrie, die lange vorher nach Asien abgewandert war. Diese Konsumerbatterien werden heute ausschließlich in Asien produziert und haben ein Marktvolumen von mehr als 10 Milliarden US-Dollar.

In Deutschland spielten Forschung und Entwicklung zu neuen Batterien in den letzten Jahrzehnten nur noch eine sehr untergeordnete Rolle. Mit der Elektromobilität aber ist das Interesse an modernen Hochleistungsbatterien in der westlichen Welt wieder erwacht.

Die Nationale Plattform Elektromobilität stellte in ihrem zweiten Bericht vom Mai 2011 fest, dass fortschrittliche Batterien eine Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität darstellen, gleichzeitig einen bedeutenden Anteil der Wertschöpfung übernehmen und damit essenziell für das Automobilland Deutschland sind.

Deutschland möchte bis 2020 Leitanbieter und Leitmarkt für die Elektromobilität der Zukunft werden. Die Experten der Nationalen Plattform entwickelten eine Markthochlaufkurve zur Visualisierung der notwendigerweise zu durchlaufenden Marktphasen. In der Phase der Marktvorbereitung sollen von

2011 bis 2014 mit Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung und mit Schaufensterprojekten der Umstieg von der rein technologiegetriebenen Forschung auf die produktorientierte Entwicklung gelingen. Die in dieser Broschüre vorliegende Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030, die von einem Expertenteam unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI erstellt wurde, zeigt nun die möglichen Märkte und Anwendungen auf.

Während sich die im Juni 2010 erschienene Technologie-Roadmap als Veröffentlichung der Innovationsallianz „Lithium-Ionen-Batterie LIB 2015“ vor allem mit den wissenschaftlich-technischen Herausforderungen und Entwicklungen auseinandersetzt, stehen für die Produkt-Roadmap die Marktseite bzw. die wirtschaftlich-ökonomischen Aspekte im Vordergrund. Dabei wurden potenzielle Anwendungsmöglichkeiten für die Lithium-Ionen-Batterie erfasst und zusammen mit den resultierenden Anforderungen an die Technologie über die einzelnen Einsatzfelder hinweg graphisch aufbereitet. Außerdem wurden Fragestellungen in den Bereichen Gesetzgebung, Standardisierung, Infrastruktur und Kundenakzeptanz untersucht.

Neben der Elektromobilität spielt die Speicherung von Strom aus Erneuerbaren Energien eine wesentliche Rolle in der Produkt-Roadmap. Auch hier bietet die führende Position der deutschen Industrie eine exzellente Basis für die Entwicklung neuer Produkte auf der Basis der Lithium-Ionen-Technologie. Wir haben eine einmalige Chance für eine Renaissance der deutschen Batterieindustrie und sollten diese konsequent nutzen.

Prof. Dr. Werner Tillmetz

Mitglied des Vorstandes des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

EINLEITUNG

LITHIUM-IONEN-BATTERIEN – SCHLÜSSEL ZUR ELEKTROMOBILITÄT?

Der Klimawandel, steigende Preise für fossile Brennstoffe sowie die wachsende Leistungsfähigkeit neuer Speichermedien für elektrische Energie machen die Elektromobilität zur Vision für die Zukunft individueller Mobilität auf umweltfreundlicher Basis. Vor diesem Hintergrund gibt es ehrgeizige politische Ziele wie z. B. die Reduktion der Abhängigkeit von Erdöl und die Senkung der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr. Diese Ziele stellen wichtige Treiber für die Verwirklichung von Elektromobilität in Deutschland dar.

Die große gesellschafts- und wirtschaftspolitische Bedeutung dieses Zukunftstrends resultiert aus der Entstehung zahlreicher neuer Märkte. Die im Mai 2010 eingerichtete „Nationale Plattform Elektromobilität“ (NPE) veröffentlichte im Mai 2011 ihren zweiten Zwischenbericht. Darin dokumentierte sie die großen Chancen für Deutschland, welche durch die Etablierung von Elektromobilität realisiert werden können, und unterstrich im gleichen Zug auch die Bedeutung davon, dass sich der Industriestandort Deutschland sowohl als Leitanbieter als auch als Leitmarkt für die Elektromobilität positionieren wird. Der Bericht enthält zahlreiche an die Bundesregierung gerichtete Empfehlungen für die Ausgestaltung ihrer zukünftigen Politik. Ebenfalls im Mai 2011 reagierte die Bundesregierung mit ihrem neuen „Regierungsprogramm Elektromobilität“, das die von staatlicher Seite aus auf Basis des Zwischenberichts geplanten Maßnahmen beinhaltet. Der Regierung sind Innovationen sehr wichtig, weshalb die Förderung von Forschung und Entwicklung für die Elektromobilität entscheidend bleibt.

Die Lithium-Ionen-Batterie wird als die Schlüsseltechnologie für zukunftsweisende (elektrische) Antriebssysteme betrachtet. Eine sorgfältige Analyse und Bewertung ihrer Vor- und Nachteile sind deshalb unverzichtbar. Auf dem Weg zur Marktreife spielen jedoch nicht nur Aspekte des Technologieschubs eine Rolle, sondern auch die Entwicklung der Marktnachfrage. Die signifikanten Meilensteine in der Marktentwicklung lassen sich in einer sogenannten Produkt-Roadmap dokumentieren.

PRODUKT-ROADMAP LITHIUM-IONEN-BATTERIEN 2030

Die Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030 liefert eine grafische Repräsentation bereits realisierter sowie potenzieller Anwendungen und Produkte, von marktbezogenen und politischen Rahmenbedingungen sowie der Marktanforderungen an verschiedene Eigenschaften der Technologie von heute bis ins Jahr 2030. Die Roadmap vermittelt damit eine weitreichende Orientierung hinsichtlich der zukünftigen Marktentwicklung rund um den Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien mit dem Schwerpunkt auf elektromobilen und stationären Anwendungen und Produkten. Die Produkt-Roadmap ergänzt die im Jahr 2010 erschienene Technologie-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030. In der Technologie-Roadmap sind die wissenschaftlich-technischen Entwicklungen und Herausforderungen rund um die Lithium-Ionen-Batterietechnologie aus der Expertensicht für die Batterieforschung- und Entwicklung bis ins Jahr 2030 identifiziert und verortet.

Während die Technologie-Roadmap auf die technologische Entwicklung abzielt, steht bei der nun vorliegenden Produkt-Roadmap die Marktseite im Vordergrund. Dazu sind potenzielle Anwendungsbereiche für die Lithium-Ionen-Batterie zusammen mit den spezifischen Marktanforderungen an die Technologie erfasst. Da die Marktseite selbst wiederum von den sich ändernden sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen beeinflusst wird, sind in der Produkt-Roadmap auch übergreifende Fragestellungen in ihrer Entwicklung abgeschätzt, z. B. Regulierung und Gesetzgebung, Normen und Standards sowie Infrastruktur und Kundenakzeptanz. Aspekte aus allen diesen Bereichen, z. B. gesetzliche und rechtliche Herausforderungen oder Förderinstrumente und die Wirtschaftlichkeit, spielen letztlich für die Marktentwicklung eine große Rolle.

METHODIK UND VORGEHENSMODELL

Das Vorgehen zur Erstellung der Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030 einschließlich der vorliegenden Dokumentation basiert auf einer abgestimmten Kombination qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden, strukturiert in einem Vorgehensmodell mit vier Schritten:

- Technologie- und Marktanalysen inklusive aktueller Publikationen, Marktstudien, der Rahmenbedingungen, des Technologie-Umfelds etc.,
- Experten- und Unternehmensbefragungen zur Überprüfung qualitativer Thesen und Vorbereitung des folgenden Workshops sowie zur Einholung von Feedback zur Validierung der Ergebnisse nach dem Workshop,
- Durchführung eines Expertenworkshops zur Roadmap-Erstellung,
- methodisch differenzierte Ausarbeitung der Roadmap.

Die Technologie- und Marktanalysen dienen hierbei der technischen Einordnung der Lithium-Ionen-Batterien in den Kontext alternativer Energiespeichertechnologien sowie zur Erarbeitung

von Entwicklungsszenarien für Batterien und deren Einsatz (insbesondere in Elektrofahrzeugen) bis hin zu Nachfrageprognosen bis in das Jahr 2030. Sie ergänzen und unterstreichen die Ergebnisse der Roadmap.

Die Experten- und Unternehmensbefragungen flossen in die Roadmaperstellung ein. Ausgewählte Expertenstatements dienen einer zusätzlichen Validierung und Bestätigung der Ergebnisse. Die Produkt-Roadmap selbst wurde 2011 im Rahmen eines durch das Fraunhofer ISI organisierten Expertenworkshops in Frankfurt am Main erstellt. An dieser Veranstaltung nahmen mehr als fünfzehn renommierte Experten aus der anwendungsnahen Forschung und der Industrie teil. Die Produkt-Roadmap wurde im Nachgang von den Workshop-Teilnehmern geprüft und ihr Feedback eingearbeitet.

In dieser Produkt-Roadmap sind ausgewählte Anwendungsbeispiele und Produkte für die Lithium-Ionen-Batterie zusammen mit den spezifischen Anforderungen für den Planungszeitraum vom Jahr 2010 bis 2030 verortet und bewertet.



ENERGIESPEICHER

TECHNISCHE EINORDNUNG DER LITHIUM-IONEN-BATTERIE

Lithium-Ionen-Batterien werden in der Gliederungssystematik gängiger Energiespeicherkonzepte in die jeweiligen Technologiefelder vor allem als lokale Kleinspeicher eingesetzt (Abbildung 1). „Lokal“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Lithium-Ionen-Batterien durch den „lokalen“ Einsatz, z. B. im Elektromobil oder Haus sowohl für „mobile“ als auch „stationäre“ Anwendungen in Frage kommen. Während thermische Speicher- und Kurzzeitspeicherkonzepte vor allem auf eine hohe Leistung ausgelegt sind, sind zentrale Speicherkraftwerke vor allem für eine hohe Energie ausgelegt. Die elektrochemischen

Energiespeicher können sowohl als lokale Kleinspeicher als auch als dezentrale Großbatterien zum Einsatz kommen. Die Lithium-Ionen-Batterie ist als Energiespeicher je nach Auslegung für alle Arten von Elektrofahrzeugen relevant – für hybridisierte Elektromobile, bei denen es auf eine hohe Leistungsdichte ankommt, für vollelektrische Batteriefahrzeuge, bei denen es auf eine hohe Energiedichte ankommt, und für alle anderen Antriebs- bzw. Fahrzeugkonzepte dazwischen.

