

Darmstadt: Die Kreisläufe schließen?!

E-mobil in den Kreislauf?



Dr. Matthias Buchert, Öko-Institut e.V, 19.12. 2019

Agenda

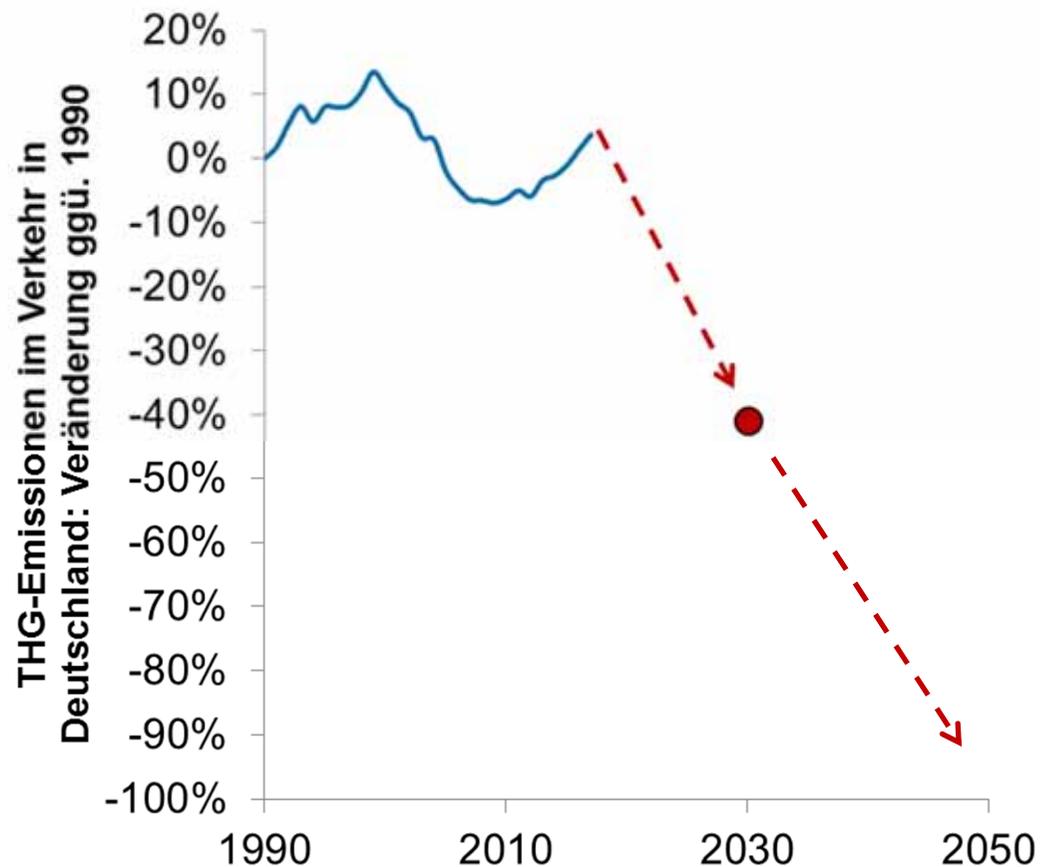
1 Einführung

2 Rohstoffnachfrage durch die globale Entwicklung der Elektromobilität

3 Recycling von Lithium-Ionen-Batterien

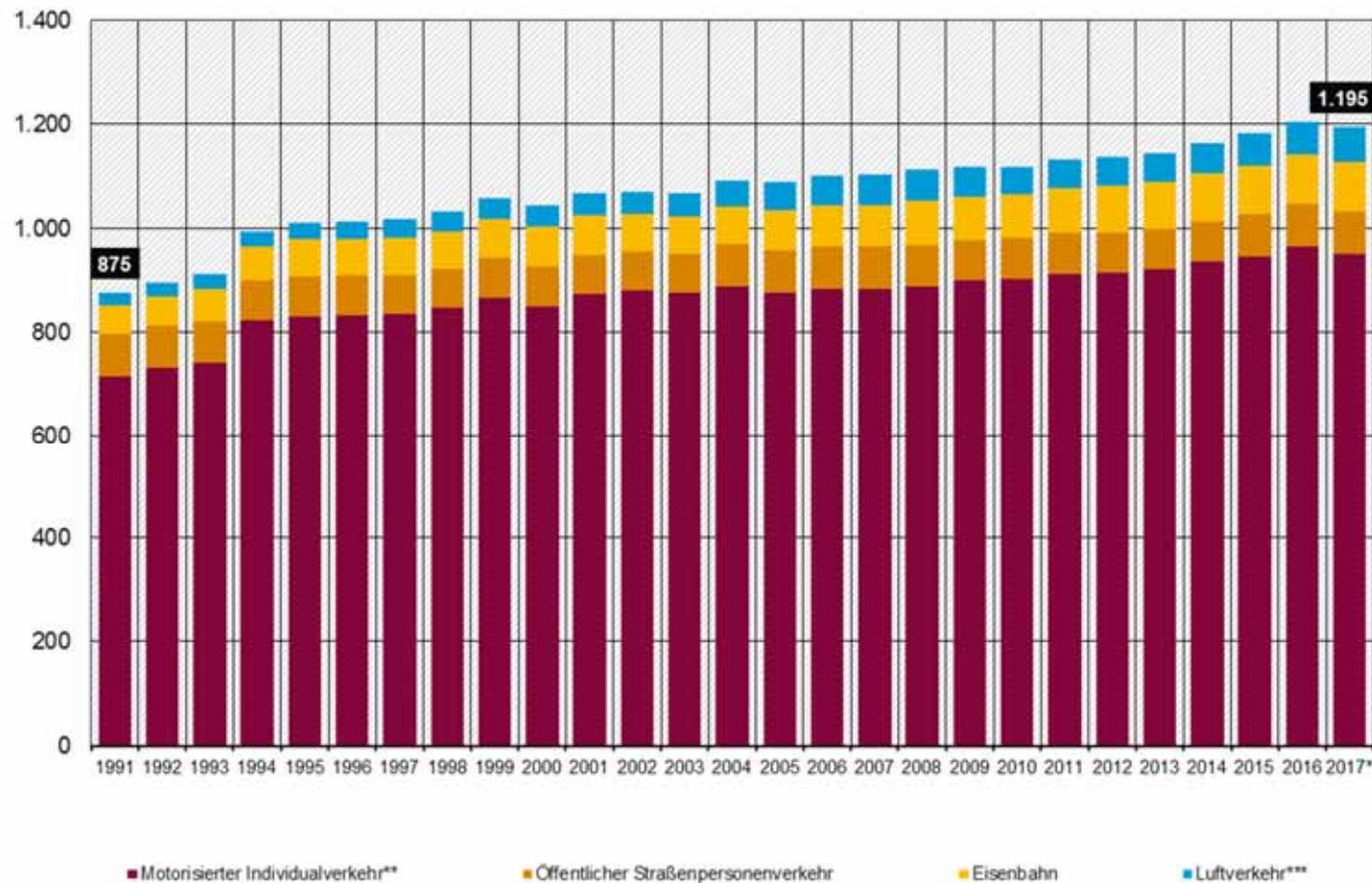
4 Schlussfolgerungen

Erreichung des Klimaschutzziels für den Verkehr erfordert schnellstmögliche Trendumkehr



- **Aktuell:**
Anstieg der THG-Emissionen im Verkehr auf rund 170 Mio. t in 2017
- **Klimaschutzplan:**
Reduktion der THG-Emissionen des Verkehrs um 40-42% ggü. 1990 bis 2030

