

Neueste Szenarien zum Rohstoffbedarf der Elektromobilität und Recyclingpotential zur Bedarfsbefriedigung

Peter Dolega

1.	Entwicklungsszenarien der Elektromobilität	436
1.1.	Übersicht über aktuelle Mobilitätsszenarien	436
1.2.	Methodik	436
1.3.	Ergebnisse	437
2.	Rohstoffbedarf der Lithium-Ionen-Zellen.....	439
2.1.	Lithium	440
2.2.	Kobalt.....	442
2.3.	Nickel.....	444
3.	Einordnung der Rohstoffbedarfe für Traktionsbatteriezellen.....	445
4.	Literatur.....	446

Der weltweite Anstieg von Verkaufszahlen elektrisch angetriebener Fahrzeuge sowie Prognosen über den weiteren Marktverlauf implizieren unterschiedliche Herausforderungen. Insbesondere die Nachfrageentwicklung der benötigten Schlüsselrohstoffe ist häufig Gegenstand kontroverser Diskussionen. Im Fokus liegen vor allem Lithium und Kobalt, deren Förderung von unterschiedlichen ökologischen und sozialen Herausforderungen begleitet ist. Zunehmend gewinnt aufgrund des Trends zu kobaltärmeren Kathoden, auch Nickel mehr Aufmerksamkeit.

Das Öko-Institut hatte im Herbst 2017 in einer umfassenden Arbeit für die Agora Verkehrswende Rohstoffbedarfe errechnet und Empfehlungen für eine optimierte und gleichzeitig umweltgerechte und sozialgerechte Rohstoffversorgung formuliert [5].

Im Rahmen des BMBF geförderten Projekts Fab4Lib werden basierend auf neuesten globalen Mobilitätsszenarien sowie aktuellen Entwicklungen im Bereich der Lithium-Ionen-Zellen Rohstoffszenarien für die Elektromobilität erneut berechnet. Dieser Beitrag beruht auf diesen Ergebnissen.

Für die Stützjahre 2016, 2030 und 2050 werden globale Rohstoffbedarfe für Lithium-Ionen-Zellen ermittelt. Darüber hinaus werden für Lithium, Kobalt und Nickel soziale und ökologische Probleme bei der Primärförderung skizziert sowie Recyclingpotentiale näher beleuchtet, welche eine wesentliche Rolle bei der Entlastung auf der Primärförderseite spielen. Aufgrund der hohen Entwicklungsdynamik im Elektromobilitätssektor und den damit verbundenen Wertschöpfungsketten ist eine regelmäßige Aktualisierung von Rohstoffszenarien notwendig.

1. Entwicklungsszenarien der Elektromobilität

Um eine möglichst akkurate Hochrechnung von Rohstoffbedarfen der Batteriezellenproduktion zu ermöglichen, werden Mobilitätsszenarien mit einer hohen Detailtiefe benötigt, die mit Annahmen zu Batteriezusammensetzungen verrechnet werden.

In dieser Arbeit wird auf globale Mobilitätsszenarien aufgebaut, die von der International Energy Agency (IEA) veröffentlicht wurden [17]. In dieser Arbeit werden nur Rohstoffbedarfe im Bereich der Straßenverkehrsmittel erfasst. Andere Applikationen von Lithium-Ionen-Batterien, beispielsweise im portablen Bereich werden nicht betrachtet. Zudem werden aufgrund der schwierigen Prognose, Technologien, die sich disruptiv auf den Markt auswirken können (z.B. Feststoffbatterien), nicht berücksichtigt. Dementsprechend wird unterstellt, dass über den betrachteten Zeitraum die Lithium-Ionen-Technologie marktführend bleibt.

1.1. Übersicht über aktuelle Mobilitätsszenarien

Diverse Institute und Unternehmen publizieren regelmäßig Szenarien zur Entwicklung des Verkehrssektors und adressieren dabei auch die Entwicklung von Elektrofahrzeugen [vgl. 3, 4, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 22]. Die Publikationen setzen unterschiedliche Schwerpunkte und unterscheiden sich beispielsweise in den zugrundeliegenden Annahmen und Zielen, den betrachteten Zeithorizonten sowie hinsichtlich ihrer Detailtiefe. Weiterhin werden teilweise unterschiedliche geographische Räume berücksichtigt oder nur bestimmte Fahrzeugsegmente betrachtet.

Eine belastbare Abschätzung hinsichtlich des Rohstoffbedarfs von Elektrofahrzeugen erfordert detailliert aufgeschlüsselte, globale Szenarien. Insbesondere die Unterscheidung nach Fahrzeugtypen (z.B. Busse, Pkw oder Motorräder) sowie Antrieb (z.B. vollelektrisch, Hybrid oder Brennstoffzelle) sind notwendig, um die unterschiedlich dimensionierten Batterien und deren Rohstoffbedarfe abzubilden.

Die Daten der IEA entsprechen diesen Kriterien und sind zudem überwiegend frei zugänglich, sodass auf deren Basis Szenarien für den Rohstoffbedarf berechnet werden.

1.2. Methodik

Die verwendeten Daten der IEA beziehen sich auf den Fahrzeugbestand im jeweiligen Jahr. Um den gesamten jährlichen CO_2 -Ausstoß einer Fahrzeugflotte zu berechnen ist diese Darstellung ideal. Für die Berechnung des jährlichen Rohstoffbedarfs hingegen werden auch jährliche Zulassungs- oder Verkaufszahlen benötigt.

In dieser Arbeit werden anhand von drei Stützjahren (2016, 2030, 2050) die Verkaufszahlen von Fahrzeugen und die damit entstehenden Rohstoffordernisse betrachtet. Im Basisjahr wurden die Verkaufszahlen weitestgehend durch verfügbare Statistiken ermittelt und durch Expertenschätzungen ergänzt. Die Verkaufszahlen für die Stützjahre 2030 und 2050 wurden aus den Bestandszahlen der IEA ermittelt. Hierbei wurden für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen spezifische mittlere Lebensdauern angenommen und mithilfe einer Gauß-Verteilung die jährlichen Verkaufszahlen aus dem Bestand ermittelt.