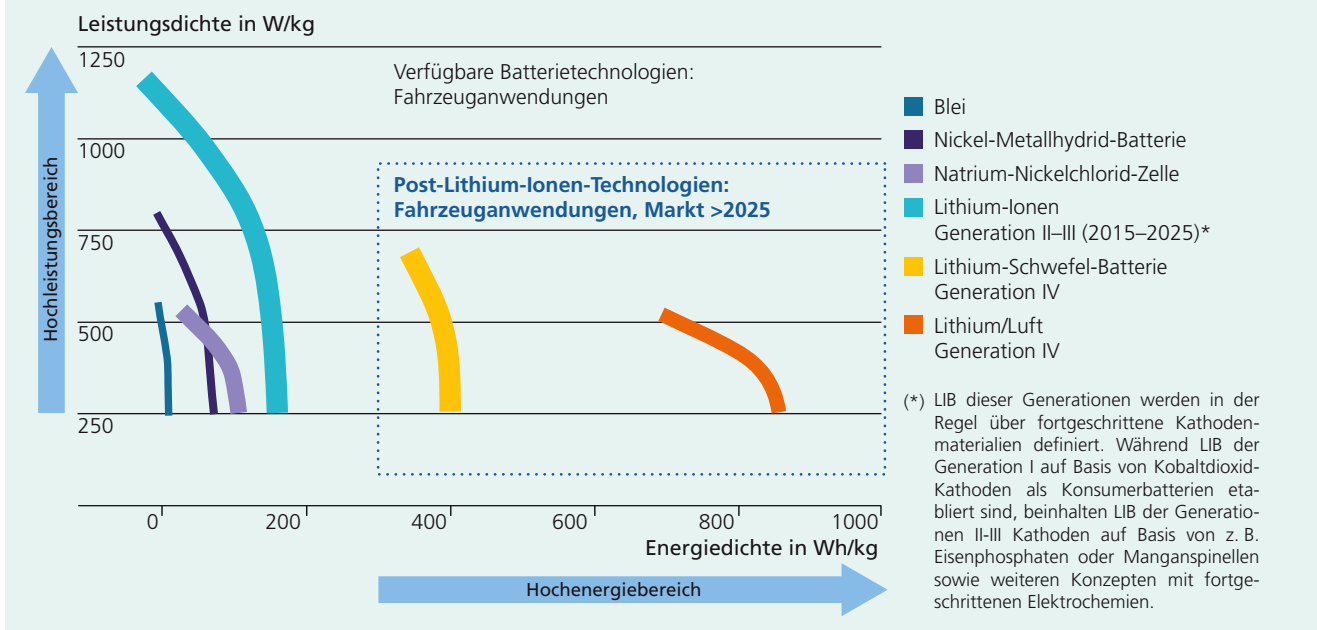
Abbildung 1: Klassifizierung gängiger Energiespeichertechnologien¹



Art der Speicherung

- Virtuelle Speicherung
- Elektrisch (elektromagnetische oder -statische Felder)
- Elektrochemisch (chemische Energie)
- Mechanisch (kinetische oder potenzielle Energie)

Abbildung 2: Energiedichte und Leistungsdichte von aktuellen und zukünftigen Batterietechnologien?



BEDEUTUNG KÜNFTIGER LITHIUM-BASIERTER ENERGIESPEICHER

... für die Elektromobilität

Anhand sogenannter Ragone-Diagramme, welche die spezifische Energiedichte (in Wh/kg) und die spezifische Leistungsdichte (in W/kg) als besonders kritische Eigenschaften verschiedener Energiespeichertechnologien gegenüberstellen, zeigt sich, dass Lithium-Ionen-Batterien bei unterschiedlicher Auslegung entweder hohe Energiedichten oder hohe Leistungsdichten erreichen können (Abbildung 2). Dabei spielen hohe Leistungsdichten für die Elektromobilität im Bereich der Hybride (engl. Hybrid Electric Vehicles, kurz: HEV) eine große Rolle. Für den Einsatz in rein batteriebetriebenen Fahrzeugen (engl. Battery Electric Vehicles, kurz: BEV) und Plug-In Hybriden (engl. Plug-In Hybrid Electric Vehicles, kurz: PHEV) sind hohe spezifische Energiedichten wichtiger. Kurzfristig stehen die automobilen Anforderungen wie die Lebensdauer, Sicherheit und Zuverlässigkeit unter Alltagsbedingungen im Vordergrund. Lithium-Hochvolt (5V)-Batterien werden beispielsweise als evolutionäre Weiterentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien der Generation II-III mittelfristig für den Einsatz in der Elektromobilität vorgesehen. Für die fernere Zukunft gelten auch die Konzepte der Lithium-Schwefel-Batterie (Li-S) nach 2020 und der Lithium-Luft-Batterie (Li-Luft) nach 2030 aufgrund der hohen möglichen Energiedichte insbesondere für reine BEV als sehr vielversprechend. Über die genannten Anforderungen an Energie- und Leistungsdichte hinaus gilt es für alle Entwicklungen, Themen wie Kosten, Lebensdauer, Leistung beim Kaltstart sowie Sicherheit unter allen Bedingungen zu beachten. Neben Lithium-basierten Batterien gilt aber auch die Brennstoffzellentechnologie,

insbesondere die Proton-Exchange-Membrane Fuel-Cell (PEM-FC, auf Wasserstoff-Basis), als sehr relevant für die Elektromobilität. Insbesondere für größere Fahrzeuge und lange Reichweiten bieten sie gute technologische Eigenschaften, schnelle Betankung und einfache Klimatisierung des Fahrgastraumes.

... für stationäre Speicher

Bei den stationären Energiespeicheranwendungen steht das Thema der Kosten bzw. Wirtschaftlichkeit im Fokus, welches neben den Investitionskosten (Batteriepreise) ganz wesentlich durch die Erfüllung der Anforderungen an die Zyklenfestigkeit der Speichertechnologien beeinflusst wird. Lithium-basierte Batterien konkurrieren insbesondere mit den hier nicht gezeigten und im kWh- bis MWh-Bereich besonders relevanten Bleisäure-, Redoxflow- und Natrium-Schwefel-Batterien (ggf. auch der künftig wiederaufladbaren Zink-Luft-Batterie) unter den elektrochemischen Speichern und im Bereich der mechanischen Energiespeichertechnologien beispielsweise mit Druckluftspeichern. Die neuen Ansätze der Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien könnten in Zukunft wettbewerbsfähige Alternativen neben der Speicherung von Wasserstoff darstellen.

... für sonstige Anwendungen/Nischen

Im Bereich sonstiger und Nischenanwendungen (z. B. tragbare Arbeitsgeräte und Konsumelektronik) spielen Kosten im Allgemeinen eine große Rolle, und so wird die Technologie eingesetzt, welche zum jeweiligen Zeitpunkt günstig verfügbar ist. Für die mittelfristige Zukunft bieten Lithium-Hochvolt (5 V)-Batterien gute Perspektiven, wenn auch die Anwender (bzw. Kunden) hierfür zumeist in Asien anzutreffen sind.

MARKTSZENARIEN

MARKTSEITIGE EINORDNUNG DER LITHIUM-IONEN-BATTERIE

Elektrofahrzeuge können zukünftig eine zentrale Anwendung für Lithium-Ionen-Batterien im Massenmarkt darstellen. Aufgrund verschiedener technischer Eigenschaften können aber zumindest in naher Zukunft nicht alle Personenkraftwagen (PKW) durch reine Elektrofahrzeuge ersetzt werden. Da zusätzlich verschiedene Grade der Elektrifizierung des Antriebes von Fahrzeugen möglich sind, stellt sich die Frage, wie hoch die Marktanteile der verschiedenen Elektrofahrzeuge und damit der Bedarf an Lithium-Ionen-Batterien sein können.

Weil verlässliche Marktanalysen für den Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien in stationären Speicheranwendungen oder sonstigen Fahrzeugen noch nicht verfügbar sind, wird deren Betrachtung an dieser Stelle ausgeklammert und zu einem späteren Zeitpunkt aufgegriffen.

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI hat zwei Szenarien für die Rolle von Elektrofahrzeugen im zukünftigen Fahrzeugbestand der Bundesrepublik erarbeitet:

- Das optimistische Dominanz-Szenario beschreibt eine nahezu vollständige Verbreitung der Hybridtechnologie in den nächsten Jahren. Als Annahmen hierfür sind ein hoher Ölpreis, niedrige Batteriekosten sowie stark fördernde politische Rahmenbedingungen zugrunde gelegt. Dies führt zunächst zu einer verstärkten Verbreitung von Plug-In Hybriden (PHEV) und später (ab 2025) zu einem anwachsenden Anteil reiner Batteriefahrzeuge (BEV).
- Im Pluralismus-Szenario existieren verschiedene Antriebstechnologien nebeneinander. Die Rahmenbedingungen sind als nicht ganz so optimal zugrunde gelegt und die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ist demzufolge weniger hoch. Die für große Reichweiten notwendige Energiedichte wird nicht erreicht und reine Batteriefahrzeuge bleiben ein Nischenmarkt.

Die mögliche Bandbreite der Schätzungen zeigt sich beim Vergleich mit anderen bislang vorgelegten Szenarien (Abbildung 3). Hier sind die Erwartungen zum Anteil der PHEV- und BEV-Neuzulassungen und von Hybridfahrzeugen (HEV) für die Jahre 2020 und 2030 gegenübergestellt. Die Bandbreite der in den Szenarien abgeschätzten Anteile lässt sich durch die unterschiedlichen Annahmen und verschiedenen Methoden erklären, auf denen die Szenarien aufbauen, und zeigt den möglichen Einfluss durch die Setzung entsprechender Rahmenbedingungen.

So schwankt der Anstieg beim Anteil von PHEVs und BEVs zwischen wenigen bis 18 Prozent (in 2020) und 7–30 Prozent (in 2030). Bei Hybridautos reichen die Abschätzungen von einem Anteil von 10–32 Prozent (in 2020) bis zu 23–33 Prozent (in 2030). Trotz aller Unterschiede im Detail: Insgesamt spielen Elektrofahrzeuge und damit Lithium-Ionen-Batterien in allen Entwicklungsszenarien eine wichtige Rolle.

Abbildung 3: Szenarien für den Weltmarktanteil von PHEV und BEV (oben) und für HEV (unten)



NACHFRAGEPROGNOSEN FÜR LITHIUM

Die Prognosen für die weltweite Nachfrage nach Lithium als Rohstoff basieren auf den beiden oben erläuterten Szenarien:

Dominanz-Szenario

Die deutlich wachsende Nachfrage im Fall einer starken, weltweiten Verbreitung von Elektromobilität ist im Dominanz-Szenario quantitativ abgeschätzt (Abbildung 4). Die verschiedenen Batterieanwendungen mit ihren jeweiligen Spezifika erschweren zwar den direkten Vergleich einzelner Stückzahlen, ab 2020 aber könnten Lithium-Ionen-Batterien bereits zu über 70 Prozent in Elektromobilen Anwendung finden. Außerdem gibt es einen guten ersten Anhaltspunkt: Bei einem ungefähren Lithiumbedarf von 180 Gramm pro Kilowattstunde³ entspricht eine Kilotonne Lithium-Rohstoff dem Äquivalent von 5,56 Gigawattstunden. Die rund 30 Tonnen Lithiumbedarf in 2020 für die Elektromobilität entsprechen rund 170 Gigawattstunden an Energie.

Pluralismus-Szenario

Mit einer schwächeren Nachfrage ist der wachsende Bedarf an Lithium im Pluralismus-Szenario quantifiziert (Abbildung 5). Fahrzeugbatterien werden auch hier bereits in wenigen Jahren gemessen am Gewicht des verwendeten Lithiums den größten Teil der Anwendungen für Lithium-Ionen-Batterien ausmachen (über 50 Prozent ab 2020). Eine Abschätzung des Lithiumbedarfs für stationäre Speicher fällt wegen der großen Konkurrenz zu anderen elektrochemischen Speichern und noch offenen, unklaren Geschäftsmodellen schwer (hier sind die stationären Speicher unter „Sonstige“ eingeordnet).