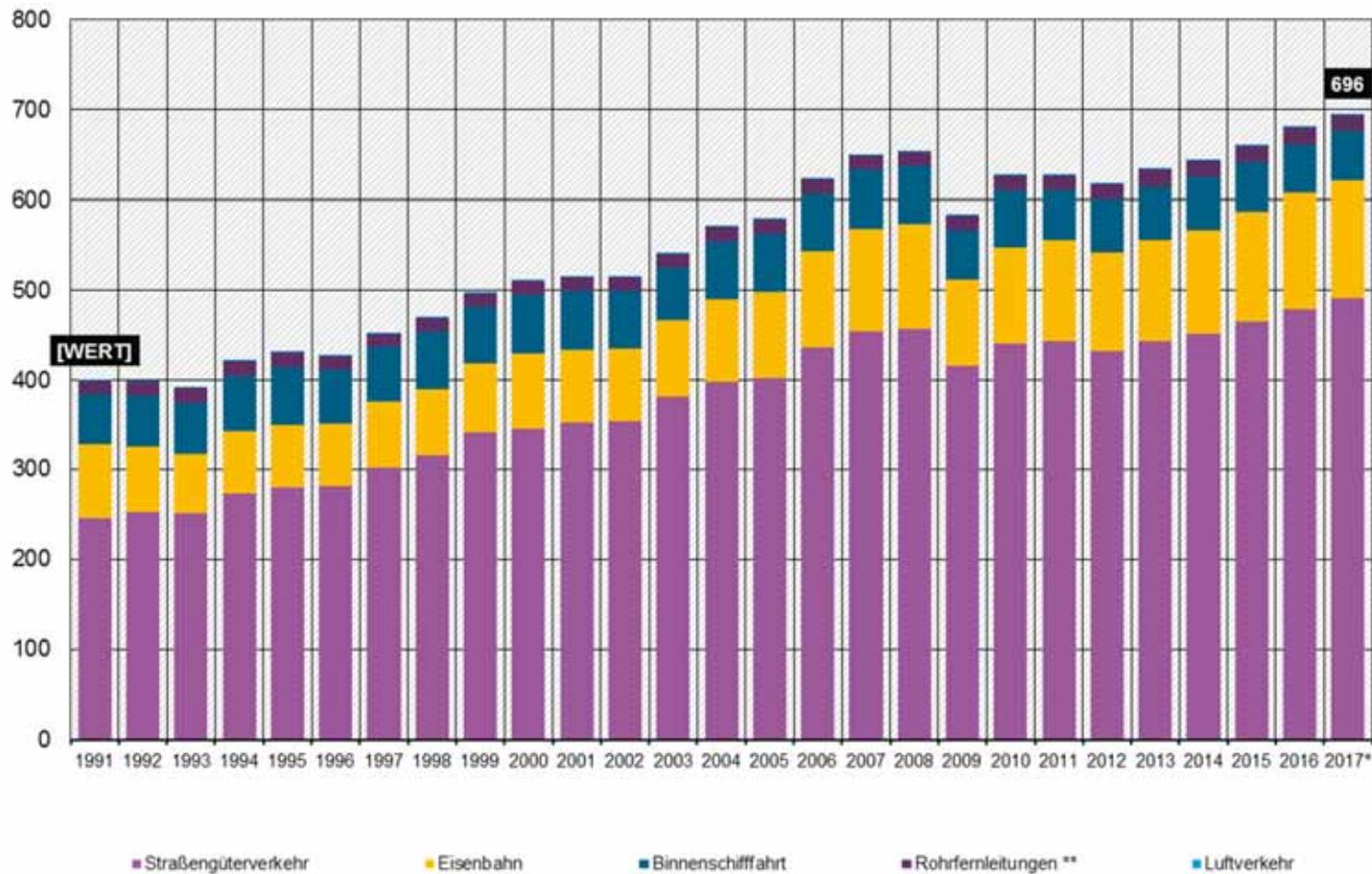
Entwicklung Personenverkehr (Mrd. Personenkilometer) Deutschland 1991-2017



Ohne Fußgänger- und Radverkehr

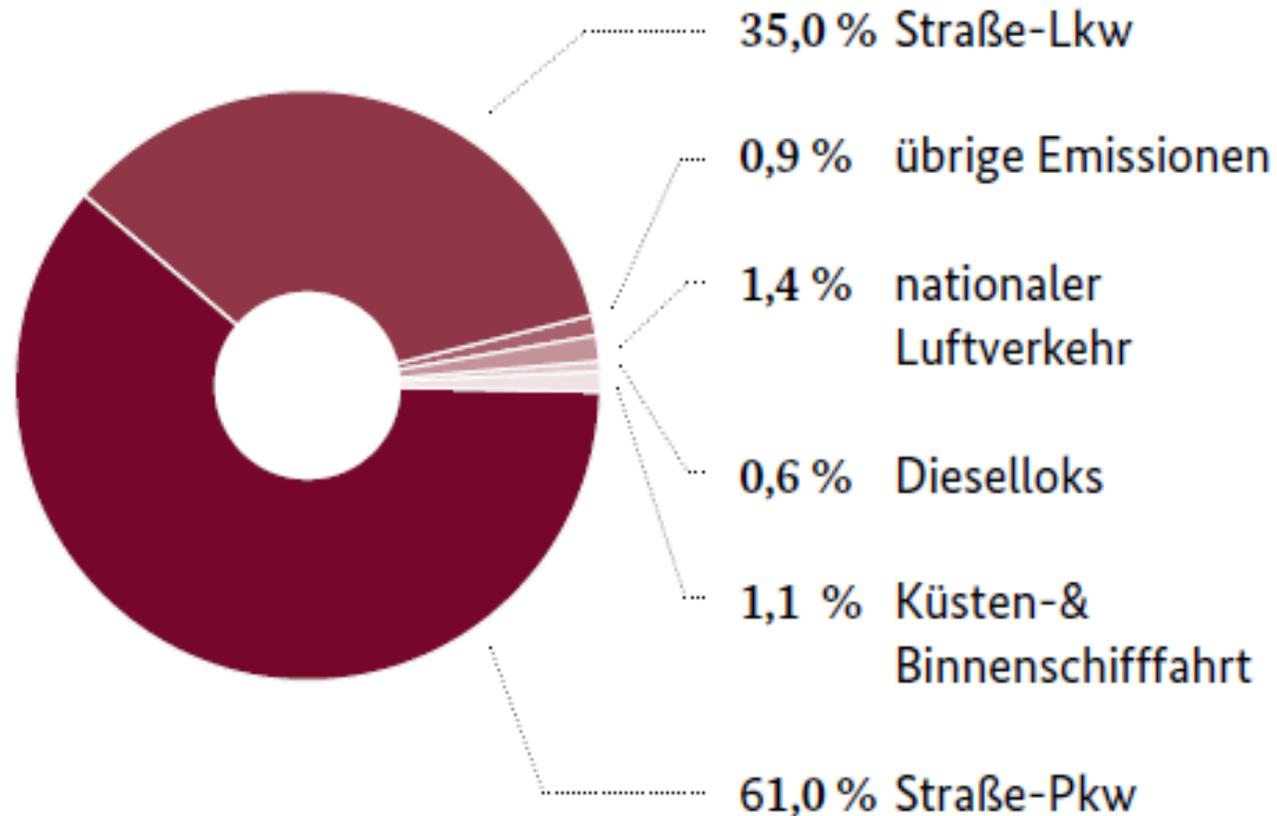
Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2018/2019, S. 218f. und ältere Jahrgänge

Entwicklung Güterverkehr (Mrd. Tonnenkilometer) Deutschland 1991-2017



Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2018/2019, S. 244f. und vorherige Jahrgänge

Der Straßenverkehr ist Hauptverursacher und damit der Hauptansatzpunkt für die CO₂-Minderung



Warum ist Elektromobilität in der Zukunft sehr relevant?

- Pariser Klimaschutzvereinbarung: Die globale Erwärmung sollte bis 2100 nicht mehr als um 1,5 Grad Celsius ansteigen!
- Der Ausstoß von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Methan usw. muss daher bis 2050 weltweit drastisch begrenzt werden!
- Weiterhin sind drastische Minderungen von „klassischen Luftschadstoffen“ notwendig: vgl. China, Indien, Europa usw.!
- Der Verkehrssektor ist sowohl national (D) als auch international ein „Sorgenkind“ hinsichtlich der Reduktion von Treibhausgasemissionen!
- Beim Personenverkehr beträgt in D der MIV-Anteil ca. 76% und beim Güterverkehr macht der LKW rund 71% aus!
- Für viele Fahrzeuge wie PKW sind batterieelektrische Antriebe die ausgereifteste und von der Umweltbilanz beste Alternative zu den klassischen Antrieben mit Verbrennungsmotor!

Was ist Elektromobilität?