Das betrachtete B2DS-Szenario bildet die Ambitionen des Pariser Abkommens ab und hat einen maximalen globalen Durchschnittstemperaturanstieg von 1,75 °C bis zum Jahr 2100 zum Ziel [17].

1.3. Ergebnisse

Bild 1 zeigt die prognostizierte Entwicklung von PKW nach dem B2DS-Szenario. Im linken Teil des Bildes sind die globalen Verkaufszahlen und im rechten Teil sind die globalen Bestandszahlen zu sehen. Die Fahrzeuge werden farblich nach dem Antrieb unterschieden. Es werden Verbrennungsmotoren (ICE), Hybrid-PKW (HEV), Plug-in-Hybride (PHEV), vollelektrische PKW (BEV) sowie Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) betrachtet.

Im Startjahr 2016 umfasst die globale Fahrzeugflotte knapp 1,1 Milliarden PKW, welche fast ausschließlich mit konventionellen Verbrennungsmotoren angetrieben werden. Im Verkauf spielen alternativer Antriebe mit einem Anteil von knapp 4 % bereits eine größere Rolle.

2030 sinkt der Verkauf konventioneller Antriebe gegenüber 2016, während es einen signifikanten Zuwachs an alternativen Antrieben gibt. Vor allem vollelektrische Antriebe und Plug-in-Hybride erreichen deutliche Absatzzuwächse. Von den etwa 90 Millionen PKW-Verkäufen sind knapp die Hälfte alternative Antriebe. Der globale PKW-Bestand steigt auf über 1,5 Milliarden Fahrzeuge, davon sind etwa 20 % vollelektrisch oder Hybride.

Im letzten Betrachtungsjahr 2050 steigt die Bedeutung elektrischer Antriebe gegenüber 2030 nochmal entscheidend an. Insgesamt werden im Jahr 2050 über 130 Millionen PKW verkauft – keines davon mit konventionellem Antrieb. Die globale Flotte wächst auf fast 2 Milliarden PKW an, von denen mehr als drei Viertel über alternative Antriebe verfügen, Verbrennungsmotoren machen nur noch etwa ein Viertel des Bestandes aus.

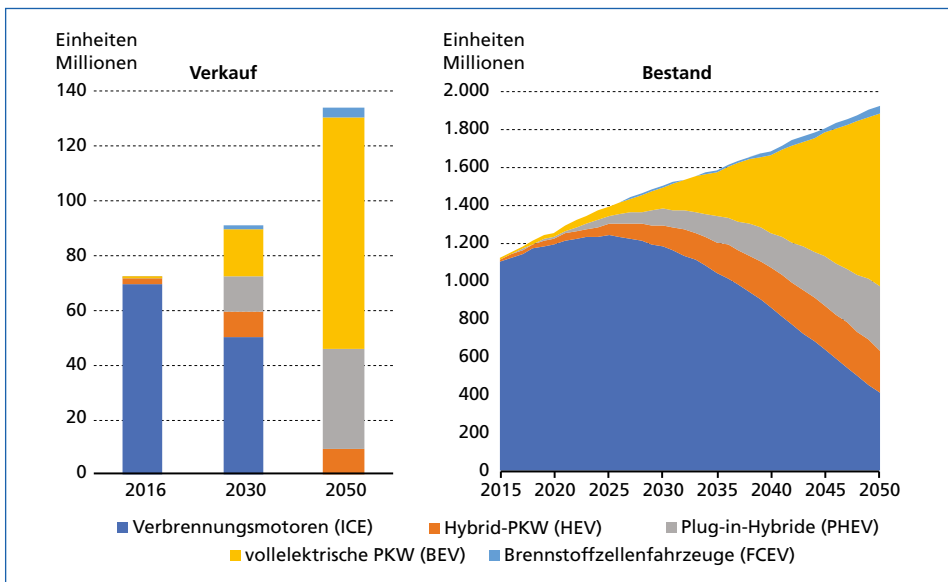


Bild 1: Entwicklung der Verkaufs- (links) und Bestandszahlen (rechts) von PKW nach dem B2DS-Szenario

Zur Berechnung des gesamten jährlichen Rohstoffbedarfs für Batteriezellen werden neben den PKW auch Szenarien für die Fahrzeugtypen Pedelecs, Krafträder, Busse, Minibusse sowie schwere LKW (HFT; über 15,5 t Gesamtfahrzeuggewicht) und leichte LKW (MFT; 3,5 bis 15,5 t) benötigt. In Bild 2 sind analog zu den PKW die Verkaufszahlen der einzelnen Typen nach Antrieben für die Jahre 2016, 2030 und 2050 dargestellt.