Abbildung 4: Lithiumbedarf in Kilotonnen pro Jahr (oben) und Gewichtsanteile von Lithiumanwendungen in Prozent (unten) im Dominanz-Szenario

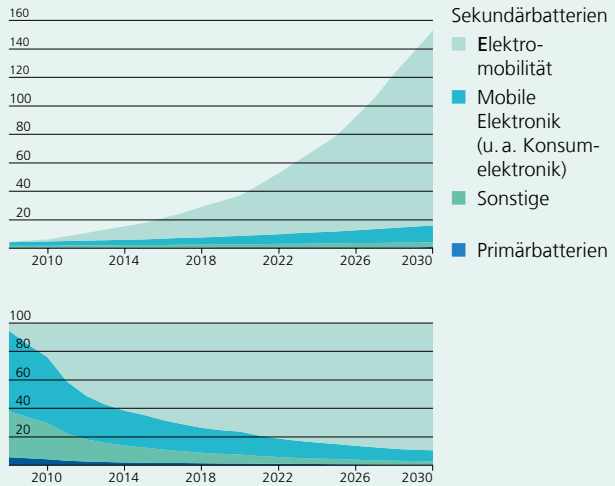
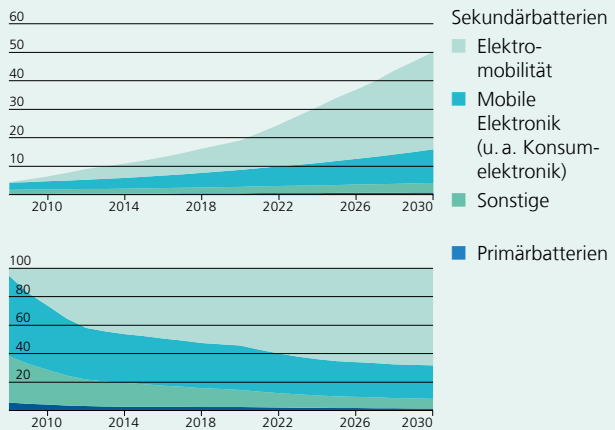


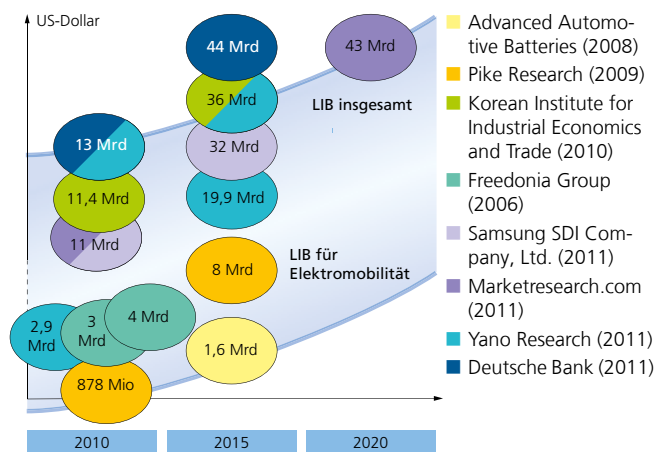
Abbildung 5: Lithiumbedarf in Kilotonnen pro Jahr (oben) und Gewichtsanteile von Lithiumanwendungen in Prozent (unten) im Pluralismus-Szenario

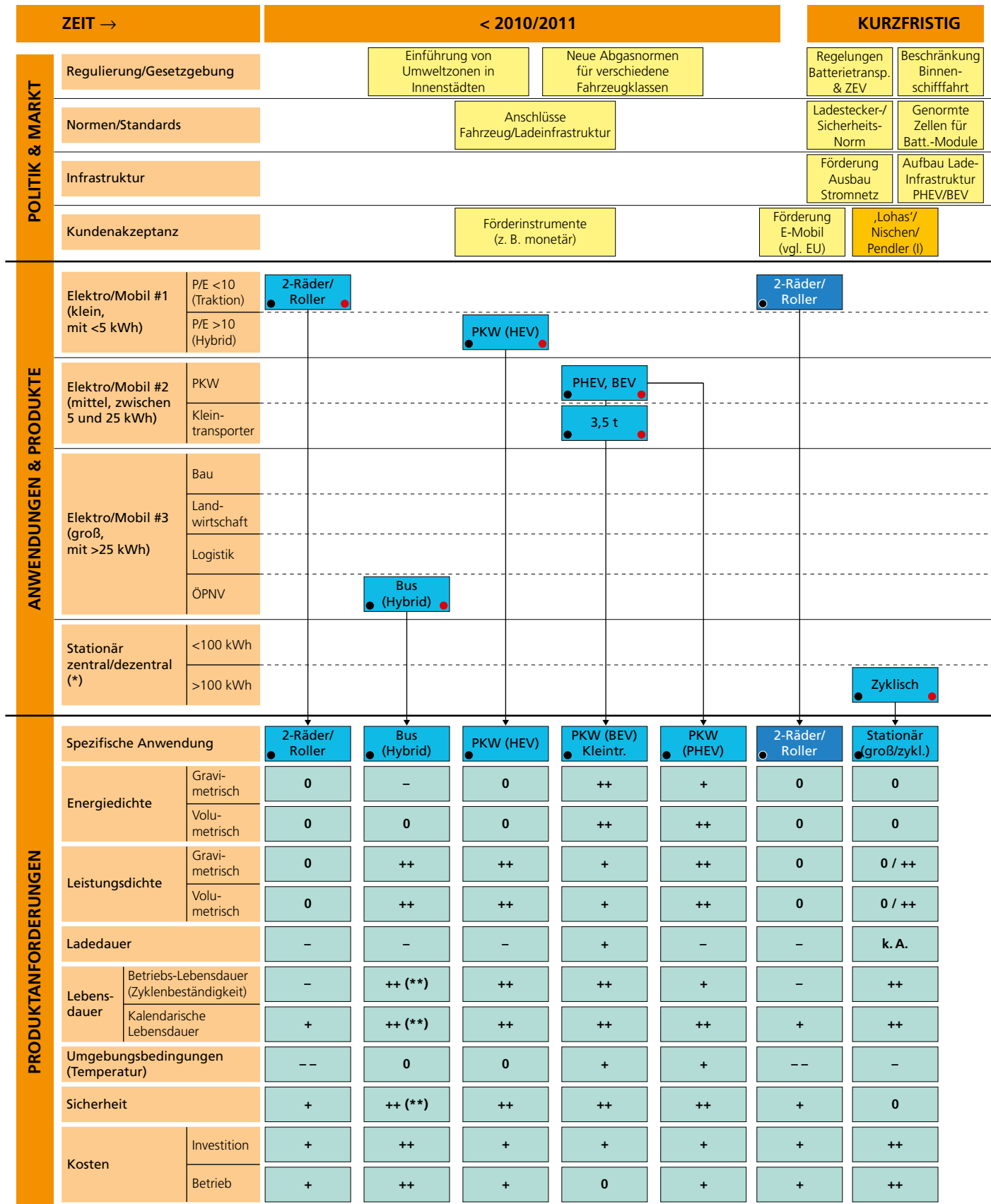


MARKTSZENARIEN FÜR LITHIUM- IONEN-BATTERIEN WELTWEIT

Hinsichtlich der weltweiten Marktentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien zwischen 2010 und 2020 gibt es zahlreiche, durchaus auseinanderliegende Einschätzungen (Abbildung 6), welche sich aber gut in eine robuste Richtung einfügen und einen deutlichen Anstieg prognostizieren: Die Größe des Lithium-Ionen-Batterie-Marktes weltweit soll sich je nach Quelle bereits bis zum Jahr 2015 ungefähr verdreifachen. Während diese Marktentwicklung vor allem durch den Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien in Elektromobilen (HEV, PHEV und BEV) getrieben zu sein scheint, ist auch die Richtung in der Preisfrage vorgegeben: Kostete eine Lithium-Ionen-Batterie im Jahr 2010 noch rund 800 Euro pro Kilowattstunde, könnte sich dieser Wert bis zum Jahr 2015 halbieren und die Entstehung stark wachsender Zukunftsmärkte nach sich ziehen.

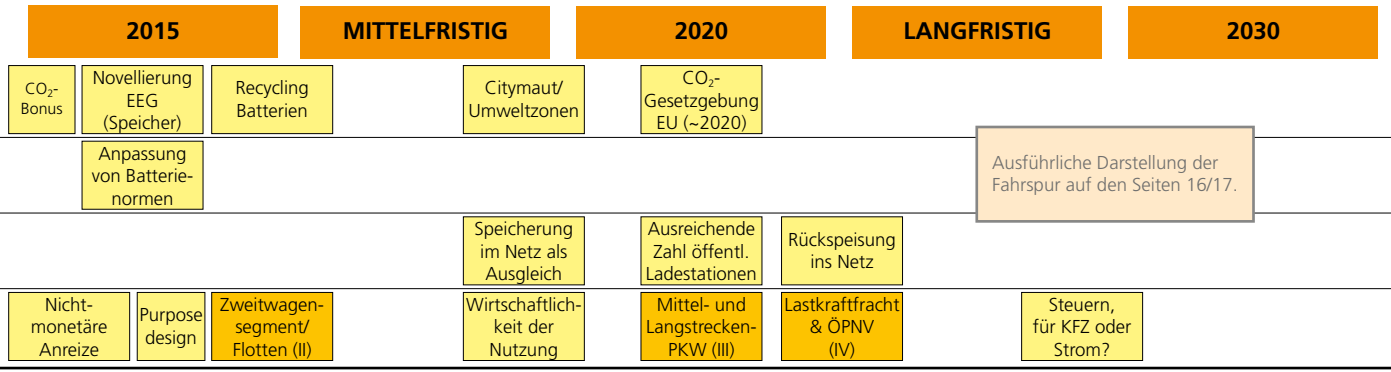
Abbildung 6: Prognosen für die weltweite Marktentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien (nach Umsätzen)



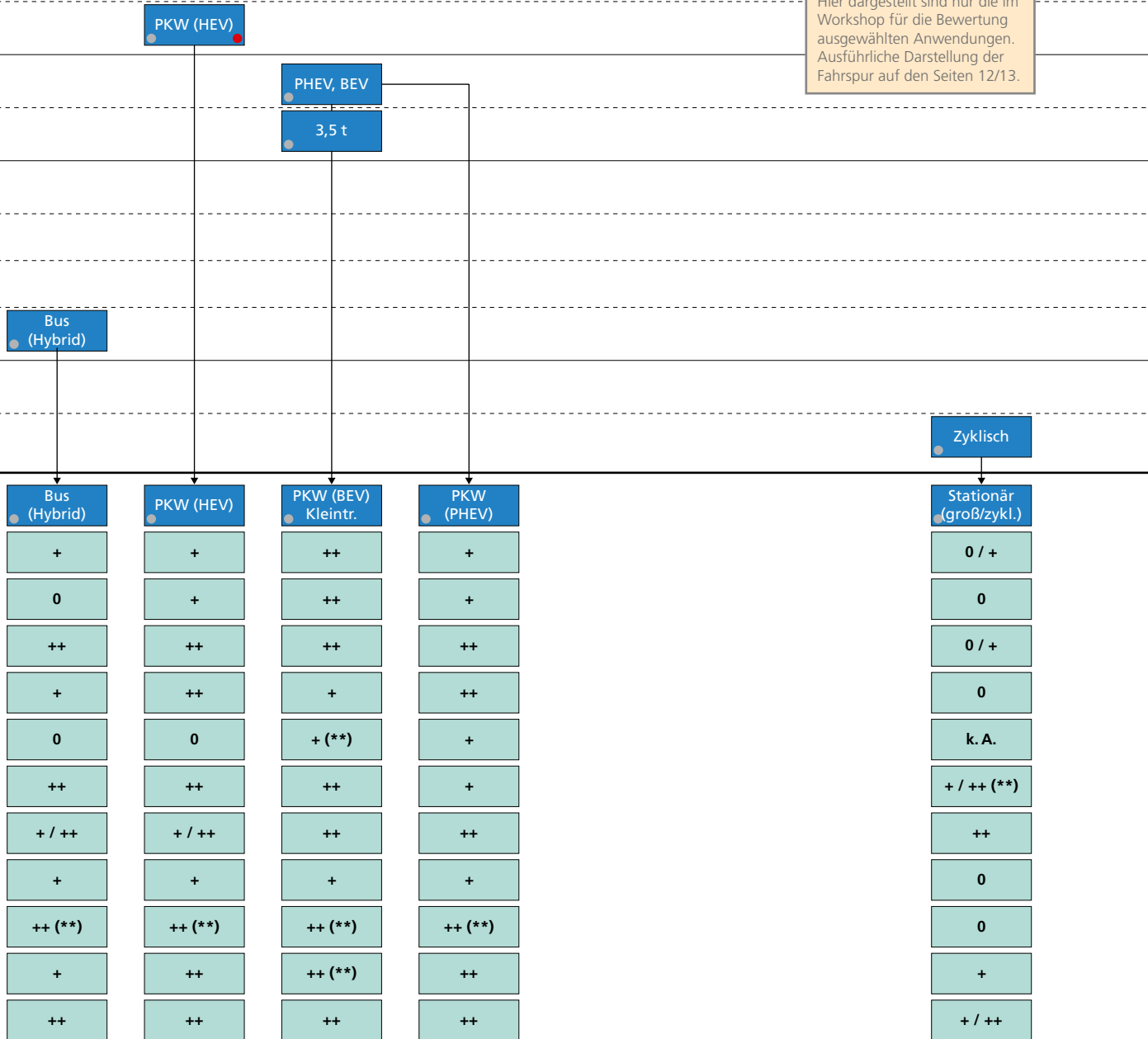


Zeitraumen
Gegenüberstellung der Rahmenbedingungen von Politik und Markt sowie den Anwendungen und Produkten für die Lithium-Ionen-Batterie

PRODUKT-ROADMAP LITHIUM-IONEN-BATTERIEN 2030



Hier dargestellt sind nur die im Workshop für die Bewertung ausgewählten Anwendungen. Ausführliche Darstellung der Fahrspur auf den Seiten 12/13.