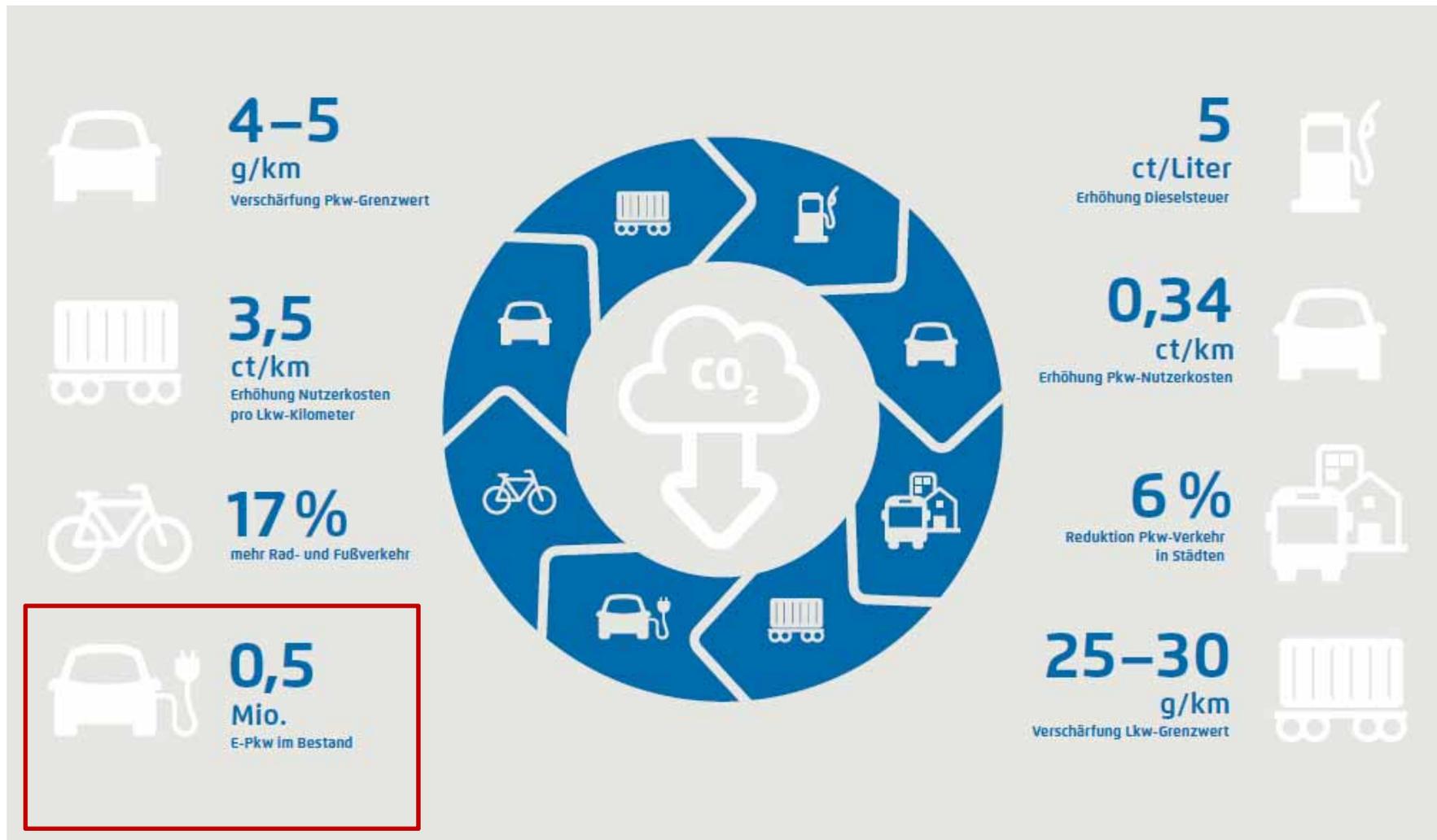
- Die Fahrzeuge werden ganz oder teilweise mit Hilfe eines Elektromotors mit elektrischer Energie angetrieben!
- In der klassischen Variante wird ein Fahrzeug über eine Oberleitung (oder Stromschiene) mit Strom versorgt: Züge, Straßenbahnen, U-Bahnen, aber auch Busse, etc.!
- Bei der „neuen Elektromobilität“ versorgt eine Batterie an Bord des Fahrzeugs den Elektromotor mit elektrischer Energie ("drahtlose" Elektromobilität)!
- „Neue Elektromobilität“: elektrisch angetriebene Fahrräder, Roller, Motorräder, Autos, Lieferwagen, Busse, Lastwagen, usw.!

Kombination aus klassischer (Oberleitung) und neuer Elektromobilität (Traktionsbatterie)

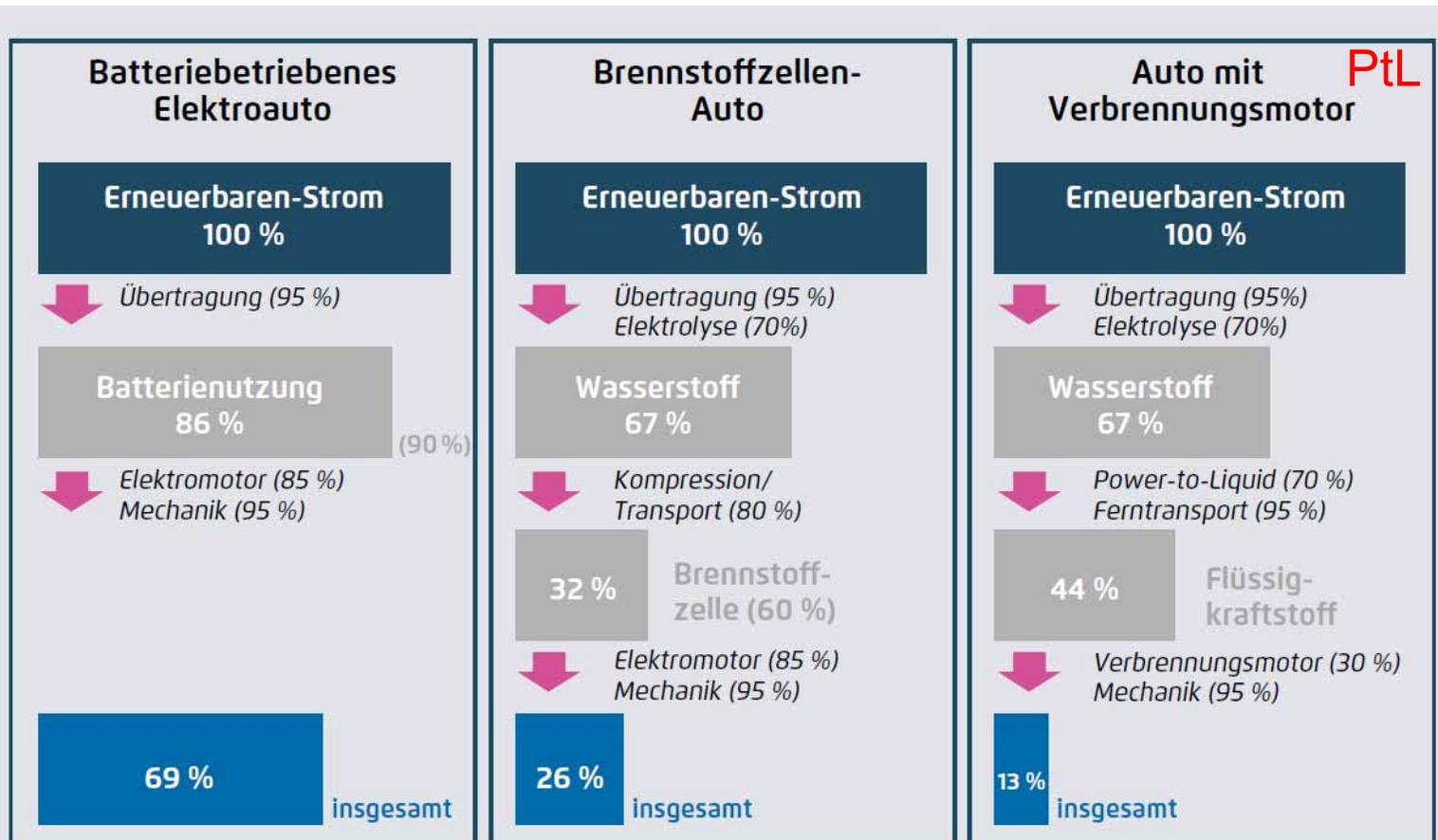


This is the first-of-its-kind test on a public road in Germany and has become operational in Hesse
<https://auto.ndtv.com/news/germany-gets-its-first-electric-highway-for-hybrid-trucks-2035284>

1 Million Tonnen CO₂-Reduktion im Jahr 2030 bedeutet ...



Die klimaneutralen Alternativen zum batterie-elektrischen Antrieb sind deutlich weniger energieeffizient



Hinweis: Einzelwirkungsgrade in Klammern. Durch Multiplikation der Einzelwirkungsgrade ergeben sich die kumulierten Gesamtwirkungsgrade in den Kästen.

Pkw: der Hauptmarkt für Elektrofahrzeuge

- Verschiedene Arten von Elektrofahrzeugen :
 - Battery electric vehicles (BEV)
 - Plug-in electric vehicles (PHEV)
 - Hybrid electric vehicles (HEV)
 - Full cell electric vehicles (FCEV)

Schlüsselkomponenten für Elektrofahrzeuge

- Traktionsbatterie; in der Regel Lithium-Ionen-Batterie (LIB)
- Elektromotor (verschiedene Motortypen auf dem Markt)
- Leistungselektronik

Das Herzstück von Elektrofahrzeugen: die Lithium-Ionen-Batterie.

- Eine Lithium-Ionen-Batterie (LIB) besteht meist aus mehreren Modulen (die Anzahl hängt von der Batteriekapazität ab usw.), die wiederum aus vielen einzelnen Lithium-Ionen-Zellen bestehen.
 - Die Hauptkomponenten einer Lithium-Ionen-Zelle sind:
 - Zellengehäuse (Al)
 - Anode (meist Graphit)
 - Kathode (siehe nächste Folie)
 - Separatoren (Kunststoffe oder Keramiken)
 - Tabs (Cu + Al)
 - Elektrolyte (LiPF_6 + organische Lösungsmittel)
-

Relevante Kathodentypen von LiBs

- Auf dem Markt sind verschiedene Lithium-Ionen-Kathoden:
 - NMC: $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$; $xyz = 111$ oder 622 oder 811
 - NCA: $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2$ $xyz =$ verschiedene Zusammensetzungen
 - LiFP: LiFePO_4
 - Und verschiedene andere Kathodenmaterialien

- NMC und NCA (Tesla) sind auf den Elektrofahrzeugmärkten der USA und der EU marktbeherrschend!
- LiFP ist vor allem in der VR China relevant (elektrische Busse usw.); aber auch in China kommt NMC massiv auf!

Agenda

1 Einführung

2 Rohstoffnachfrage durch die globale Entwicklung der Elektromobilität

3 Recycling von Lithium-Ionen-Batterien

4 Schlussfolgerungen

Rohstoffe in den Medien

Could A Lithium Shortage The Electric Car Boom?