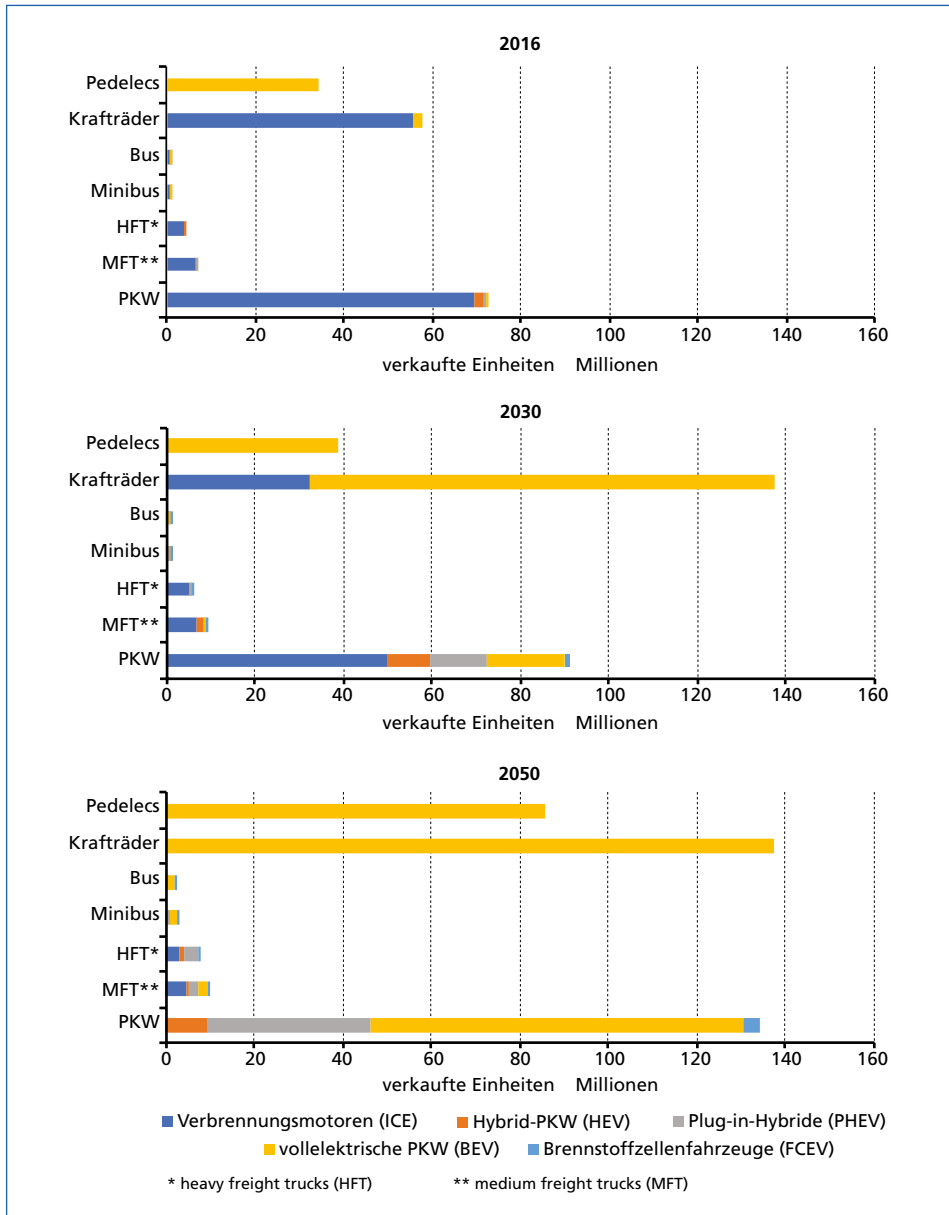


Bild 2: Entwicklung der Verkaufszahlen im B2DS Szenario nach Typ und Antrieb

Im Startjahr 2016 sind die im Vergleich am häufigsten verkauften Fahrzeugtypen PKW mit etwas mehr als 70 Millionen Einheiten, gefolgt von Krafträdern mit fast 60 Millionen verkaufter Einheiten und etwa 43 Millionen Pedelecs. Schwere und leichte LKW kommen auf etwa 10 Millionen verkaufte Einheiten während Busse und Minibusse zusammen knapp unter einer Million verkaufter Einheiten bleiben. Bei den verkauften Antrieben überwiegen die Verbrenner deutlich. Bei Krafträdern und PKW werden geringfügige Absätze alternativer Antriebe, vor allem von Hybriden verzeichnet. Einzig bei den Bussen spielen batterieelektrische Antriebe eine wichtige Rolle. Vor allem durch den Absatzmarkt in China sind fast ein Drittel der verkauften Busse im Jahr 2016 vollelektrisch [18].

Im Stützjahr 2030 findet eine dynamische Entwicklung statt, vor allem bei den Krafträdern steigt die Nachfrage deutlich auf fast 140 Millionen verkaufter Einheiten an, von denen fast 80 % vollelektrisch sind. Pedelecs verzeichnen eine geringfügigen Zuwachs. Hybride und Plug-in Hybride werden bei LKW zunehmend nachgefragt und bei den Bussen setzt sich der Trend zu alternativen Antrieben weiter fort.

Im letzten Betrachtungsjahr 2050 sind in allen Fahrzeugsegmenten batterieelektrische Antriebe dominierend. Konventionelle Antriebe werden bei den Fahrzeugtypen PKW, Bus, Minibus, und Krafträdern nicht mehr verkauft. LKW sind ebenfalls zunehmend von alternativen Antrieben geprägt, insbesondere Oberleitungs-LKW mit Plug-In-Antrieb werden nachgefragt. Weniger als die Hälfte der LKW sind mit konventionellen Antrieben ausgestattet.

Insgesamt zeichnet sich also über das B2DS-Szenario ein rasanter Anstieg elektrischer Antriebe ab. Insbesondere vollelektrische Antriebe gewinnen schnell an Bedeutung im PKW-, Bus- und Kraftrad-Segment. Generell ist mit rapide steigenden Verkaufszahlen elektrischer Fahrzeuge in allen Segmenten zu rechnen.

2. Rohstoffbedarf der Lithium-Ionen-Zellen

Die hier präsentierten Entwicklungsszenarien des Verkehrssektors prognostizieren einen rasanten Anstieg elektrisch angetriebener Fahrzeuge. Im folgenden Kapitel werden die korrespondierenden Nachfrageentwicklungen für die Schlüsselrohstoffe Lithium, Kobalt und Nickel skizziert. Die Rohstoffe werden durch ihre Nutzung als Kathodenmaterial bei der Zellherstellung einen starken Nachfragezuwachs erfahren, der zum Teil deutlich über der heutigen Primärförderung liegt. Neben der Rohstoffversorgung werden ökologische und soziale Herausforderungen umrissen und Recyclingpotentiale thematisiert, welche zu einer deutlichen Dämpfung der Nachfrage nach primär gefördertem Material führen können.