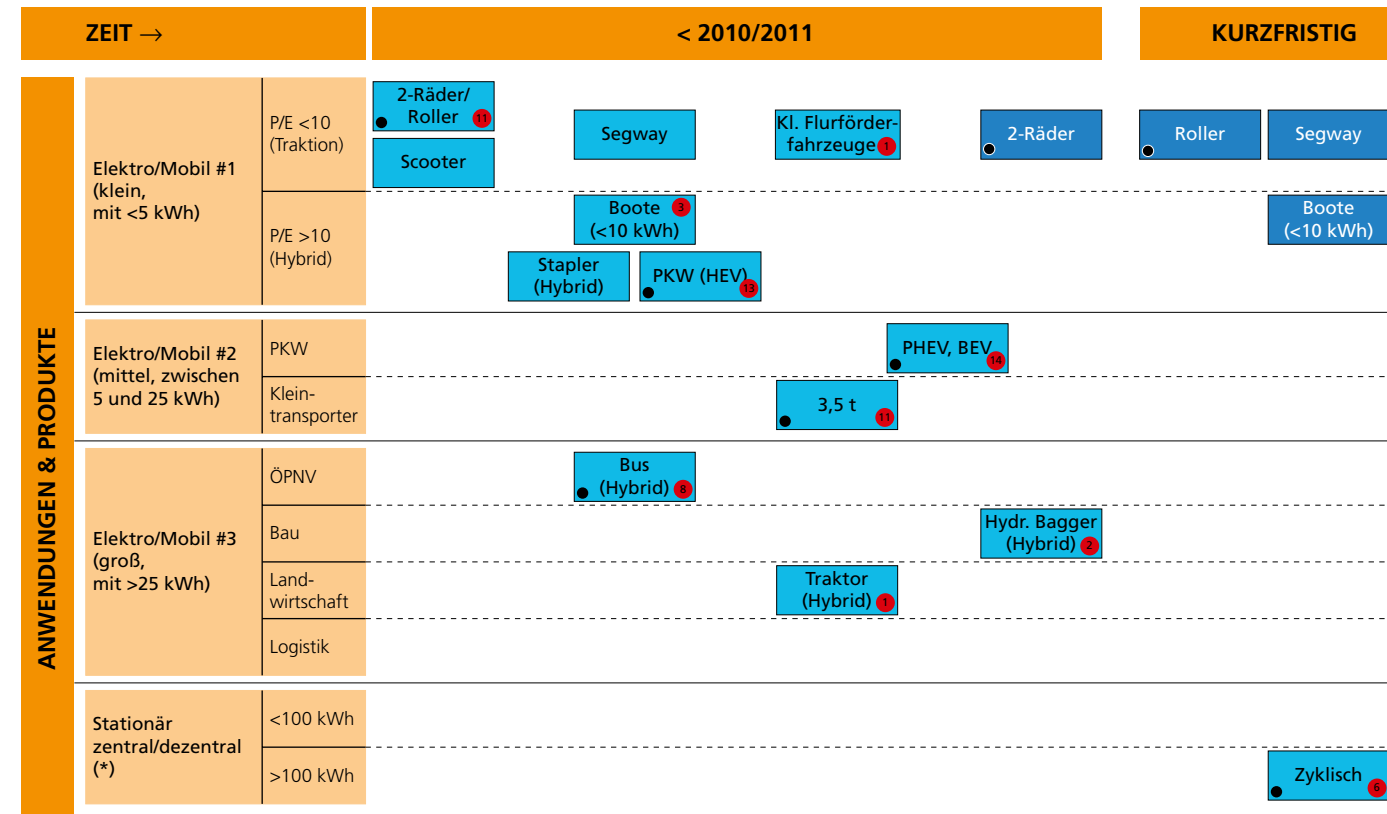


(*) Mögl. Anwendungen: Lastmanagement, Notfallversorgung, Regelleistung, Schwarzstart
 (**) Schlüsselparameter

- Kundengruppen**
- Markteintritt**
- Massenproduktion**

Bewertung der Anforderungen ausgewählter Anwendungen an einzelne Eigenschaften im gegenseitigen Vergleich sowie im Verhältnis zu anderen Anwendungen zu den Zeitpunkten des Markteintritts und der Massenproduktion
 0 neutral (entspricht: Anforderungen erfüllt)
 + wichtig ++ sehr wichtig
 - weniger wichtig -- unwichtig

- Auswahl zu betrachtender Anwendungen
- Im Workshop bewertet
- Nach Workshop bewertet



ANWENDUNGEN UND PRODUKTE

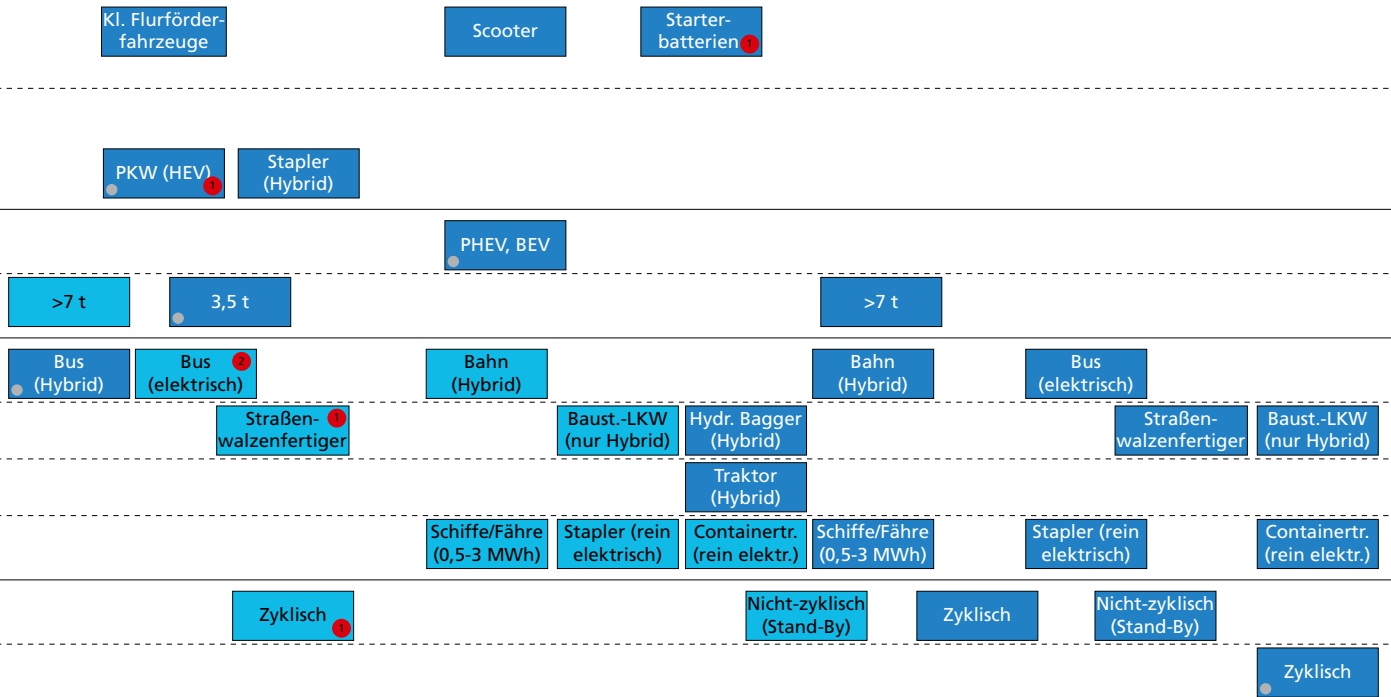
Die im Vorfeld geführten Experteninterviews und Diskussionen im Workshop ergaben eine sinnvolle und praktikable Unterteilung elektromobiler Anwendungen und Produkte in eine kleine, eine mittlere und eine große Speicherklasse. Neben dieser Einteilung sind in der Roadmap zentrale und dezentrale stationäre Energiespeicher erfasst. Mit der Angabe von >100 kWh wird auf die Energiespeicher bis hin zu wenigen MWh abgezielt. Eine umfassendere Einteilung enthält die für 2012 geplante Technologie-Roadmap Stationäre Energiespeicher 2030. Die „Größe“ steht hier jedoch nicht für die volumetrische Größe der Batterien und damit ggf. die Fahrzeuggrößen, sondern repräsentiert ausschließlich die Leistung der Batterien.

Die leistungsspezifische Klassifizierung im „kleinen“ Bereich wird durch das so genannte P/E-Verhältnis als zusätzliches Kriterium verfeinert. Dieses Verhältnis von Leistung zu Energie beschreibt die Charakteristik der Leistungsentnahme. Ist das Verhältnis relativ klein, betrifft es den Hochenergiesektor und ist z.B. für reine Elektrofahrzeuge relevant. Ist es hingegen vergleichsweise groß, betrifft es den Hochleistungssektor und ist z.B. für Hybride von Interesse. Mit dieser Einteilung kann für eine Batterie gegebener Größe diskutiert werden, in welchen Anwendungen sie schwerpunktmäßig zum Einsatz kommen mag. Die Anwendungen und Produkte sind in der Roadmap nach zwei zentralen Kriterien verortet: Dem Markteintritt, d.h.

ab wann eine Anwendung als Produkt kommerziell verfügbar ist und der Massenmarktfähigkeit, d.h. ab wann die Volumenproduktion beginnt. Damit lässt sich zwischen den Phasen Markt- und Technologievorbereitung (vor dem Markteintritt), Markthochlauf (zwischen Markteintritt und Massenmarkt) sowie Marktdiffusion (nach dem Erreichen des Massenmarktes) unterscheiden. Diese phasenbezogene Betrachtung ist für alle in der Roadmap betrachteten Anwendungen und Produkte auf der nächsten Doppelseite zugrunde gelegt, wo sie in den Kontext ihrer Marktentwicklung eingeordnet werden. Überall dort, wo tragfähige Angaben verfügbar waren, wurde außerdem die Marktentwicklung über den Marktanteil (in Prozent) oder die Absatzanzahl (in Stück pro Jahr) quantifiziert bzw. abgeschätzt. Sämtliche Betrachtungen in der vorliegenden Broschüre beziehen sich dabei auf Deutschland.

Die Auswahl der wichtigsten Anwendungen und Produkte von Lithium-Ionen-Batterien basiert auf der fachlichen Einschätzung der beteiligten Experten. Mit Hilfe eines einfachen, auf der Vergabe von Punkten basierenden Bewertungssystems wurden die folgenden Anwendungen vertiefend betrachtet: 2-Räder/Roller, PKW-HEV, PKW-PHEV, PKW-BEV/Kleintransporter, Busse (Hybrid) sowie stationäre (große, zyklische) Energiespeicher. Für diese Anwendungen und Produkte sind im Nachfolgenden konkrete Produkthanforderungen spezifiziert.