By [James Stafford](#) - Aug 24, 2016, 6:01 PM CDT



The new OPEC: Who will supply the lithium needed to run the future's electric cars?

Justina Crabtree | @jcrabtree
Friday, 30 Dec 2016 | 1:54 AM

Is the Earth's lithium production and availability enough to produce 80 million electric cars a year?
Aren't we just moving from scarce fossil fuel resources to scarce lithium resources?

Cobalt rises for storage

as lithium-ion battery demand
and renewables

Das BMBF Verbundprojekt Fab4Lib

Konsortialführer: **TERRAE[®]**



Projektlaufzeit:

Jan 2018 –
Jun 2019

Partner:



Ziele des BMBF Verbundprojekts Fab4Lib

- Innovative Lösungen entlang der Wertschöpfungskette der Lithium-Ionen-Technologie zu erforschen und in Demonstratoren zu validieren!
- Elf Arbeitspakete konzentrieren sich auf Themen wie Zelldesign, innovative Produktionsverfahren und -materialien, Industrie 4.0 und Recyclingstrategien!
- Die Ergebnisse fließen in die Vorbereitung einer deutschen Großproduktion ein: von TerraE zunächst 4 GWh/a geplant; mittelfristig 8 GWh/a!

Publikation des Öko-Instituts

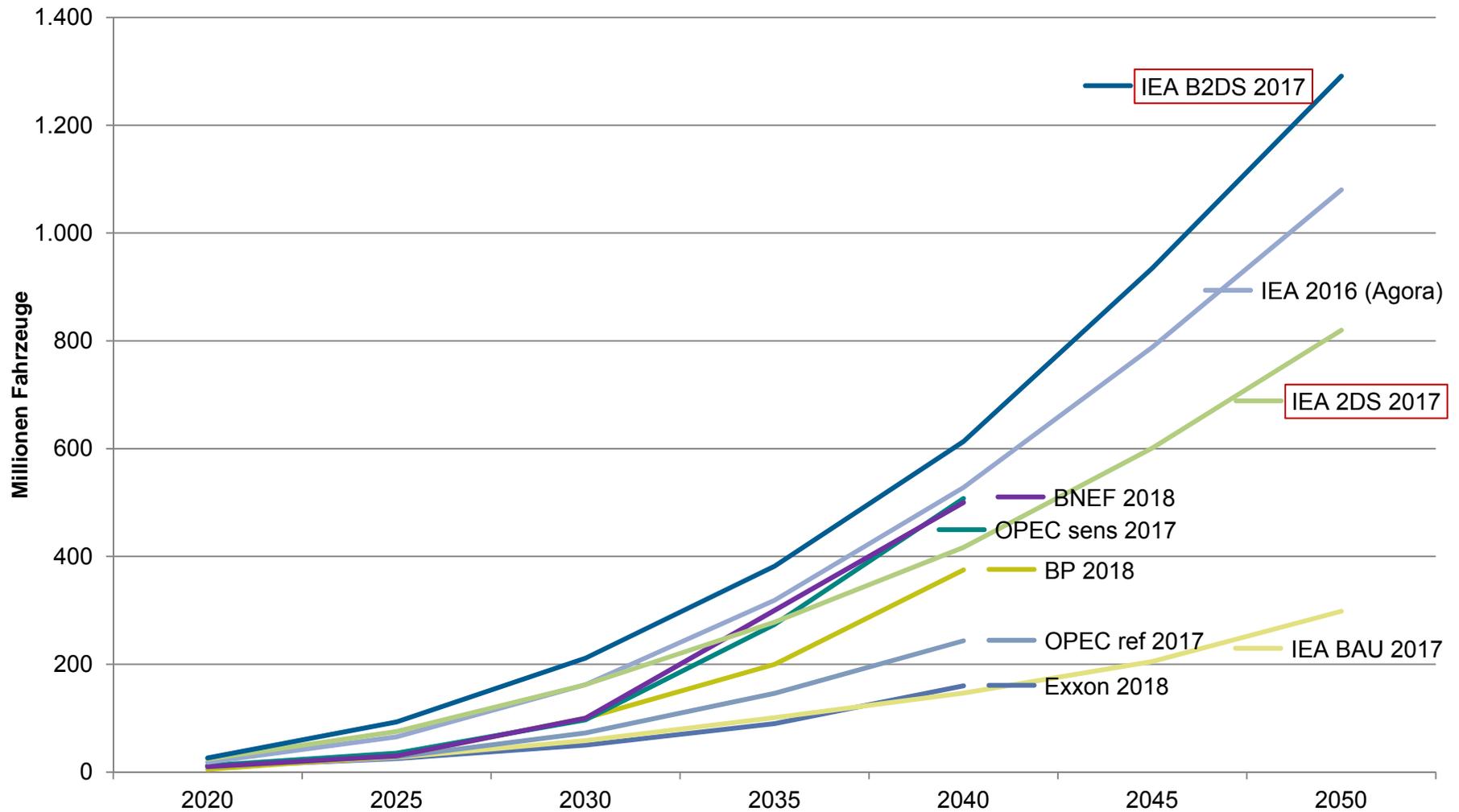


Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen - Rohstoffbedarf für die globale Elektromobilität bis 2050

Öko-Institut, Jan. 2019



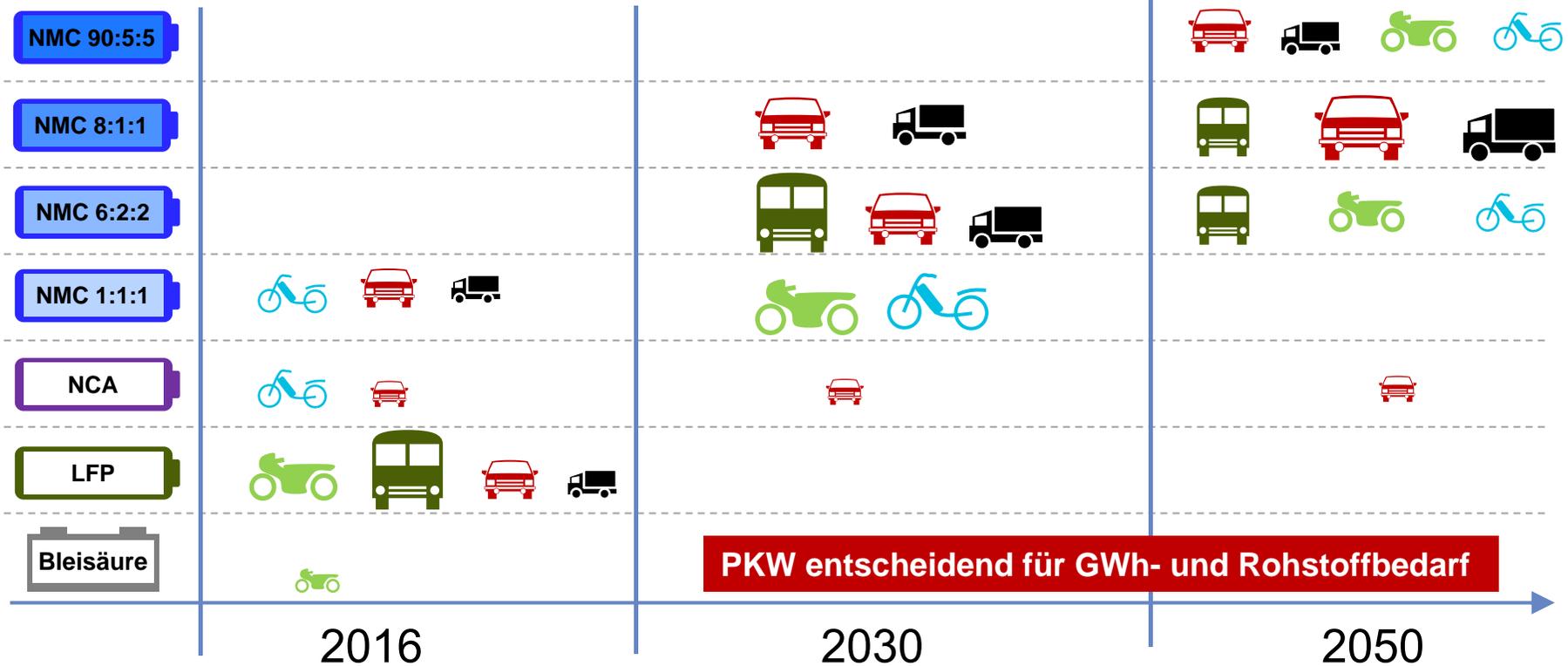
Globale Flotte elektrischer PKW nach unterschiedlichen Szenarien



Szenarien Hintergrund B2DS und 2DS (IEA 2017)