In Absprache mit Experten und den aktuellsten Literaturwerten wurden Annahmen zur Entwicklung der künftigen Marktanteile unterschiedlicher Batterietypen getroffen. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf Lithium-Ionen-Batterien. Andere Speichertechnologien wie bspw. Feststoffbatterien werden nicht berücksichtigt, da aufgrund der schwer zu prognostizierenden Marktreife gegenwärtig kein Markteintritt absehbar ist.

2.1. Lithium

Lithium-Ionen-Batterien hängen wesentlich von dem im Namen enthaltenen Element Lithium ab. Über die letzten Jahre gewann Lithium immer mehr an Bedeutung im Anwendungsbereich der Batterien. Seit 2015 ist das Hauptanwendungsfeld des Elements im Batteriesektor. Im Jahr 2017 wurde mehr als die Hälfte des Lithiums in Batterien verwendet. Neben Batterien geht etwa ein Drittel in die Keramik- und Glasproduktion, weitere wichtige Felder sind Schmierfette und die Polymerherstellung [29].

Bild 3 zeigt die die Nachfrageentwicklung nach Lithium für Traktionsbatteriezellen im Verkehrssegment und stellt diese der Primärförderung im Jahr 2016 gegenüber. Im ersten Betrachtungsjahr werden etwa 10.000 t Lithium für elektrische Antriebe benötigt. Dies entspricht etwa einem Viertel der Primärförderung von 38.000 t in 2016. Im Jahr 2030 steigt der Bedarf deutlich an und erreicht etwa 240.000 t, von denen 10 % über Recyclingmaterial gedeckt werden könnten. Bis 2050 steigt der jährliche Lithiumbedarf auf 1,1 Millionen Tonnen. Der Bedarf an primär gewonnenem Material könnte durch konsequente Sammlung und Recycling von Altbatterien um 40 % gepuffert werden.

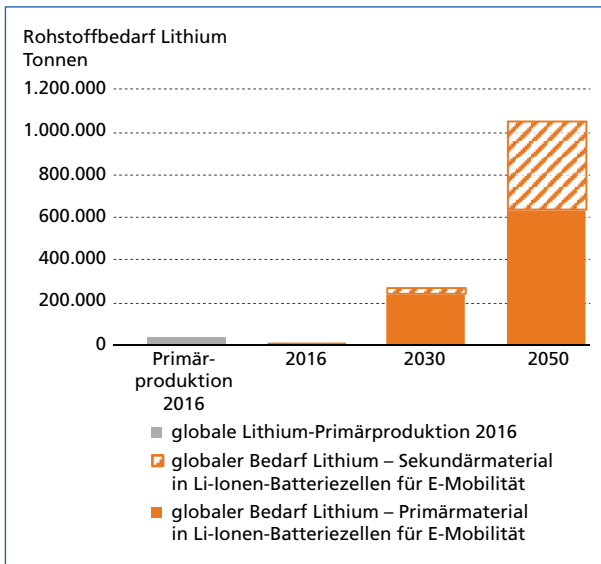


Bild 3:

Rohstoffbedarf für Lithium im B2DS-Szenario

Produktion, Reserven und Ressourcen

Aktuell wird Lithium aus zwei sehr unterschiedlichen Lagerstätten gewonnen. Etwa die Hälfte des weltweiten gewonnenen Lithiums stammt aus dem Festgesteinstagbergbau in Australien, China, Simbabwe, Portugal und Brasilien. Die andere Hälfte wird aus Salzwasserseen bzw. Salaren in Chile, Argentinien, China und den USA gewonnen [19].

Vier Unternehmen dominieren fast 90 % der globalen Produktion 2016: Talison Lithium (Australien) 39,8 %; SQM (Chile) 22 %; Albemarle (USA) 16,2 %; FMC (USA) 9,7 %) [24]. Darüber hinaus spielt China eine zunehmend stärkere Rolle, so hat das

chinesische Unternehmen Tianqi zuletzt einen Anteil von 24 % an SQM erworben, zudem liegt eine 50 prozentige Beteiligung an der größten australischen Lithium-Mine Greenbushes vor [22].

Entsprechend der präsentierten Elektromobilitätsszenarien wird bis 2030 sechs Mal mehr Lithium für Traktionsbatterien benötigt, als 2016 primär gefördert wurden, bis 2050 sogar 27 Mal mehr. Häufig wird aufgrund dieses prognostizierten rasanten Anstiegs die Frage nach der Rohstoffverfügbarkeit gestellt. Nachfolgend werden daher kurz verfügbare Reserven und Ressourcen beleuchtet.

Etwa drei Viertel der weltweit verfügbaren Lithiumreserven befinden sich in Salzseen. Diese sind im Vergleich mit Festgesteinslagerstätten zwar kapitalintensiver und können langsamer auf Marktbedingungen reagieren, haben aber niedrigere Förderkosten und können einfacher skaliert werden [24]. Die Salzseen liegen vor allem in Südamerika im *Lithium-Dreieck* – Argentinien, Chile und Bolivien. Die weltweit größten Lithium-Ressourcen befinden sich in sechs großen Salzseen in Argentinien und im bolivianischen Salar de Uyuni [14, 28, 29].

Die vom USGS veröffentlichten Reserven für 2018 (16 Millionen t) sind fast viermal so hoch wie die vor zehn Jahren veröffentlichten [27, 29]. Dies deutet darauf hin, dass der steigende Lithiumbedarf mit hohen Explorationsaufwendungen verbunden ist. Das Budget für die Exploration in Lithium-Projekten ist deutlich gestiegen. Marktuntersuchungen von S&P zeigen, dass 2017 die Ausgaben für Lithiumexploration viermal so hoch waren wie zwei Jahre zuvor. Zudem hat sich die Anzahl der Explorationsunternehmen in der gleichen Zeitspanne versechsfacht [7].