2015 **MITTELFRISTIG** **2020** **LANGFRISTIG** **2030**



- Auswahl zu betrachtender Anwendungen durch die 19 Teilnehmer (insgesamt 76 Bewertungspunkte)
- Im Workshop bewertet
- Nach Workshop bewertet



ZEIT →		STATE OF THE ART	< 2010/2011		KURZFRISTIG			
ANWENDUNGEN & PRODUKTE	Elektro/Mobil #1 (klein, mit <5 kWh)	P/E <10 (Traktion)	LIB	2-Räder/ Roller	Markthochlauf	2-Räder (350 000)	Roller (100 000)	
			Benzin/Diesel	Scooter		Markthochlauf	Markthochlauf	
			LIB	Segway		Markthochlauf	Segway	
			Blei	Markt- und Technologievorbereitung		Kl. Flurförder- fahrzeuge	Markthochlauf	
			Blei	Starterbatterie (Pb-Säure)		Markthochlauf		
		P/E >10 (Hybrid)	Blei		Stapler (Hybrid)	Markthochlauf		
			Benzin/Diesel		Boote (<10 kWh)	Markthochlauf	Boote (4000-4500)	
			Benzin/Diesel		PKW (HEV)		Markthochlauf	
		Elektro/Mobil #2 (mittel, zwischen 5 und 25 kWh)	PKW	Benzin/Diesel	Markt- und Technologievorbereitung		PHEV, BEV	Markthochlauf
			Klein- transporter	Benzin/Diesel	Markt- und Techno- logievorbereitung	3,5 t		Markthochlauf
	Benzin/Diesel				Markt- und Technologievorbereitung			
	Elektro/Mobil #3 (groß, mit >25 kWh)	ÖPNV	Benzin/Diesel		Bus (Hybrid)	Markthochlauf		
			Benzin/Diesel		Markt- und Technologievorbereitung			
			Benzin/Diesel		Markt- und Technologievorbereitung			
		Bau	Benzin/Diesel	Markt- und Technologievorbereitung		Hydr. Bagger (Hybrid)	Markthochlauf	
			Benzin/Diesel		Markt- und Technologievorbereitung			
			Benzin/Diesel		Markt- und Technologievorbereitung			
		Land- wirtschaft	Benzin/Diesel	Markt- und Techno- logievorbereitung		Traktor (Hybrid)	Markthochlauf	
		Logistik	Benzin/Diesel		Markt- und Technologievorbereitung			
			Blei		Markt- und Technologievorbereitung			
Benzin/Diesel				Markt- und Technologievorbereitung				
Stationär zentral/dezentral (*)		<100 kWh	LIB		Markt- und Technologievorbereitung			
			Blei		Markt- und Technologievorbereitung			
		>100 kWh	Redox-Flow		Markt- und Technologievorbereitung		Zyklisch	

Zeitraumen
Frage nach der zeitlichen Einordnung
verschiedener Anwendungen für die
Lithium-Ionen-Batterie nach Markt-
eintritt und Massenproduktion

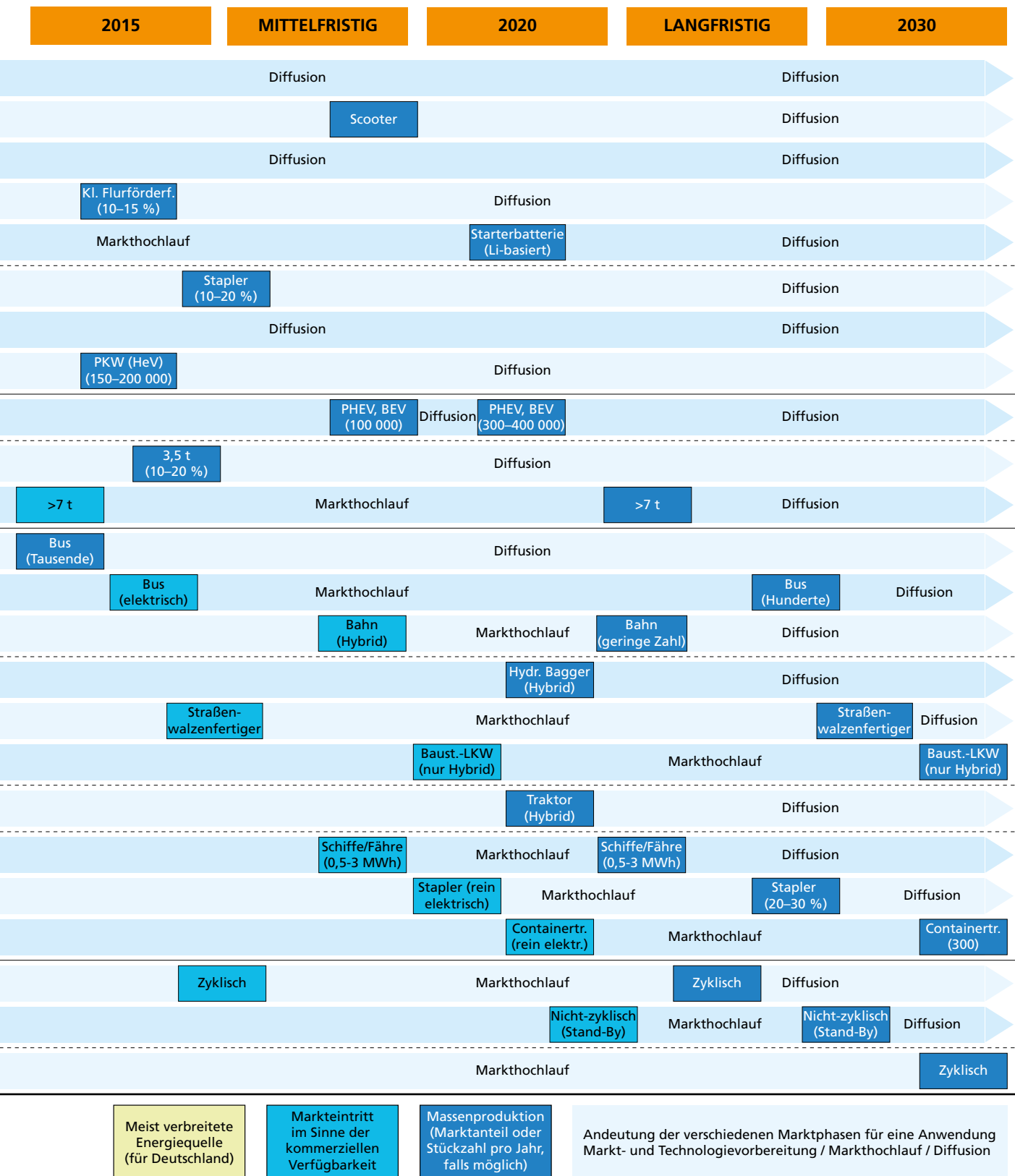
(*) Mögl. Anwendungen
Lastmanagement, Notfallversorgung,
Regelleistung, Schwarzstart

„Junge Leute werden schon heute mit den technisch aus-
gereiften Zweirädern für die Elektromobilität begeistert
und in zehn Jahren den Markt für die Elektromobile der
Zukunft bereiten.“

Stefan Lippert, ID-Bike GmbH

„Der Trend zur energieeffizienten Antriebstechnik resul-
tiert aus dem Wunsch nach CO₂-reduzierten Produktions-
und Arbeitsprozessen und darf nicht als isolierte Lösung
betrachtet werden.“

Prof. Dr.-Ing. Alfred Ulrich, Fachhochschule Köln



„Politik, Wirtschaft und Gesellschaft müssen den Umbau der Energieversorgungssysteme und der Mobilität mit allen Konsequenzen (z.B. Investitionskosten) und Hürden wollen und unterstützen.“

Carsten Kolligs, Evonik Industries AG

„Die hohe Materialvielfalt in der Lithium-Ionen-Technologie resultiert in einer großen Breite von Anwendungen und Produkten, welche sich am Markt behaupten und ihn weiter entwickeln werden.“

Dr. Peter Birke, Continental

ZEIT →		< 2010/2011			KURZFRISTIG						
POLITIK & MARKT	Regulierung/Gesetzgebung	Innenstädte Zone 30/40 Umweltzone	Euro III für Kleinkraft-räder (bis 125 ccm)	Euro VI für N1 (bis 3,5 t)	Bestimmungen für Batterie-transport auf Straße	Beschrän-kungen für Binnenschiff-fahrt	ZEV-Gesetze	Sicherstellung Strom aus zusätzlichen Erneuerbaren Energien	Sonderrechte (z. B. freies Parken) für PHEV/BEV	CO ₂ -Bonus durch gesteuer-tes Laden	
	Normen/Standards	Anschlüsse (elektr./IT) Fahrzeug/Ladeinfrastr.			Ladestecker-Norm/ Sicherheits-Norm		Genormte Zellen für HEV-/PHEV-/ BEV-Batterie-Module				
	Infrastruktur					Förderung Ausbau/ Weiterentw. Stromnetz		Aufbau Ladeinfrastruktur PHEV/BEV (privat finanziert)			
	Kundenakzeptanz	Förder-instrumente (monetär & nicht-monetär)			Förderung E-Mobile (vgl. EU) → nächste Legislaturper.		LOHAS/ Nischen/ Pendler (<50 km) (I)		Nicht-monetäre Anreize z. B. Busspur, freies Parken		

POLITIK UND MARKT

Die in der umfassenden Übersicht verorteten Entwicklungen spielen sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen und Produkte eine Rolle und werden bereits bis zum Jahr 2020 erwartet. Eingeschätzt wurden ausschließlich für die Zukunft plausible Erwartungen.

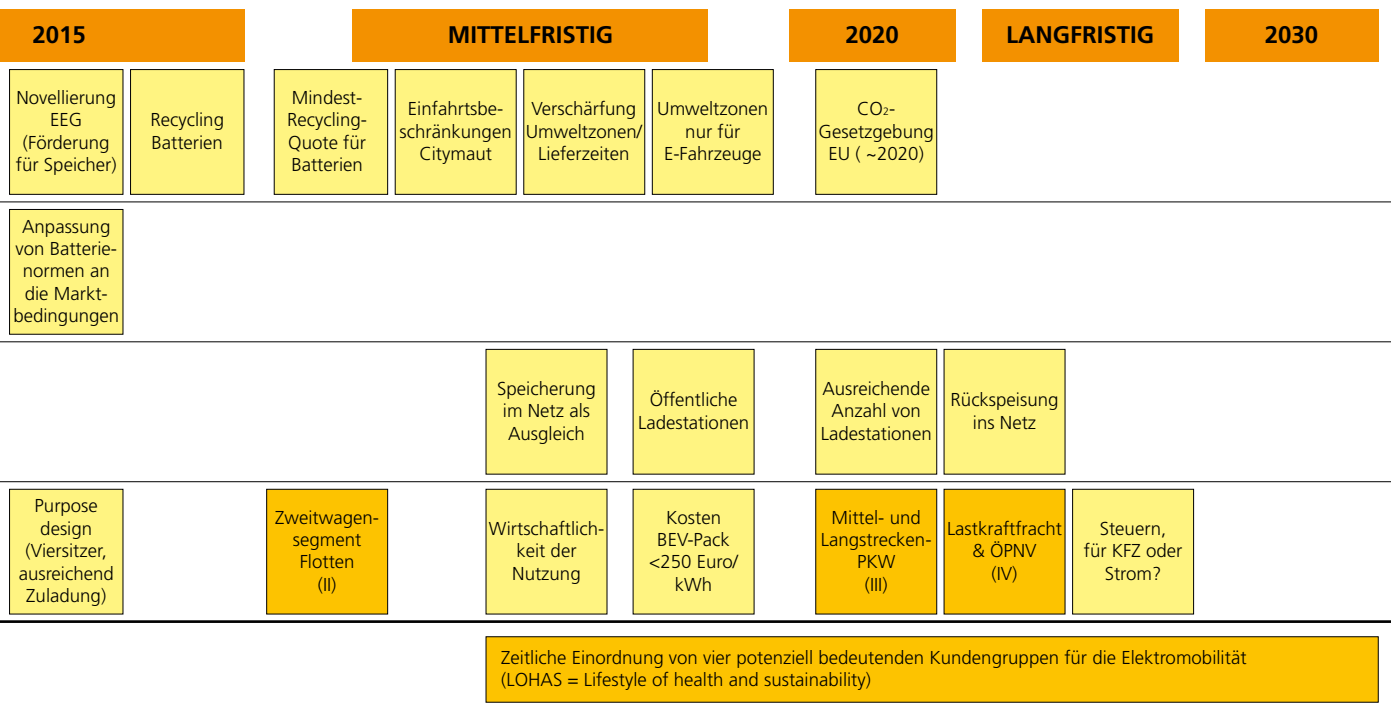
Einige der im Kontext Regulierung/Gesetzgebung diskutierten Entwicklungen betreffen gleichzeitig das Thema Kundenakzeptanz: Anreize wie die Benutzung der Busspur und freies Parken bieten Vorteile für potenzielle Kunden. Diese Regelungen ließen sich daher auch als Anreizprogramm zur Einführung der Elektromobilität verstehen. In vereinzelt Großstädten laufen bereits Pilotversuche, z. B. bei der Einrichtung von Umweltzonen zur Reduktion von Geschwindigkeit, Emissionen und Feinstäuben. Erwartet werden auch schärfere Abgasnormen für bestimmte Fahrzeugklassen. Kurzfristig ist mit vielen weiteren Maßnahmen zu rechnen, z. B. Gesetze für so genannte „Zero Emission Vehicles“ (ZEV), die emissionsfreies Fahren ermöglichen sollen.