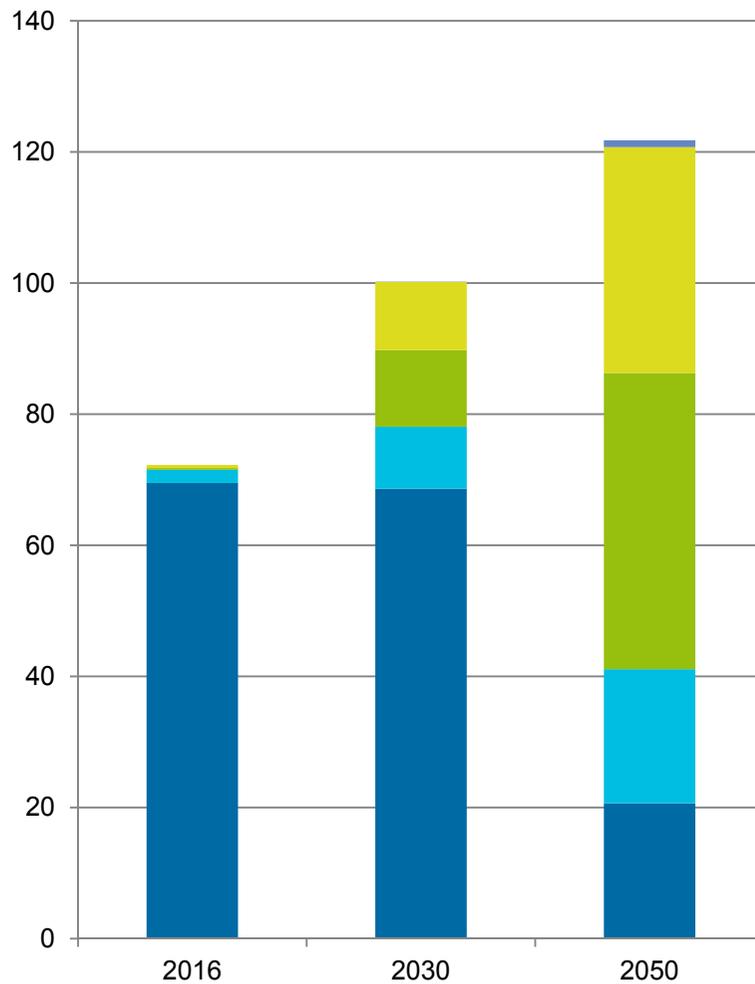
- 2°C Szenario (2DS)
 - Maximale Temperaturerhöhung 2°C
 - Ambitionierte politische Maßnahmen zur Einsparung von Treibhausgasen
- Beyond 2°C Szenario (B2DS):
 - Maximale Temperaturerhöhung 1.75°C
 - Sehr ambitionierte sektorübergreifende politischen Maßnahmen zur Einsparung von Treibhausgasen

Annahmen Zellchemie Antriebsbatterien (vereinfachtes Schema)

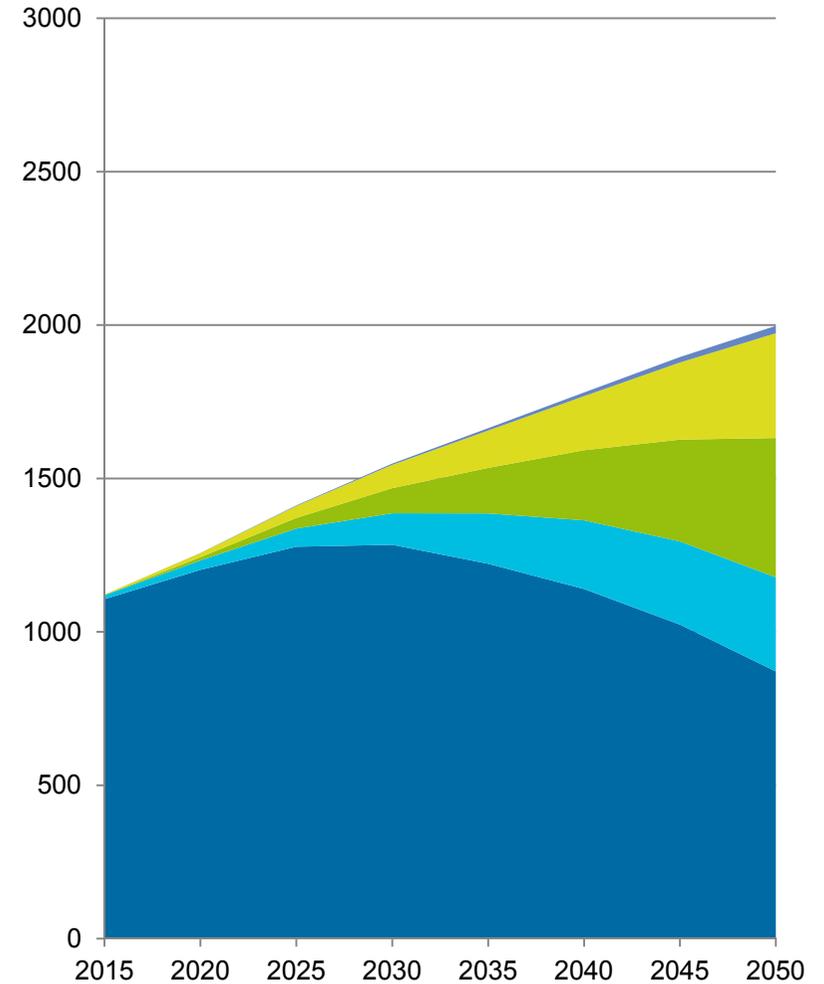


Quelle: eigene Berechnungen Öko-Institut e.V. mit QS Fab4Lib-Partner

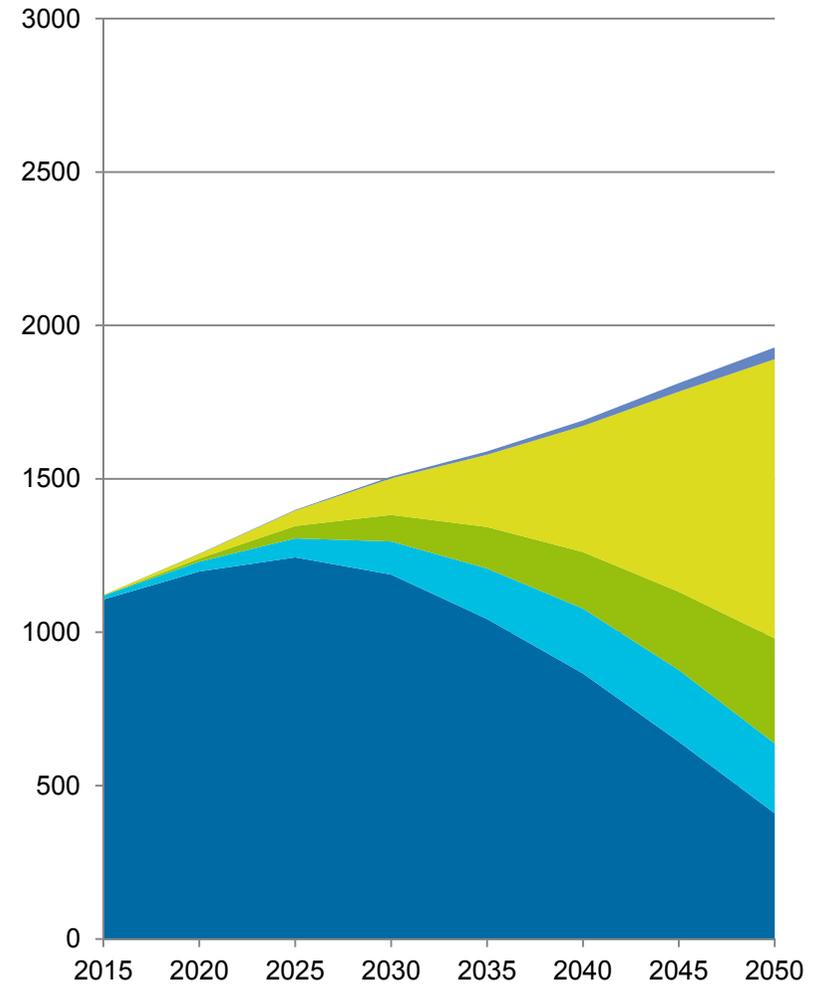
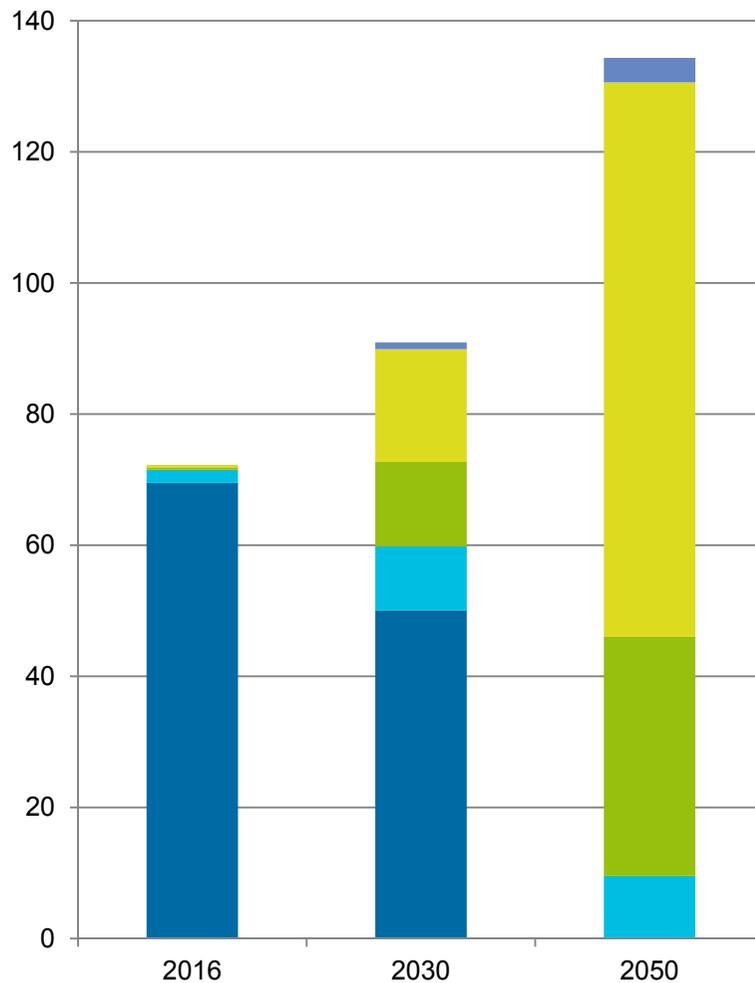
PKW 2DS (IEA 2017) – Verkauf (links) und Bestand (rechts) in Millionen pro Jahr