Werden die Reserven von 16 Millionen t mit dem prognostizierten Jahresbedarf von 1,1 Millionen t Lithium für 2050 verglichen, scheint der Vorrat tendenziell knapp zu sein. Beim Berücksichtigen der verfügbaren Ressourcen von 53 Millionen t relativiert sich dies jedoch.

Soziale und ökologische Herausforderungen

Der stark steigende Abbau des Rohstoffs bedeutet auch einen Eingriff mit Umwelt- und Sozialfolgen, welcher im Falle von Lithium je nach Art des Abbaus sehr unterschiedlich sein kann.

Mehr als 40 % der heutigen Lithiumproduktion stammt aus dem Festgesteinsbergbau. Vor allem das Mineral Spodumen wird in Australien im Tage- und Untertagebau gewonnen. Die damit verbundenen Umweltauswirkungen sind ähnlich wie bei der Gewinnung und Raffination anderer Erze. Insbesondere entstehen potentiell Risiken für die Biodiversität, Belastung durch Staub- und Lärmentwicklung, Schwermetallbelastung etc. [8]. Allerdings ist davon auszugehen, dass aufgrund der strengen Umweltschutzgesetze in Australien entsprechende Standards angewendet werden und somit die Risiken begrenzt sind. In China sind auch einige Lithiumreserven verortet, beispielsweise in Tibet [26]. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass Best-Practise im Bergbau wie bspw. in Australien oder Kanada in Tibet bereits Realität ist. Allerdings befindet sich Chinas Bergbauindustrie derzeit im Wandel, der Green Mining Standard soll künftig zu höheren Umweltstandards in der Industrie führen [vgl. 10].

Die Gewinnung des Rohstoffs aus Salzseen wird medial deutlich häufiger thematisiert. Die Hauptproblematik beim Abbau liegt, darin, dass die Lagerstätten sich in Salzseen in extrem ariden Gebieten befinden. Die Extraktion erfolgt durch das Hochpumpen von Sole in Evaporationsbecken, wo die anschließende Konzentration und Ausfällung verschiedener Salze im Zuge der Verdunstung stattfindet. Das verdampfte Wasser wird den lokalen Wasserkreisläufen entzogen und beeinflusst die Hydrologie der regionalen und überregionalen Gebiete [23]. Der spezifische Wasserverbrauch im Erzbergbau liegt in der Größenordnung von 100 bis 500 m³/t Metall bei einem Metallgehalt von 1 % [13]. Bei Salzseen liegt der Wert beispielsweise im Salar de Olavorz in Argentinien bei rund 1.400 m³ Wasser für 1 Tonne Lithium – ohne zusätzliche Wasseraufbereitung für weitere Prozessschritte [24]. Weitere Nachteile ergeben sich durch die lange Prozessdauer der Verdampfung die etwa 18 Monate dauert sowie Verluste durch Staubverwehung [9].

2.2. Kobalt

Batterien entwickelten sich ähnlich wie bei Lithium zum Hauptanwendungsgebiet für Kobalt. Etwa 50 % des Bedarfs entfallen auf diese Anwendung, zudem sind weitere Wichtige Applikationen Superlegierungen und Industriekatalysatoren [5].

Bild 4 zeigt analog zu Bild 3 nun die Rohstoffbedarfe für Kobalt. Im Startjahr 2016 beträgt der Bedarf knapp 20.000 t und steigt bis 2030 auf etwa 400.000 t an. Im letzten Betrachtungsjahr 2050 wird ein Bedarf von knapp über 800.000 t prognostiziert. Die Primärförderung 2016 betrug etwa 110.000 t. Es wird deutlich, dass auch bei Kobalt ein signifikanter Nachfrageanstieg zu erwarten ist.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass mit hohen Sammel- und Rückgewinnungsquoten im Jahr 2030 ein Zehntel des Bedarfs über Recycling befriedigt werden kann. Bis 2050 steigt der Anteil bis auf 40 % an, dementsprechend spielt das Recycling aus strategischer Sicht eine wesentliche Rolle.

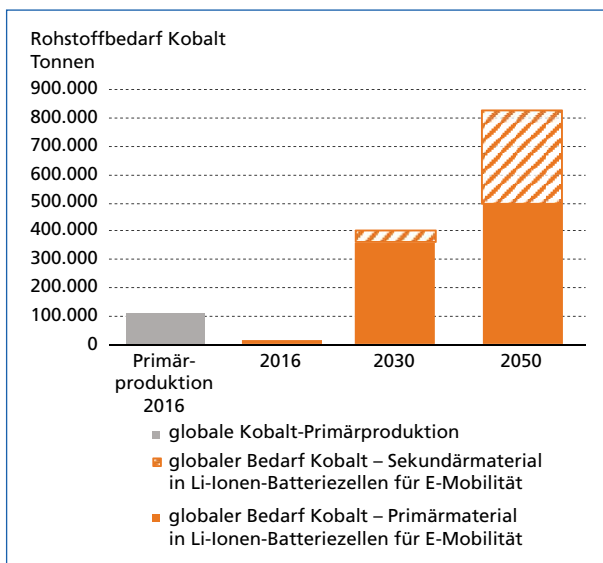


Bild 4:

Rohstoffbedarf für Kobalt im B2DS-Szenario

In den Szenarien ist bereits berücksichtigt, dass der sich heute abzeichnende Trend hin zu Kobaltärmeren Varianten der NMC-Lithium-Ionen-Zellen (NMC = Nickel-Mangan-Kobalt) fortgeführt wird. Dementsprechend findet bis zum Ende des Szenarios eine Entwicklung von NMC 1:1:1 über NMC 6:2:2 zu NMC 8:1:1 und langfristig zu NMC 90:5:5. Ohne diese Tendenz würde der Bedarf nach Kobalt für Traktionsbatterien noch signifikant höher ausfallen.