Weil die Elektromobilität in Deutschland durch die Nutzung (volatiler) Erneuerbarer Energien ermöglicht werden soll, könnte das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) erweitert werden, und private Speicherung sowie privater Verbrauch von z. B. durch Photovoltaik erzeugter Energie belohnt werden. Auch das nachhaltigkeits- und wertschöpfungsorientierte Recycling von Batterien befindet sich in der Entwicklung. In punkto Normen/Standards arbeiten Gremien in Deutschland vor allem an den Interfaces zwischen Elektromobil und Ladeinfrastruktur.

Als wichtig hat sich die Entwicklung eines Gesamtsystems zur Ladung der Batterie herauskristalliert, um den beteiligten Herstellerunternehmen Planungssicherheit zu geben.

Kennzeichnend für die Entwicklung der Infrastruktur sind die Ausgestaltung des Stromnetzes und der oben genannten Ladeinfrastruktur. Weil das heutige Stromnetz bereits absehbar die Anforderungen an die Stromproduktion bis zum Jahr 2020 kaum angemessen sicherzustellen vermag, denkt die EU über eine Netzförderung nach und darüber, wie insbesondere die Erneuerbaren Energien besser integriert werden können. Ferner ist klar, dass das „neue“ Stromnetz intelligenter werden muss (Stichwort: Smart grid). Bezüglich der Aufladung von Elektro-mobilen in der Marktanlaufphase wird zwar erwartet, dass ein Großteil über die Hausladung abgedeckt werden wird. Spätestens mittelfristig und mit der Etablierung des Massenmarktes wird dann aber ein großes Netz öffentlicher Ladestationen benötigt werden.

Um die Kundenakzeptanz und den Kundennutzen für Elektrofahrzeuge zu stärken, sind von politischer Seite sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Förderinstrumente in der Diskussion. Die in der Roadmap verorteten Kundenklassen umfassen vier identifizierbare Schwerpunkte: Ökologische Premiumkunden mit dem so genannten „Lifestyle of Health and Sustainability“ (LOHAS), betriebliche Flotten, Fahrer von Mittel- und Langstrecken-PKW sowie Unternehmen in Logistik und ÖPNV.



Auch das Thema „Steuern“ beeinflusst die Wirtschaftlichkeit. Die heutigen Betriebskosten eines PKW ließen sich z.B. durch die Einsparung der Mineralölsteuer sowie niedrige Stromtarife erheblich reduzieren. Wie das Finanzministerium durch Steuer-gesetze lenkend eingreift, ist derzeit noch nicht absehbar. Diese Frage könnte zwischen 2020 und 2030 aufkommen. Weil andere Länder aber schon heute verschiedene Maß-nahmen z.B. hinsichtlich dem Ordnungs- und Steuerrecht zur Marktentwicklung für die Elektromobilität ergreifen, wird der Standort Deutschland mit seiner exportbasierten Wirt-schaft bereits indirekt durch sie beeinflusst. Für die betei-ligten Experten sind die Entwicklungen in Politik und Markt stets in Verbindung mit den Energiepreisen zu betrachten.

Um die Entwicklung der Elektromobilität tatsächlich zu be-günstigen, wird ein Ölpreis von über 100 US-Dollar pro Barrel vorausgesetzt. Die Übergangsphase bis zur wirtschaftlichen Umsetzung der Elektromobilität bei niedrigeren Ölpreisen kann dabei insbesondere von Ländern mit höherer Finanzkraft oder Investitionsstärke wie Deutschland gestemmt werden. Liegt der Ölpreis für eine längere Zeit unter diesem Niveau, dürfte die Elektromobilität bei ihrer Entwicklung ins Stocken kommen. Im Kontext solcher Abschätzungen sind weitere Treiber, wie z.B. die politische Stabilität in der Rohstoffversorgung zu berück-sichtigen. Auch dadurch weitet sich der Analysefokus auf an-dere wichtige Weltregionen wie Asien und insbesondere China aus, welche im Auge zu behalten sind.



ZEIT →		< 2010/2011					KURZFRISTIG		
PRODUKTANFORDERUNGEN	Spezifische Anwendung	2-Räder/ Roller	Bus (Hybrid)	PKW (HEV)	PKW (BEV) Kleintr.	PKW (PHEV)	2-Räder/ Roller	Stationär (groß/zykl.)	
	Energiedichte	Gravi- metrisch	0	-	0	++	+	0	0
		Volu- metrisch	0	0	0	++	++	0	0
	Leistungsdichte	Gravi- metrisch	0	++	++	+	++	0	0 / ++
		Volu- metrisch	0	++	++	+	++	0	0 / ++
	Ladedauer	-	-	-	+	-	-	k. A.	
	Lebens- dauer	Betriebs-Lebensdauer (Zyklusbeständigkeit)	-	++ (**)	++	++	+	-	++
		Kalendarische Lebensdauer	+	++ (**)	++	++	++	+	++
	Umgebungsbedingungen (Temperatur)	--	0	0	+	+	--	-	
	Sicherheit	+	++ (**)	++	++	++	+	0	
Kosten	Investition	+	++	+	+	+	+	++	
	Betrieb	+	++	+	0	+	+	++	

PRODUKTANFORDERUNGEN

Für die Bewertung der Produktanforderungen an einzelne Anwendungen und Produkte wurde die Systemgrenze auf der Modulebene gezogen. Das Speichersystem soll hier als Black-box behandelt werden, so dass ein Energiespeichersystem einfach durch ein zweites Energiespeichersystem ersetzt werden kann. Die Batterie mit Batteriemanagementsystem wird als austauschbare Einheit verstanden. Es ist kein Kühlmodul bzw. Energiemanagementsystem berücksichtigt.

Die an der Erstellung der Roadmap beteiligten Experten bewerteten mit jeweils vier Stimmen die aus ihrer Sicht wichtigsten Anwendungen und Produkte von Lithium-Ionen-Batterien. Die nach der Auszählung favorisierten Anwendungen und Produkte sind oben zu sehen, wobei sowohl 2-Räder und Roller als auch PKW-BEV und Kleintransporter mit ihren jeweils sehr ähnlichen Profilen in zwei Klassen zusammengefasst wurden. Die sechs Anwendungen wurden für die Roadmap bzgl. ihrer Anforderungen beim Markteintritt sowie zum Zeitpunkt des Entstehens eines Massenmarktes bewertet. Die Bewertungsskala reicht von unwichtig (--), weniger wichtig (-) über neutral (0) bis wichtig (+) und sehr wichtig (++).

Bei 2-Rädern und Rollern spielen kalendarische Lebensdauer, Sicherheit und Kosten für die Investition und im Betrieb aus Akzeptanz- und Wirtschaftlichkeitsgründen die größten Rollen. Hier ergibt sich kein wesentlicher Unterschied zwischen Markteintritt und Volumenmarkt (welcher ja bereits vorliegt).

Für die PKW (HEV) bestehen hohe Anforderungen an die Leistungsdichte, Lebensdauer und Sicherheit gleich zum Markteintritt. Für den Massenmarkt steigt nur noch die Bedeutung geringer Kosten. Diese Entwicklung zeigt sich auch bei den PKW (BEV) und Kleintransportern, wo allerdings zum Markteintritt die größten Anforderungen an die Energie- statt der Leistungsdichte gestellt werden. Die Kostenentwicklung ist auch bei den PKW (PHEV) gleich. Hier stehen volumetrische Energiedichte, Leistungsdichte sowie kalendarische Lebensdauer und die Sicherheit von der Bedeutung her mit im Vordergrund.

Für den Bus (Hybrid) bestehen beim Markteintritt besonders hohe Anforderungen an die Leistungsdichte und die Kosten. Lebensdauer und Sicherheit zählen hier sogar als wichtige Schlüsselparameter. Für stationäre Speicher (groß, zyklisch) ist es wichtig, um welche Anwendung es sich handelt. Deshalb ist bei der Leistungsdichte eine Bandbreite angegeben. Zum Markteintritt sind die Anforderungen an Lebensdauer und Kosten (Wirtschaftlichkeit) besonders hoch. Die Ladedauer (Stundenspeicher, Tagesspeicher, Saisonspeicher etc.) wird nicht bewertet, da sie nicht relevant ist.

„Aus der spartenübergreifenden Auflistung der Produktanforderungen werden Synergie-Effekte zwischen verschiedenen Anwendungen für Lithium-Ionen-Batterien ersichtlich, z. B. die Energiedichte oder den Preis betreffend.“