- FCEV
- BEV
- Plug-In
- Hybrid
- ICE



PKW B2DS (IEA 2017) – Verkauf (links) und Bestand (rechts) in Millionen pro Jahr



Hintergrund

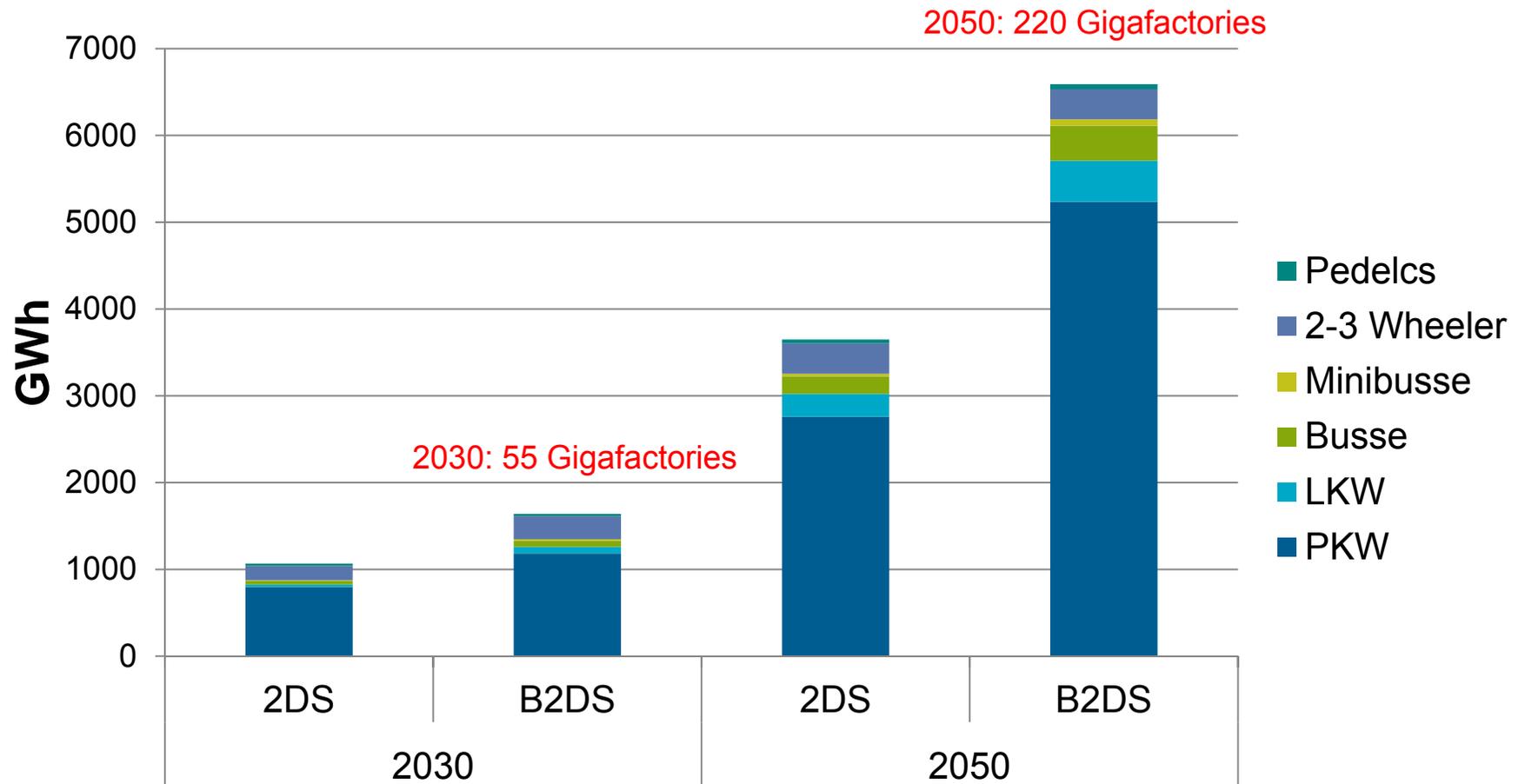
Aufbau von Rohstoffbedarf-Szenarien der globalen Elektromobilität 2016, 2030, 2050 für die Rohstoffe

- Lithium
- Kobalt
- Nickel
- Graphit
- Kupfer
- Silizium

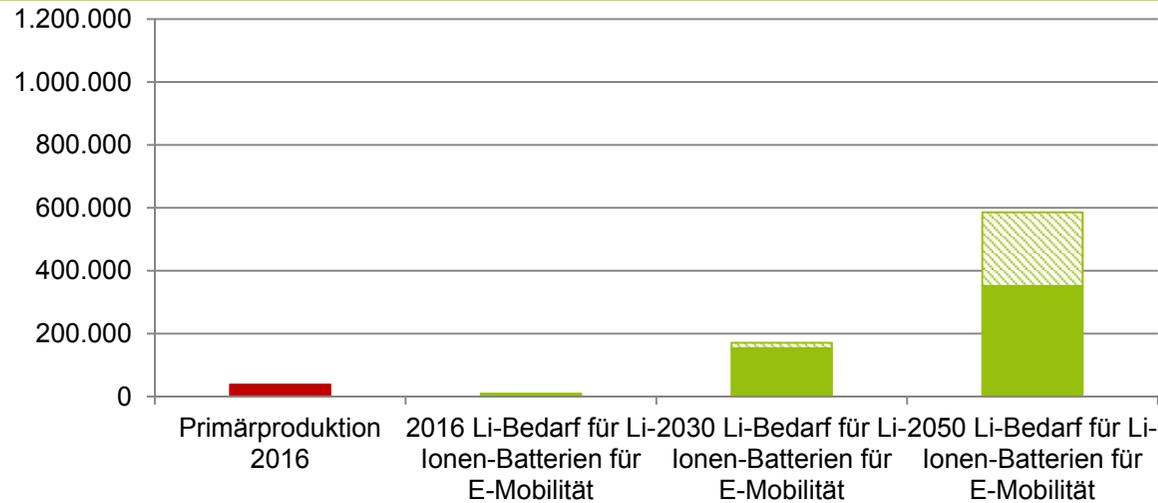
Recycling Annahmen

- Annahmen nahezu 100 % Sammelquote für Batterien aus der Elektromobilität
 - Vorteile: große Batterieeinheiten und große Volumenströme
 - Recycling von Li-Ionen Batterien alternativlos
→ Sicherheitsaspekte und Gefahrenabwehr
- Rückgewinnungsraten von Cu, Li, Ni, Co >90 %
- Sekundärmaterial steht Recyclingwirtschaft entsprechend mittlerer Lebensdauer der Fahrzeuge zur Verfügung
- Recycled content 2030: Cu, Li, Co: ca. 10 % Ni: ca. 7 %
- Recycled content 2050: Cu, Li, Co, Ni : ca. 40 %

Projizierter Gesamt GWh-Bedarf pro Jahr der globalen Elektromobilität

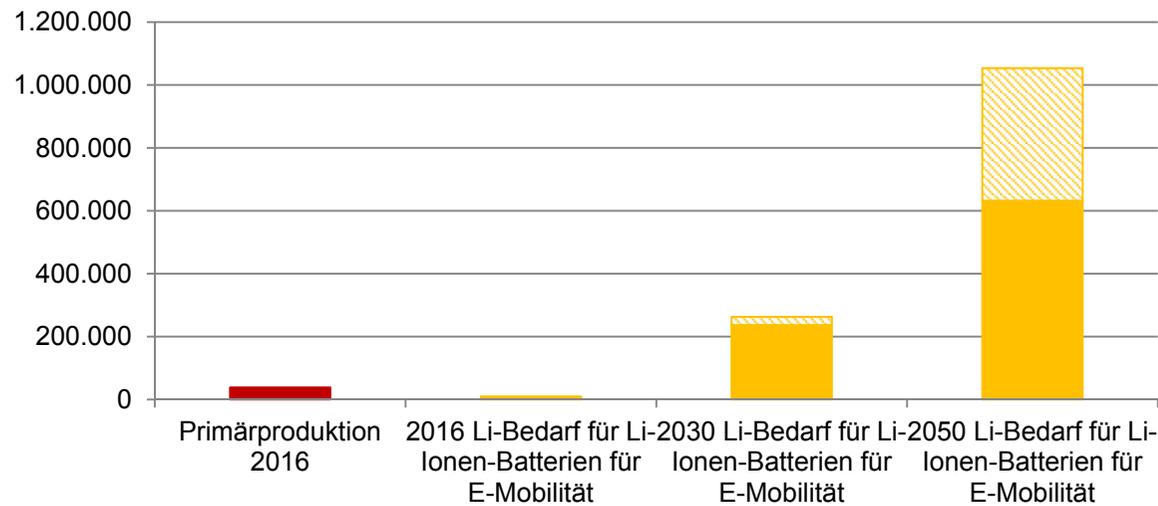


Rohstoffbedarf Lithium



2DS-Szenario

- Globaler Bedarf Lithium Sekundärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globaler Bedarf Lithium Primärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globale Lithium-Primärproduktion 2016