Produktion, Reserven und Ressourcen

Die Minenproduktion von Kobalt summiert sich im Jahr 2016 auf rund 110.000 t dabei ist es in den meisten Lagerstätten mit Kupfer und Nickel vergesellschaftet [29]. Nur eine industrielle Mine in Marokko fördert Kobalt als Hauptprodukt und steuert etwa 2 % der Weltproduktion bei, weiterhin wird etwa 44 % jeweils als Nebenprodukt aus Kupfer- und Nickelminen gefördert. Der Rest wird vor allem im Kleinbergbau in der Demokratischen Republik Kongo gewonnen (11 %) [25]. Im Kongo werden zudem insgesamt die größten Mengen gefördert, etwa 58 % der Weltförderung in 2016, wobei der wesentliche Anteil (etwa 80 %) in industriellen Kupfer-Kobalt Minen abgebaut wird. Die globalen Raffineriekapazitäten hingegen werden stark von China (46 %) dominiert. In Europa sind zudem etwa 23 % der weltweiten Raffineriekapazitäten installiert [29].

Auch bei den Reserven spielt die Demokratische Republik Kongo eine wesentliche Rolle, rund die Hälfte der 7 Millionen t an Reserven sind hier verortet. Global gesehen werden gegenwärtig mehr als 25 Millionen t Kobaltressourcen ausgewiesen, wobei auch hier mit etwa zwei Dritteln wesentliche Anteile auf den Kongo entfallen [29].

Die starke Konzentration der Produktion, Reserven und Ressourcen auf die Demokratische Republik Kongo gepaart mit der instabilen politischen Lage im Land können zu Bedenken hinsichtlich der Versorgung führen. Es ist davon auszugehen, dass im Zuge von Explorationsbemühungen keine physischen Verknappungen zu erwarten sind, temporäre Verknappungen sind aber nicht auszuschließen.

Soziale und ökologische Herausforderungen

Im vorangegangenen Kapitel wurde mit dem Kleinbergbau eine der wesentlichen sozialen Herausforderungen der Kobaltförderung angerissen. Der Kleinbergbau im Kongo ist an sehr schlechte Arbeitsbedingungen und Sicherheitsstandards geknüpft, zudem stellt Kinderarbeit ein wesentliches Problem dar. Schätzungen gehen von bis zu 150.000 Arbeitern im regionalen Kobaltkleinbergbau aus [2]. Zunehmend wird die Unternehmensverantwortung im downstream Bereich thematisiert, die vor allem auch Unternehmen entlang der Lieferkette von Elektrofahrzeugen betrifft [1]. Die Unternehmen stehen unter zunehmenden öffentlichen Druck eine nachhaltige Rohstoffförderung in ihren Lieferketten sicherzustellen. Der zunächst am einfachsten erscheinende Weg, den Kauf von Kobalt aus dem Kongo zu vermeiden, ist jedoch kein realistisches und wünschenswertes Szenario. Aufgrund der bereits beschriebenen hohen Produktions- und Reservenkonzentration, ist ein Ausweichen auf andere Länder nur bedingt möglich. Vor allem aber werden die Probleme in der Demokratischen Republik Kongo durch Ausweichen auf andere Anbieter nicht gemildert.

Dementsprechend sollten Unternehmen ein aktives Engagement im Rahmen ganzheitlicher Ansätze im Land in Betracht ziehen, um die lokalen Arbeitsbedingungen und die Beseitigung von Kinderarbeit durch Unterstützung von Familien (stabiles Haushaltseinkommen, Bildung usw.) zu fördern [5, 24].

2.3. Nickel

Im Vergleich mit Kobalt und Lithium spielen gegenwärtig Batterieanwendungen im Falle von Nickel eine verhältnismäßig geringe Rolle. Die Anwendung als Legierungselement in der Stahlindustrie trägt zu etwa zwei Dritteln der Nachfrage nach dem Rohstoff bei. 2016 betrug die Minenproduktion knapp über 2 Millionen t Nickel. Demgegenüber gestellt ist ein Bedarf von lediglich 21.000 t für Traktionsbatteriezellen (Bild 5) [29]. Allerdings steigt der Bedarf sehr dynamisch an, zum einen wegen dem allgemeinen Trend hin zu elektrischen Antrieben, aber auch wegen den bevorzugten Varianten der NMC Batterie mit weniger Kobalt (und damit mehr Nickel). 2030 liegt der Bedarf bereits bei etwa 1,4 Millionen t und 2050 über 7 Millionen t. Bei guter Sammlung und einem konsequenten Recycling, kann davon ausgegangen werden, dass 2030 etwa 10 % und 2050 etwa 40 % des Bedarfs aus sekundären Quellen gedeckt werden könnten.

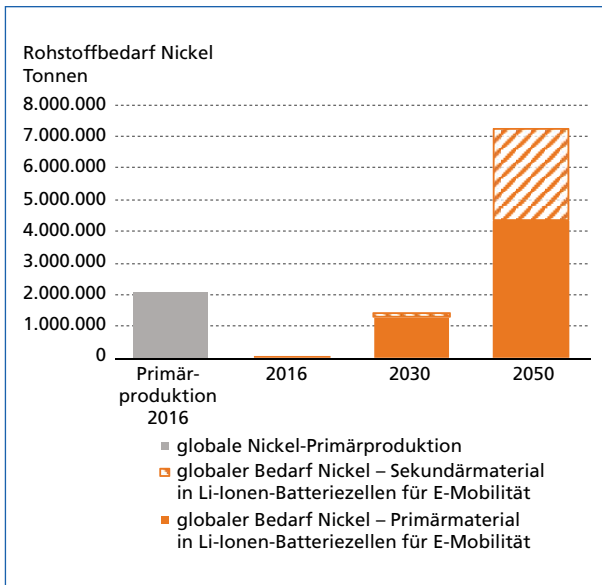


Bild 5:

Rohstoffbedarf für Nickel im B2DS-Szenario

Reserven und Ressourcen

Die bergbauliche Produktion von Nickel ist auf viele Staaten verteilt. Mit etwa 350.000 t waren die Philippinen der größte Nickelproduzent 2016 und produzierten etwa ein Viertel des globalen Outputs. Daneben sind Russland, Kanada und Australien wichtige Bergbauländer [29]. Damit liegt keine starke Konzentration auf wenige Länder oder geographische Regionen vor.