Horst Mettlach, Adam Opel AG

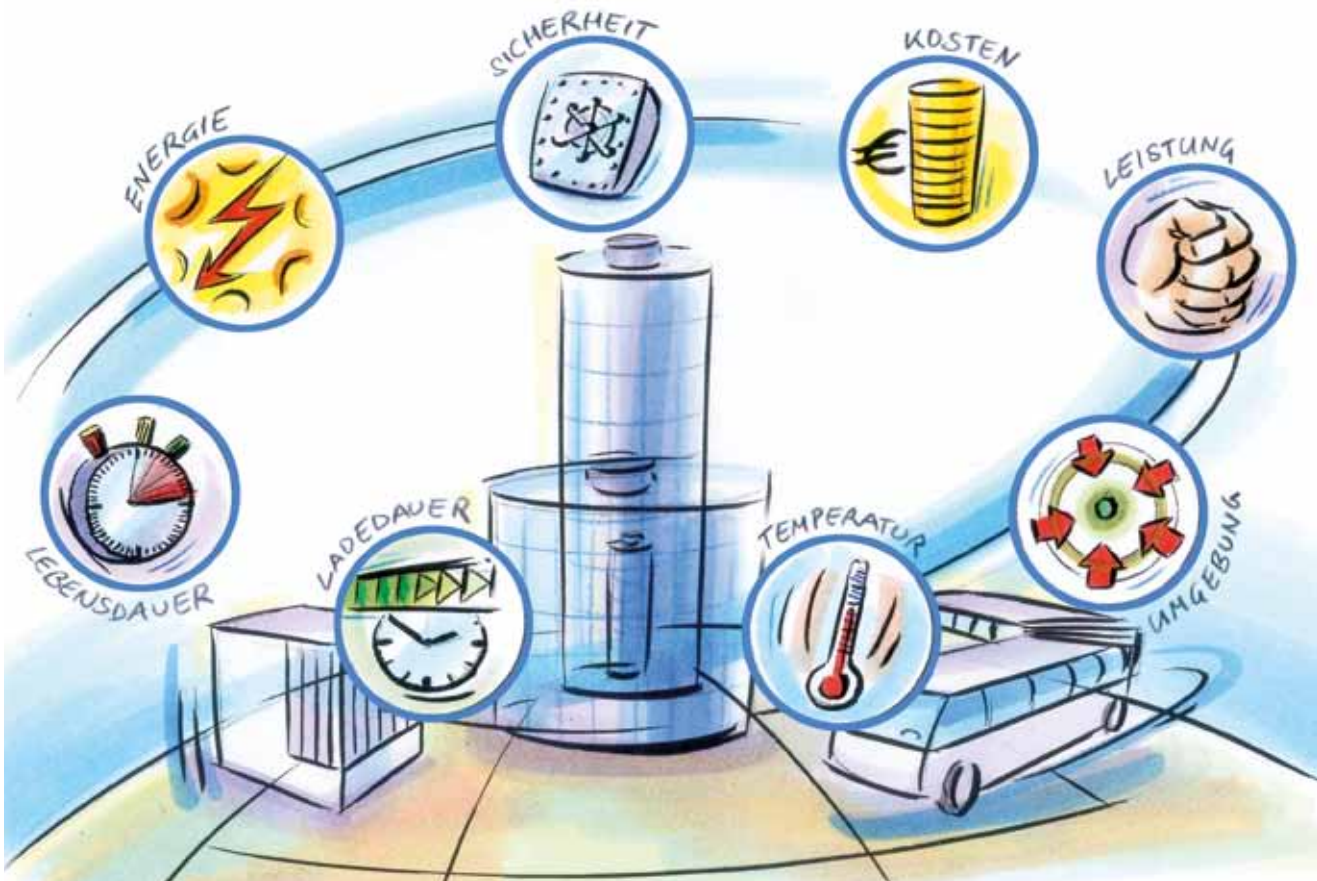
2015		MITTELFRISTIG		2020		LANGFRISTIG		2030	
Bus (Hybrid)	PKW (HEV)	PKW (BEV) Kleintr.	PKW (PHEV)					Stationär (großzykl.)	
+	+	++	+					0 / +	
0	+	++	+					0	
++	++	++	++					0 / +	
+	++	+	++					0	
0	0	+ (**)	+					k. A.	
++	++	++	+					+ / ++ (**)	
+ / ++	+ / ++	++	++					++	
+	+	+	+					0	
++ (**)	++ (**)	++ (**)	++ (**)					0	
+	++	++ (**)	++					+	
++	++	++	++					+ / ++	

Bewertung der Anforderungen ausgewählter Anwendungen an einzelne Eigenschaften im gegenseitigen Vergleich sowie im Verhältnis zu anderen Anwendungen zu den Zeitpunkten des Markteintritts und der Massenproduktion

0 neutral (entspricht: Anforderungen erfüllt)

+ wichtig ++ sehr wichtig

- weniger wichtig -- unwichtig



FAZIT UND AUSBLICK

FAZIT

Lithium-Ionen-Batterien dürften je nach Szenario und den darin zugrunde gelegten Rahmenbedingungen in den nächsten zehn Jahren neben stationären Anwendungen und Produkten der mobilen bzw. tragbaren Elektronik mit 50 bis über 70 Prozent in der Elektromobilität Einsatz finden. Alleine bis 2015 gehen unterschiedliche Marktprognosen von einer Verdreifachung des weltweiten Marktes für wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien aus.

Die Anwendungsmöglichkeiten reichen dabei von kleinen bis großen Elektromobilen im Bereich von wenigen bis über 25 Kilowattstunden, z. B. Elektroscooter, -roller, -autos, -busse bis zu diversen Arbeitsmaschinen, sowie von kleinen bis großen de-/zentralen stationären Anwendungen bis in den Megawattstundenbereich. Ebenso lässt sich nach Hybrid- (Hochleistungs-) und Traktions- (Hochenergie-) Anwendungen unterscheiden. Die Entwicklungen von BEV und PHEV werden hierbei auch weitere Anwendungen begünstigen, z. B. Kleintransporter, weshalb das Erreichen von Märkten und Marktvolumen in anderen Anwendungen gegenseitig voneinander abhängt. Die Anforderungen an die Batterieparameter variieren mit den Anwendungen ebenso wie die Materialentwicklungen zur Optimierung der Batterieparameter. Die Produkt-Roadmap zeigt die Breite der Anwendungen, deren Abhängigkeiten und Rahmenbedingungen sowie Anforderungen an die Lithium-Ionen-Batterien auf.

AKTUALISIERUNG DER ROADMAP ...

Die Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030 ist ein lebendiges Planungsdokument. Sie wird fortlaufend aktualisiert und weiterentwickelt. Beim Fraunhofer ISI ist eine Projektwebseite eingerichtet, um die Roadmap zu kommentieren und Anregungen für die Weiterentwicklung einfließen zu lassen. Die Roadmap kann unter dem folgenden Link heruntergeladen werden: www.isi.fraunhofer.de/prm-libroad.php.

Für das Jahr 2012 ist geplant, die im Jahr 2010 veröffentlichte und in 2011 aktualisierte Technologie-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030 mit der vorliegenden Produkt-Roadmap zu kombinieren und beide in einer umfassenden Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030 zu integrieren.

... UND NÄCHSTE SCHRITTE DER WEITERENTWICKLUNG

In der anvisierten Gesamt-Roadmap werden die Markt- und Technologiesicht miteinander verknüpft sowie durch über- bzw. umgreifende Entwicklungen ergänzt, z. B. durch die für den weiteren Markthochlauf wichtigen Förderinstrumente. Ferner geht es in der Gesamt-Roadmap auch darum, marktbezogene und technologische Aspekte stärker mit rohstofflichen Aspekten zu verzahnen und z. B. Aspekte der Lebenszyklus-Betrachtung mit einzubeziehen, die das Gesamtsystem Lithium-Ionen-Batterie bei der Verwirklichung im elektromobilen Kontext mit sich bringt. Darüber hinaus werden Sicherheitsaspekte sowie erste produktionstechnische Fragestellungen zur Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit ausdrücklich berücksichtigt. Dazu gehören auch Aspekte der Qualitätssicherung vom Zulieferer bis hin zum Fahrzeughersteller.

BENACHBARTE PROJEKTE ZUR ELEKTROMOBILITÄT

Das Fraunhofer ISI bearbeitet eine Reihe von Forschungsprojekten rund um die Elektromobilität, jeweils mit spezifischen Arbeitsschwerpunkten. Das Spektrum reicht von einem systemischen Ansatz mit einer Untersuchung sozio-ökonomischer Aspekte der Elektromobilität über Fragen der Energiebereitstellung, der Ausgestaltung der Beladeinfrastruktur und der Entwicklung von Batterie- und Fahrzeugkonzepten bis hin zu neuen Mobilitätskonzepten und der Nutzerakzeptanz.

PROJEKTE

PROJEKT	ARBEITSSCHWERPUNKTE DES FRAUNHOFER ISI	FÖRDERUNG
Roadmapping-Begleitvorhaben zur Innovationsallianz LIB 2015	Roadmapping hinsichtlich der technologie- und marktseitigen Entwicklungsmöglichkeiten für Lithium-Ionen-Batterien (LIB)	BMBF
Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR)	Projekt mit Schwerpunkt Technologie-Monitoring im Rahmen der Fördermaßnahme Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)	BMBF
Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität	Sozio-ökonomische Begleitstudie Forum Elektromobilität e. V.	BMBF
Sozialwissenschaftliche Begleitforschung der Modellregionen	Einrichtung einer sozialwissenschaftlichen Plattform, Kundenakzeptanzanalysen	BMVBS
Minimum Emission Region Mobil (MeRegioMobil)	Geschäftsmodelle, Steuerung Akzeptanz, Fokus auf Smart Home	BMW i
Flottenversuch Elektromobilität	Systemintegration von Erneuerbaren Energien durch Elektromobilität	BMU
Innovationsreport „Systembetrachtung Elektromobilität“	Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt	TAB
Vergleich von Strom und Wasserstoff als CO ₂ -freie Endenergieträger	Vergleich der genannten Endenergieträger bei mobilen und stationären Anwendungen	RWE AG
Regional Eco Mobility (REM) 2030	Entwicklung eines Konzeptes für und Umsetzung einer effizienten regionalen Individualmobilität für 2030	FhG, Land Baden-Württemberg

GLOSSAR

BEV

Engl. „battery electric vehicle“, steht für ein rein batterieelektrisch betriebenes Fahrzeug.

BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung. Im Januar 2012 geleitet von Bundesministerin Dr. Annette Schavan (CDU).

BMVBS

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Im Januar 2012 geleitet von Bundesminister Dr. Peter Ramsauer (CSU).

BMU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Im Januar 2012 geleitet von Bundesminister Dr. Norbert Röttgen (CDU).

BMWi

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Im Januar 2012 geleitet von Bundesminister Dr. Philipp Rösler (FDP).

Dezentrale Stromspeicher

Das Hauptmerkmal einer dezentralen Stromerzeugung ist, dass Energie verbrauchernah erzeugt und auch dort gespeichert wird, im privaten und im industriellen Bereich. Das Konzept gilt als modern und nachhaltig, nicht benötigte Überschüsse können in das Stromnetz eingespeist werden. Im Vergleich zu zentralen Stromspeichern haben dezentrale Stromspeicher überwiegend kleinere Größenordnungen.

EEG

Das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (auch Erneuerbare-Energien-Gesetz genannt) trat zum 1. April 2000 in Kraft und soll die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und Kernkraft in der Stromerzeugung reduzieren und damit dem Klimaschutz dienen.

E-Fahrzeuge

Siehe E-Mobile.

E-Mobile

Eine von zahlreichen, vor allem im umgangssprachlichen Bereich aufkommenden Bezeichnungen für mittels elektrischer Energie angetriebene Fahrzeuge.

EU

Die Europäische Union (EU) umfasst im Januar 2012 27 europäische Staaten mit rund 500 Millionen Einwohnern.

Euro III

Eine innerhalb der EU geltende Abgasnorm, die Richtlinie 70/220/EWG in der Fassung 98/69/EG. Sie legt fest, für welche Kraftfahrzeug- und Motortypen welche Grenzwerte für die Emission von Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxiden (NOx), Kohlenwasserstoffen (HC) und sonstigen Partikeln (PM) erlaubt sind. Die zunehmende Verschärfung dieser Grenzwerte soll innerhalb der EU dem Umweltschutz dienen und den Klimawandel weltweit verlangsamen. Für Kleinkraftträder gilt seit dem 1. Januar 2006 und damit im Moment noch die ältere Richtlinie Euro II.

Euro IV

Eine innerhalb der EU geltende Abgasnorm, die Richtlinie 70/220/EWG in der Fassung 98/69/EG. Sie legt fest, für welche Kraftfahrzeug- und Motortypen welche Grenzwerte für die Emission von Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxiden (NOx), Kohlenwasserstoffen (HC) und sonstigen Partikeln (PM) erlaubt sind. Die zunehmende Verschärfung dieser Grenzwerte soll innerhalb der EU dem Umweltschutz dienen und den Klimawandel weltweit verlangsamen.

FhG

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. ist mit mehr als 18 000 Mitarbeitern die größte Organisation für angewandte Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen in Europa und betreibt mehr als 80 Forschungseinrichtungen in Deutschland, davon 60 Fraunhofer-Institute.