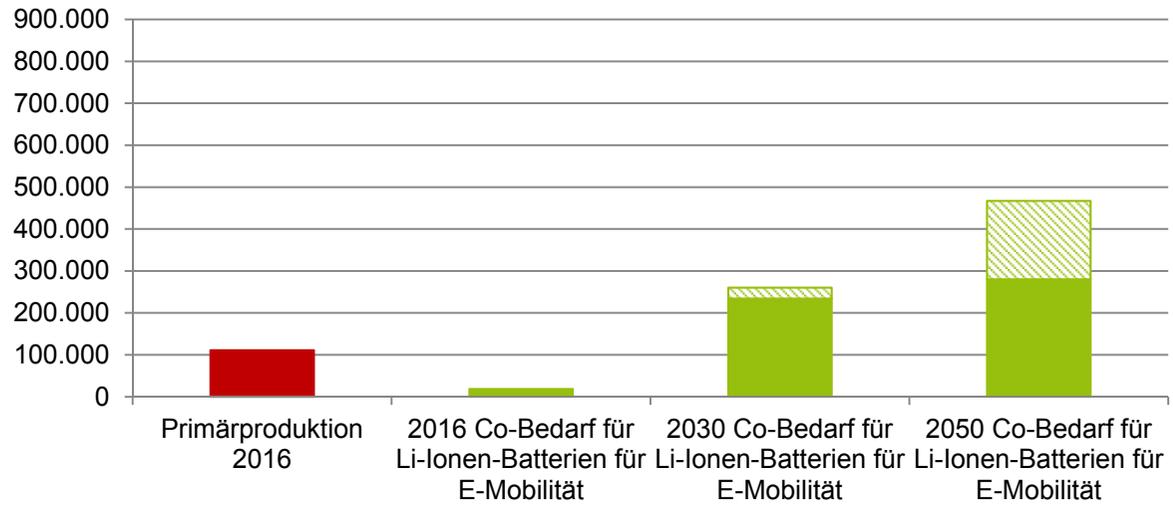


B2DS-Szenario

- Globaler Bedarf Lithium Sekundärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globaler Bedarf Lithium Primärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globale Lithium-Primärproduktion 2016

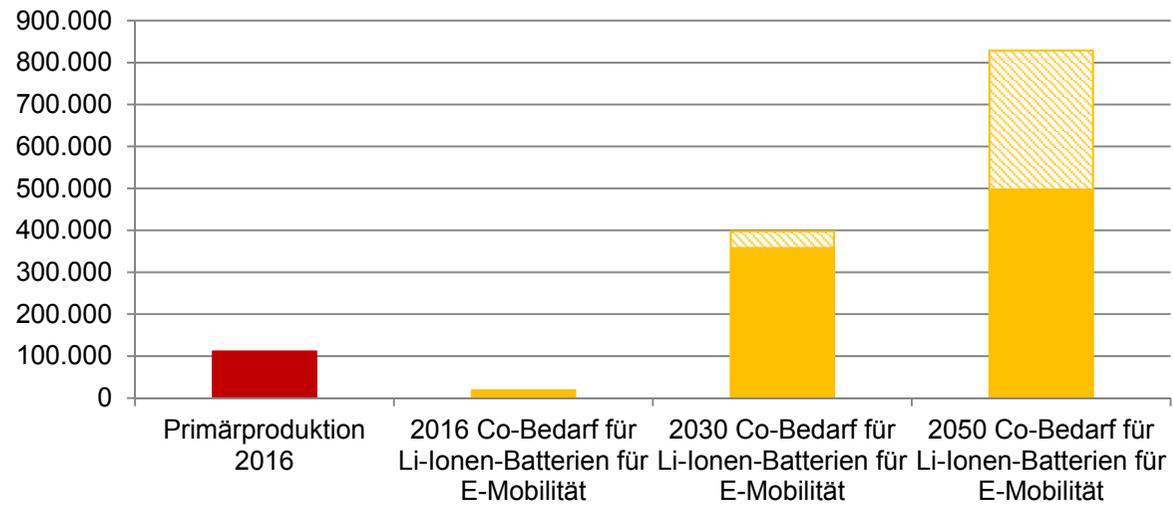
RC-Anteil einheitlich:
2030: 10%; 2050: 40%

Rohstoffbedarf Kobalt



2DS-Szenario

- ▨ Globaler Bedarf Kobalt Sekundärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globaler Bedarf Kobalt Primärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globale Kobalt-Primärproduktion

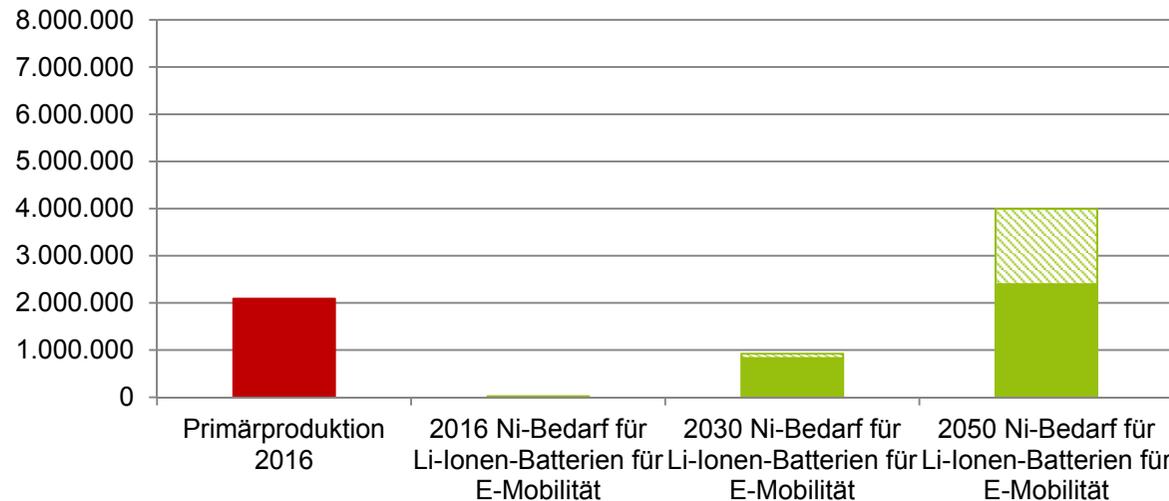


B2DS-Szenario

- ▨ Globaler Bedarf Kobalt Sekundärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globaler Bedarf Kobalt Primärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globale Kobalt-Primärproduktion

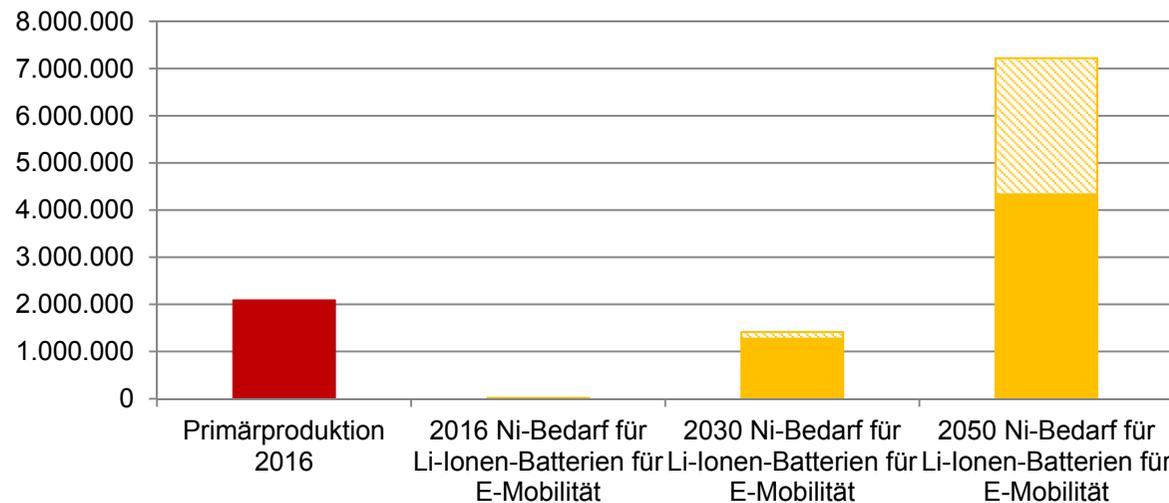
RC-Anteil einheitlich:
2030: 10%; 2050: 40%