Auch bei den Reserven ist eine Streuung erkennbar, etwa ein Viertel der Reserven liegen in Australien und etwa ein Zehntel in Russland und Brasilien. Der Rest verteilt sich auf eine Vielzahl von Ländern. Mit 74 Millionen t liegen die Reserven auch deutlich über den erwarteten Bedarf [29].

Dementsprechend ist nicht davon auszugehen, dass es zu einer Versorgungsknappheit oder gar zu einer physischen Verfügbarkeitslimitierung kommt.

Soziale und ökologische Herausforderungen

Umweltauswirkungen des Nickelbergbaus unterscheiden sich stark nach der Art des abgebauten Erzes. Das Element wird aus sulfidischen Erzen und aus lateritischen Lagerstätten zu gleichen Teilen gewonnen. Sulfidische Erze enthalten Schwefel, welches im Zuge der Erzaufbereitung, Zerkleinerung und Aufmahlung mobilisiert wird. Durch die vergrößerte Reaktionsoberfläche kann Schwefel mit Sauerstoff reagieren und Schwefelsäure bilden. Dadurch entsteht *Acid Mine Drainage*, also saure Grubenwässer, die zum einen den pH-Wert von Gewässern absenken können und zudem Schwermetalle lösen und diese in der Umwelt verteilen.

Nickel aus lateritischen Lagerstätten liegt oberflächennah vor und wird daher im Tagebau gefördert. Aufgrund höherer Feuchtigkeit im Erz ist der Energieaufwand höher als bei sulfidischen Erzen. Zudem ist das Treibhausgaspotential lateritischer Erze bis zu vier Mal so hoch wie das sulfidischer [5].

Bei beiden Lagerstättentypen wird in der Raffination und Aufbereitung Schwefeldioxid ausgestoßen, welches sauren Regen hervorrufen kann. Optimierung in der Aufbereitung können zu einer signifikanten Reduktion des Schwefeldioxids beitragen [21].

3. Einordnung der Rohstoffbedarfe für Traktionsbatteriezellen

Die laut dem B2DS-Szenario zu erwarteten Hochlaufzahlen von Elektrofahrzeugen unterstreichen, dass von einem deutlichen Anstieg bei den Rohstoffen Lithium, Kobalt und Nickel auszugehen ist. Ferner gilt dies auch für die in dieser Arbeit nicht thematisierten Rohstoffe Graphit, Silizium und Kupfer. Graphit wird für die Anode von Lithium-Ionen-Zellen benötigt welche künftig wahrscheinlich auch Silizium enthalten werden.

Die Betrachtung der projizierten Bedarfe in Gegenüberstellung aktueller Förderung und der Reserven zeigt, dass zum Teil temporäre Verknappungen von Schlüsselrohstoffen möglich sind. Ein wesentlicher Beitrag zur Entlastung der primären Nachfrage und damit auch dem Vermeiden potentieller Umwelt- und Sozialwirkungen kann vom Recycling geleistet werden. Die Bereitstellung von Schlüsselrohstoffen aus dem Recycling von Traktionsbatterien muss als zusätzliches Standbein für die Rohstoffversorgung strategisch verstanden werden. Insbesondere in Europa, als einer der Hauptabsatzmärkte für Elektrofahrzeuge, werden potentiell große Sekundärrohstoffquellen für Lithium, Kobalt, Nickel etc. auf den Straßen unterwegs sein.

Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien sind mittlerweile zunehmend etabliert. In der Vergangenheit zielten Recyclingverfahren vor allem auf teure Metalle wie Kobalt und Nickel ab. Aufgrund des geringen Lithiumpreises wurde Lithium bis

in die jüngere Vergangenheit nicht recycelt und war Teil der Schlackenfraktion [5]. Seit Ende 2017 wird nach Informationen von Umicore die lithiumhaltige Schlacke aus deren Recyclingprozess an einen externen Prozess zur Lithiumrückgewinnung überführt. Steigende Lithiumpreise und der Aufbau von Recyclingkapazitäten sind ein wesentlicher Treiber für die Rückgewinnung des Lithiums.

Durch die hohen Kobaltpreise ist das Recycling bereits etabliert. Die Rückgewinnung aus Katalysatoren, Superlegierungen und Batterien ist bereits gängige Praxis [24]. Nickel wird heute ebenfalls recycelt, beispielsweise aus Edelstählen [5].

Umwelt- und Sozialprobleme bei der primären Rohstoffgewinnung wurden kurz skizziert. Bei einem starken Anstieg der Nachfrage sind auch entsprechende Maßnahmen auf Seiten der Industrie zu erwarten, um die Probleme einzudämmen. Die Entwicklung in diese Richtung gestaltet sich gegenwärtig positiv. Das Bewusstsein sozialökologischer Herausforderungen entlang der Lieferketten und insbesondere bei der Gewinnung ist weltweit gestiegen und führte zur Gründung einer Reihe von Initiativen. Um nur zwei Beispiele zu nennen: die im Februar 2017 gegründete Automotive-Partnerschaft *Drive Sustainability* verfolgt die Standardisierung und Harmonisierung von Lieferkettenansätzen [11]; oder die Global Battery Alliance, welche auf eine verantwortungsvolle Wertschöpfungskette abzielt [30]. Es bleibt abzuwarten, ob die Initiativen den Erwartungen der Zivilgesellschaft und ihren eigenen erklärten Zielen gerecht werden können.