Gesamt-Roadmap

Eine Variante des allgemeinen Begriffs Roadmap, in der es darum geht, eine Technologie-Roadmap und eine Produkt-Roadmap so zu integrieren, dass eine Lücke zwischen dem, was von der Technologie aus zu leisten ist und vom Markt aus gefordert wird, festzustellen ist und daraus entstehende Herausforderungen identifiziert werden können.

HEV

Engl. „hybrid electric vehicle“, steht für ein Hybridelektrofahrzeug, das von mindestens einem Elektromotor und einem weiteren Energiewandler (oftmals Benzin oder Diesel) angetrieben wird.

IT

Abkürzung für Informationstechnik.

Kfz

Abkürzung für Kraftfahrzeug.

kWh

Abkürzung für die physikalische Einheit der Kilowattstunden.

Lastmanagement

Die möglichst optimale Abstimmung des Energieangebotes, z. B. eines Kraftwerks auf die Energienachfrage durch eine zeitliche Entkopplung bzw. Speicherung überschüssig erzeugter Energie zur besseren Kapazitätsauslastung.

LKW

Abkürzung für Lastkraftwagen.

LIB

Abkürzung für das elektrochemische Energiespeicherkonzept der sogenannten Lithium-Ionen-Batterie, auch im Plural verwendet.

Li-Polymer

Steht für Lithium-Polymer-Akkumulatoren und ist damit eine Weiterentwicklung des Lithium-Ionen-Akkus, in der die Elektroden aus Graphit und Lithium-Metalloxid bestehen. Die Besonderheit besteht im nicht-flüssigen Elektrolyten auf Polymerbasis, welcher als feste bis gelartige Folie eingebaut wird.

LOHAS

Das Kürzel steht für die Kundengruppen, welche Lebensstile pflegen, in denen Gesundheit und Nachhaltigkeit im Vordergrund stehen. Engl. „lifestyle of health and sustainability“.

MWh

Abkürzung für die physikalische Einheit der Megawattstunden.

NaS

Natrium-Schwefel-Akkumulatoren, in denen Elektroden aus eben den genannten Elementen zum Einsatz kommen und als fester Elektrolyt gerne eine Natriumionen leitende Keramik oder auch Natrium- oder Magnesiumoxid verwendet wird.

NiCd

Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, in denen Elektroden aus eben den genannten Elementen zum Einsatz kommen und als Elektrolyt eine Kaliumhydroxid-Lösung verwendet wird.

Nicht-zyklische Energiespeicher

Bezeichnet die Gruppe der Energiespeicher, welche nicht in regelmäßig wiederkehrenden Rhythmen aufgeladen und entladen werden. Ihre Betriebs-Lebensdauer (Zyklusbeständigkeit) muss nicht so hoch sein wie bei zyklischen Energiespeichern, dafür aber die Kalendarische Lebensdauer.

NiMH

Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren, in denen Elektroden aus eben den genannten Elementen zum Einsatz kommen und als Elektrolyt eine Kaliumhydroxid-Lösung verwendet wird.

Notfallversorgung

Um bei Stromausfall den fortlaufenden Betrieb absolut notwendiger Einrichtungen oder Infrastrukturen sicherzustellen, werden heute praktisch immer Stromaggregate auf Verbrennungsbasis eingesetzt, um z. B. Strom bereitzustellen. Dies kann in Zukunft auch durch elektrochemische Energiespeicher geschehen.

NPE

Nationale Plattform Elektromobilität. Ein Expertengremium, welches die deutsche Bundesregierung seit Mai 2010 berät und Empfehlungen zur Verwirklichung von Elektromobilität in Deutschland ausspricht. Setzt sich zusammen aus Vertretern der Gewerkschaften, Industrie, Politik, Verbänden und Wissenschaft.

N1

Das Kürzel ist Teil der Kraftfahrzeugklassifizierung durch die EU und entspricht nach der EG-Richtlinie 70/156/EWG einem Kraftfahrzeug mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 3,5 t zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern.

ÖPNV

Abkürzung für den Öffentlichen Personennahverkehr.

Pb

Bleisäure-Akkumulatoren mit Elektroden aus Blei und Bleidioxid sowie einem Elektrolyten aus verdünnter Schwefelsäure.

PHEV

Engl. „plug-in hybrid electric vehicle“, steht für ein plug-in-hybrid-elektrisches Fahrzeug, ist ein Kraftfahrzeug mit Hybridantrieb, dessen Batterie zusätzlich über das Stromnetz extern geladen werden kann. Weil es oft eine größere Batterie aufweist als ein Hybridelektrofahrzeug, stellt es eine Art Mischform zwischen Letzterem und einem Elektroauto dar.

PKW

Abkürzung für Personenkraftwagen.

Produkt-Roadmap

Eine Variante des allgemeinen Begriffs Roadmap, in der es darum geht, die Entwicklung der Marktanforderungen z. B. an eine bestimmte Technologie zu dokumentieren.

Regelleistung

Im Falle unvorhergesehener Störungen im Stromnetz garantiert die Regelleistung die unterbrechungsfreie Versorgung der Stromkunden, z. B. durch kurzfristige Leistungsanpassungen regelfähiger Kraftwerke. In Zukunft können auch stationäre Energiespeicher auf elektrochemischer Basis dabei helfen.

RFB

Steht für Redox-Flow-Batterie, ein relativ neuartiges Akkumulatorenkonzept, welches auf der Reduktion und Oxidation bzw. dadurch entstehenden Elektronenflüssen basiert.

Roadmap

Unter einer Roadmap wird im Allgemeinen ein vorbereitender Projektplan verstanden, innerhalb welchem noch auszuführende Schritte ggf. bis weit in die Zukunft verortet werden. Es gibt verschiedene Typen von Roadmaps, z. B. die Produkt-Roadmap oder die Technologie-Roadmap. Allen Roadmaps gemein ist, dass durch ihre Erstellung Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Schritten und damit Risiken und Unsicherheiten aufgedeckt werden können.

RWE

Die RWE AG wurde bis in das Jahr 1990 Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG genannt und hat ihren Hauptsitz in Essen. Sie zählt zu den größten Energieversorgern Deutschlands.

Schwarzstart

Bei einem Schwarzstart wird ein Kraftwerk unabhängig vom Stromnetz angefahren. Weil die dafür notwendige Energie weder aus dem Kraftwerk selbst noch aus dem Stromnetz kommen kann, empfiehlt sich dafür die Nutzung großer stationärer Energiespeicher auf elektrochemischer Basis.

TAB

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät als selbstständige wissenschaftliche Einrichtung den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels.

Technologie-Roadmap

Eine Variante des allgemeinen Begriffs Roadmap, in der es darum geht, den technologischen Fortschritt zu dokumentieren.

Zentrale Stromspeicher

In diesem Fall erfolgt die Stromerzeugung zentral, z. B. in Kraftwerken aller Art, und der elektrische Strom wird dann an die dezentralen Verbraucher verteilt. Zentrale Stromspeicher sind gerne um ein Vielfaches größer als dezentrale Stromspeicher, weil sie mehr Energie speichern können müssen, falls gerade keine Nachfrage danach herrscht.

ZEV

Engl. „zero emission vehicle“, steht für ein emissionsfreies Fahrzeug.

Zyklische Energiespeicher

Bezeichnet die Gruppe der Energiespeicher, welche in regelmäßig wiederkehrenden Rhythmen aufgeladen und entladen werden. Ihre Betriebs-Lebensdauer (Zyklusbeständigkeit) muss hoch sein, damit möglichst viele Ladezyklen durchlaufen werden können. Auch die Kalendarische Lebensdauer sollte wie bei nicht-zyklischen Energiespeichern hoch sein.

3,5 t

Mit der Mengenangabe werden in der Roadmap Kleintransporter bis zu und mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen bezeichnet.

7 t

Mit der Mengenangabe werden in der Roadmap Kleintransporter bis zu und mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 7 Tonnen bezeichnet.

QUELLEN

¹ Wietschel et al. (2010): Energiespeichertechnologien 2050. Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung (Technologienbericht). Fraunhofer ISI, Karlsruhe – Seite 523.

² Nationale Plattform Elektromobilität (NPE, 2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, Berlin – Seite 19.

³ Angerer et al. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Fraunhofer ISI, Karlsruhe – Seite 171.

TECHNOLOGIE-ROADMAPPING AM FRAUNHOFER ISI: KONZEPTE – METHODEN – PRAXISBEISPIELE

Bereits in der Schriftenreihe erschienen



Nr. 1 | 1. Auflage
Juni 2010
Technologie-Roadmap
Lithium-Ionen-Batterien 2030



Nr. 2 | 1. Auflage
August 2010
Wind-Tunnel Technology
Roadmap and Analysis of the
Innovation within the field



Nr. 3 | 1. Auflage
Januar 2012
Roadmap zur Kunden-
akzeptanz
(Kundenakzeptanz und
-anforderungsprofil)

IMPRESSUM

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für System-
und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
info@isi.fraunhofer.de
www.isi.fraunhofer.de
Projektleitung: Dr. Axel Thielmann

Förderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat 511, Neue Werkstoffe, Nanotechnologie
53170 Bonn
www.bmbf.de
Projektbetreuung: Ingo Höllein

Projekträger

Projekträger Jülich
Geschäftsbereich Neue Materialien und Chemie, NMT
52425 Jülich
www.fz-juelich.de
Projektbetreuung: Dr. Andreas Volz

Autoren

(Alle im Folgenden genannten Personen sind zum Zeitpunkt
der Erstellung und Veröffentlichung der vorliegenden Bro-
schüre am Fraunhofer ISI angestellt.)

Dr. Axel Thielmann
Telefon +49 721 6809-299, Fax +49 721 6809-315
axel.thielmann@isi.fraunhofer.de

Andreas Sauer
Telefon +49 721 6809-458, Fax +49 721 6809-315
andreas.sauer@isi.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. habil. Ralf Isenmann
Telefon +49 721 6809-393, Fax +49 721 6809-330
ralf.isenmann@isi.fraunhofer.de

Prof. Dr. Martin Wietschel
Telefon +49 721 6809-254, Fax +49 721 6809-272
martin.wietschel@isi.fraunhofer.de

Dr. Patrick Plötz
Telefon +49 721 6809-289, Fax +49 721 6809-272
patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de

Schriftenreihe des Fraunhofer ISI

ISSN 2192-3981
e-ISSN 2192-3973
Nr. 4 | 1. Auflage
Februar 2012
Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030
1. Auflage: 2000 Stück

Gestaltung

MarketingConsulting Liljana Groh, Karlsruhe

Illustrationen

Heyko Stöber, Hohenstein

Druck

E&B engelhardt und bauer Druck
und Verlag GmbH, Karlsruhe

Bestellung

Fraunhofer-Institut für System-
und Innovationsforschung ISI
Competence Center Neue Technologien
Dr. Axel Thielmann
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 6809-299
Fax +49 721 6809-315
axel.thielmann@isi.fraunhofer.de
www.isi.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Institut für System-
und Innovationsforschung ISI,
Karlsruhe 2012

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI analysiert die Rahmenbedingungen von Innovationen. Wir erforschen die kurz-, mittel- und langfristigen Entwicklungen von Innovationsprozessen und die gesellschaftlichen Auswirkungen neuer Technologien und Dienstleistungen. Auf dieser Grundlage stellen wir unseren Auftraggebern aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft Handlungsempfehlungen und Perspektiven für wichtige Entscheidungen zur Verfügung. Unsere Expertise liegt in der breiten wissenschaftlichen Kompetenz sowie einem interdisziplinären und systemischen Forschungsansatz.

Mit momentan 230 Mitarbeitern in den Bereichen Wissenschaft, Technik und Verwaltung bieten wir ein kompetentes, hoch motiviertes Team, das den vielfältigen Anforderungen unserer Auftraggeber mit wissenschaftlicher Kompetenz und einem systemischem Forschungsansatz gerecht wird. Über 350 Projekte im Jahr 2011 sind Ausdruck unserer erfolgreichen Arbeit.