Rohstoffbedarf Nickel



2DS-Szenario

- ▨ Globaler Bedarf Nickel Sekundärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globaler Bedarf Nickel Primärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globale Nickel-Primärproduktion



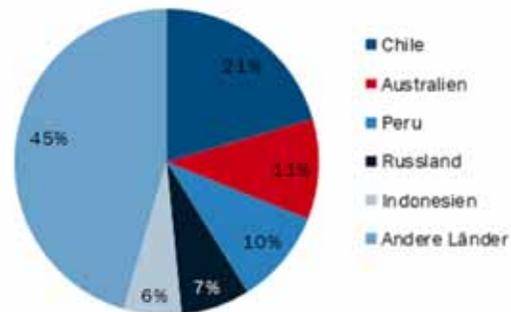
B2DS-Szenario

- ▨ Globaler Bedarf Nickel Sekundärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globaler Bedarf Nickel Primärmaterial in Li-Ionen-Batterien für E-Mobilität
- Globale Nickel-Primärproduktion

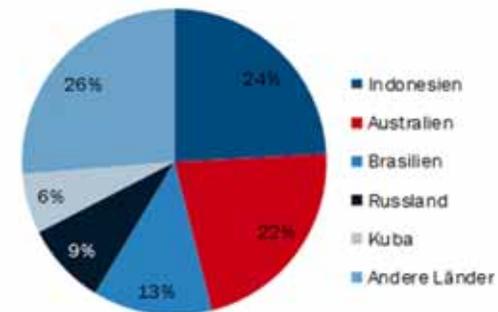
RC-Anteil einheitlich:
2030: 7%; 2050: 40%

Weltweite Reserven von Schlüsselrohstoffen

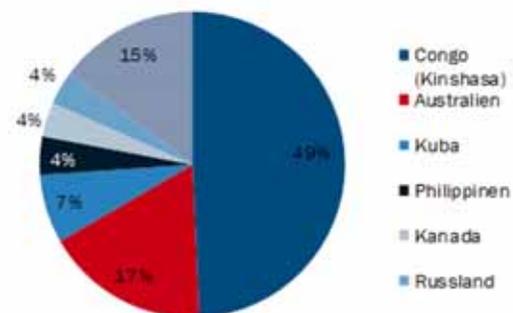
Kupfer Reserven (830 Mio. t)



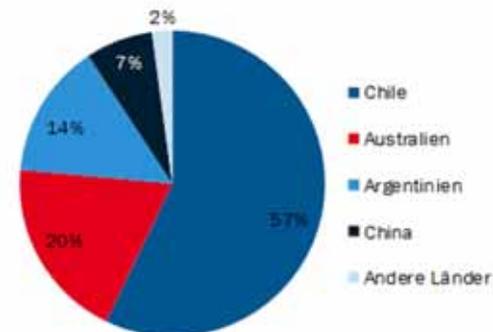
Nickel Reserven (89 Mio. t)



Kobalt Reserven (6,9 Mio. t)



Lithium Reserven (14 Mio. t)



Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (USGS 2019)

Gehen uns Rohstoffe für die Elektromobilität aus?

- Physische Verknappungen sind nicht zu erwarten: die jeweiligen Ressourcen der einzelnen Rohstoffe sind deutlich höher als die Reserven!
 - Temporäre, d.h. zeitlich begrenzte Verknappungen sind nicht auszuschließen!
 - Die Herausforderung liegt in der Durchsetzung hoher Umwelt- und Sozialstandards!
 - Der spezifische Kobaltgehalt der Lithium-Ionen-Zellen wird fortlaufend reduziert: Gründe sind Kosteneinsparung und die “Kongofrage”!
-

Sind Schlüsselrohstoffe für LIB der Super GAU bzgl. Ressourcenfragen? Ein Mengenvergleich

- B2DS-Szenario 2050: Primärrohstoffbedarf
 - Lithium: gut 600.000 t,
 - Kobalt: ca. 500.000 t
 - Nickel: ca. 4,2 Mio. t

 - Rohölbedarf 2050 für den Fall, dass alle PKW klassische Verbrenner wären: ca. 1,74 Mrd. Tonnen Rohöl!

 - Eisenerzförderung 2018: 1,5 Mrd. Tonnen (Eisengehalt)!

 - Bauxitförderung 2018: 300 Mio. Tonnen
-

Fazit / Ausblick

- Der wesentliche Anteil des **Rohstoffbedarfs** für die Elektromobilität wird durch **PKW** generiert
- **Recycling** spielt eine wesentliche Rolle bei der zukünftigen Einsparung von Primärmaterial
- Von den betrachteten Rohstoffen sind die größten Nachfragezuwächse im Vergleich zur aktuellen Förderung bei **Lithium** und **Kobalt** zu erwarten
- **Umwelt-** und **Sozialaspekte** werden künftig eine sehr wichtige Rolle bei der Förderung der Rohstoffe spielen

Agenda

1 Einführung

2 Rohstoffnachfrage durch die globale Entwicklung der Elektromobilität

3 Recycling von Lithium-Ionen-Batterien

4 Schlussfolgerungen

BMU-Projekte des Öko-Instituts zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität

- | | | |
|-----------------|------------------------|-----------|
| • LiBRI: | Umicore, Daimler, TUC | 2009-2011 |
| • LithoRec I: | TU Braunschw., VW etc. | 2009-2011 |
| • LithoRec II : | TU Braunschw., VW etc. | 2012-2016 |
| • EcoBatRec: | Accurec, RWTH Aachen | 2012-2016 |

<http://www.ecobatrec.de>

<http://www.lithorec2.de>

- | | | |
|-------------|---------------------------|--------------|
| • MERCATOR: | Accurec, RWTH Aachen etc. | Start 8/2019 |
|-------------|---------------------------|--------------|

Ergebnisse der Recyclingprojekte

LIB aus lassen sich über unterschiedliche Routen (pyrometallurgisch/hydrometallurgisch oder mechanisch/hydrometallurgisch) gut recyceln!

Kobalt, Nickel und Kupfer können mit rund 95% Rückgewinnungsrate in Batteriequalität zurückgewonnen werden!

Industrielle Anlagen zum Recycling von LIB in der EU laufen vor allem im erweiterten Mitteleuropa (D, BE, F etc.)!

Das Recycling von Lithium hat seit 2017 begonnen!

Die Verfahren werden ständig weiter optimiert!

Das Öko-Institut begleitet alle BMU-Projekte mit Ökobilanzen: die Resultate sind gut, aber zeigen noch Optimierungspotenziale!

Weiterentwicklung der EU Battery Directive

- Die aktuelle EU-Batterierichtlinie adressiert weder Lithium-Ionen-Batterien noch die Elektromobilität in angemessener Weise!
- Es gibt keine ehrgeizigen Sammel- und Recyclingziele für die Elektromobilitätsbatterien!
- Spezifisch ambitionierte Rückgewinnungsraten für Schlüsselmaterialien wie Lithium, Kobalt usw. sind erforderlich!
- Ziel muss es sein, auf allen Ebenen der Kreislaufwirtschaft exzellente Standards zu erreichen!
- Die Richtlinie befindet sich derzeit in der Ex-post-Bewertung!
- Die EU-Batterierichtlinie sollte bis 2022 überzeugend überarbeitet werden!

Globales Recyclingsystem für LIB

- Mittel- und langfristig müssen Sekundärrohstoffe (Lithium, Kobalt, etc.) neben Primärrohstoffen eine wichtige zweite Säule bilden, um den weltweit wachsenden Elektromobilitätssektor zu versorgen!
- Optimierte Recyclingsysteme für Lithium-Ionen-Batterien sind daher nicht nur in Europa, sondern weltweit wichtig!
- Schon heute müssen wir über Schwellen- und Entwicklungsländer nachdenken: negative Erfahrungen mit Blei-Säure-Batterien, Elektroschrott usw.
- Innovative Anreizsysteme und Geschäftsmodelle müssen entwickelt werden!
- Bis spätestens 2030 muss ein umfassendes Sammel- und Verwertungssystem implementiert sein!

Agenda

1 Einführung

2 Rohstoffnachfrage durch die globale Entwicklung der Elektromobilität

3 Recycling von Lithium-Ionen-Batterien

4 Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen

- Elektromobilität ist ein starker globaler Trend - aber mit unterschiedlichem Tempo in den verschiedenen Regionen der Welt!
- Die zunehmende große Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien wird zu einem starken Nachfragewachstum nach Elementen wie Kupfer, Nickel, Lithium, Kobalt etc. führen!
- Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien, Elektromotoren und Leistungselektronik ist eine wichtige Antwort auf die Materialanforderungen und die Reduzierung der Umweltbelastung!!
- Im Großen und Ganzen wird sich das Muster der Ressourcennachfrage von fossilen Rohstoffen zu bestimmten Basis- und Technologiemetallen verändern!

Obrigado pela vossa atenção!

Tem alguma pergunta?

Dr. Matthias Buchert: m.buchert@oeko.de