4. Literatur

- [1] Amnesty International: This is what we die for. 2016. URL: <https://www.amnesty.org/download/Documents/IOR3056702017ENGLISH.PDF>. Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [2] Amnesty International: Time To Recharge: Corporate Action And Inaction To Tackle Abuses In The Cobalt Supply Chain. 2017 URL: https://www.es.amnesty.org/uploads/media/Time_to_recharge_online_1411.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [3] Bloomberg New Energy Finance: Global EV Outlook 2018. URL: <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/EV%20market%20trends%20and%20outlook%20%28by%20Colin%20McKerracher%29.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [4] BP: BP Energy Outlook 2018. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [5] Buchert, M.; Degreif, S.; Dolega, P.: Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen, Öko-Institut e.V., Agora Verkehrswende (Hrsg.), Berlin Oktober 2017.
- [5] Cobalt Institute: Cobalt Uses – Rechargeable Batteries. URL: <https://www.cobaltinstitute.org/rechargeable-batteries.html> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [7] De Coff, S.: Lithium — Exploration budgets more than double for 2nd year. S&P Global Market Intelligence. 2017.
- [8] Dehoust, G.; Manhart, A.; Schmidt, G.; Vogt, R.; Kämper, C.; Giegrich, J.: Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes (ÖkoRess I). Methode für einen standortbezogenen Ansatz. TEXTE 87/2017. URL https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-28_texte_87-2017_oeokress_standortbezogene_bewertung_1.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018

- [9] Deutsche Rohstoffagentur (DERA): DERA Rohstoffinformation Nr. 33: Rohstoffrisikobewertung Lithium. 2017. URL: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/Studie_lithium_2017.pdf;jsessionid=27F3806851D649159703B4CC10674D1B.1_cid284?__blob=publicationFile&v=2. Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [10] Dolega, P.; Schüler, D.: China's approach towards responsible sourcing. 2018. URL: http://www.stradeproject.eu/fileadmin/user_upload/pdf/STRADE_PB_03_2018_China_responsible_sourcing.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [11] Drive Sustainability: Vision and Mission. 2018. URL: <https://drivesustainability.org/vision-and-mission/> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [12] Ernst & Young (2017): Electric Vehicles Global Scenario. 2017. URL: <https://www.investindia.gov.in/sites/default/files/2018-03/Electric%20Car%20-%20Global%20Scenario-%20How%20do%20you%20balance%20the%20pace%20of%20innovation%20with%20regulations.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [13] Europäische Kommission: Best Available Techniques Reference Document for the Management of Waste from the Extractive Industries: Draft. 2009. URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/mmr_adopted_0109.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [14] Evans, K.: Lithium. In: Gunn, G.: Critical Metals Handbook, 2014.
- [15] Exxon (2018): 2018 Outlook for Energy: A View to 2040. 2018. URL: <http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2018/2018-outlook-for-energy.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [16] IEA International Energy Agency: Energy Technology Perspectives 2016. URL: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [17] IEA International Energy Agency: Energy Technology Perspectives 2017. URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2017ExecutiveSummaryEnglishversion.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [18] IEA International Energy Agency: Global EV Outlook 2018. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264302365-en.pdf?expires=1530606964&id=id&accname=ocid56027324&checksum=EA73073EF3E8DA7877AD1A9D539D1333> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [19] IEEJ (2018): IEEJ Outlook 2018. URL: <https://eneken.ieej.or.jp/data/7690.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [20] Jamasmie C.: China's Tianqi Lithium buys minority stake in SQM for \$4.1bn. 2018. URL: <http://www.mining.com/chinas-tianqi-lithium-buys-minority-stake-sqm-4-07bn/> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [21] Mudd, G.: Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites; in: Ore Geology Reviews 38, 2010: S. 9 – 26.
- [22] OPEC (2017): World Oil Outlook 2017. URL: http://www.opec.org/opec_web/flipbook/WOO2017/WOO2017/assets/common/downloads/WOO%202017.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [23] Rodrigo A.; Vincent, J.: Estimating The Opportunity Cost Of Lithium Extraction In The Salar De Uyuni, Bolivia. 2009. URL: https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/1554/Aguilar,%20Rodrigo_MP_2009.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [24] Schüler, D.; Dolega, P.; Degreif, S.: Social, economic and environmental challenges in primary lithium and cobalt sourcing for the rapidly increasing electric mobility sector. 2018. URL: http://www.stradeproject.eu/fileadmin/user_upload/pdf/STRADE_PB_Li_Co_EMobility.pdf Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [25] Shedd K.B.; McCullough E.A.; Bleiwas, D.L.: Global trends affecting the supply security of cobalt. Mining Engineering: 37–42., 2017.

- [26] Song W.J et al.: Migration Behavior of Lithium during Brine Evaporation and KCl Production Plants in Qarhan Salt Lake. Minerals 2017, 7, 57. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/af99/b39223b89cadc6813fde2a4bf9e42ec4ebc2.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [27] USGS: Mineral Commodity Summaries 2008. URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [28] USGS: Mineral Commodity Summaries 2017. URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [29] USGS: Mineral Commodity Summaries 2018. URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> Letzter Zugriff: 18.01.2018
- [30] World Economic Forum: Major Push to End the Hidden Human Toll and Pollution behind Smartphone and Electric Car Batteries. 2017. URL: <https://www.weforum.org/press/2017/09/major-push-to-end-the-hidden-human-toll-and-pollution-behind-smartphone-and-electric-car-batteries/> Letzter Zugriff: 18.01.2018

Ansprechpartner



Peter Dolega, M.Sc.
Öko-Institut e.V.
Ressourcen & Mobilität
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt, Deutschland
+49 6151-8191-102
p.dolega@oeko.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 12

ISBN 978-3-944310-46-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe,
Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Sarah Pietsch, Roland Richter,
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.