

Materialflussanalyse von Elementen in Batterien zur Einschätzung ihrer zukünftigen Verfügbarkeit

Benjamin Reuter

Conference on Future Automotive Technology

Garching, 17.03.2014

Gliederung

- Einleitung: Rohstoffverfügbarkeit

- Ansatz: Materialflussanalyse
 - Materialbedarf und Recycling: Elektro- und Hybridfahrzeuge
 - Materialbedarf und Recycling: sonstiger Bedarf

- Ergebnisse der Analyse
 - Notwendige Primärförderung
 - Kumulierter Materialbedarf und Reserven

- Zusammenfassung und Diskussion

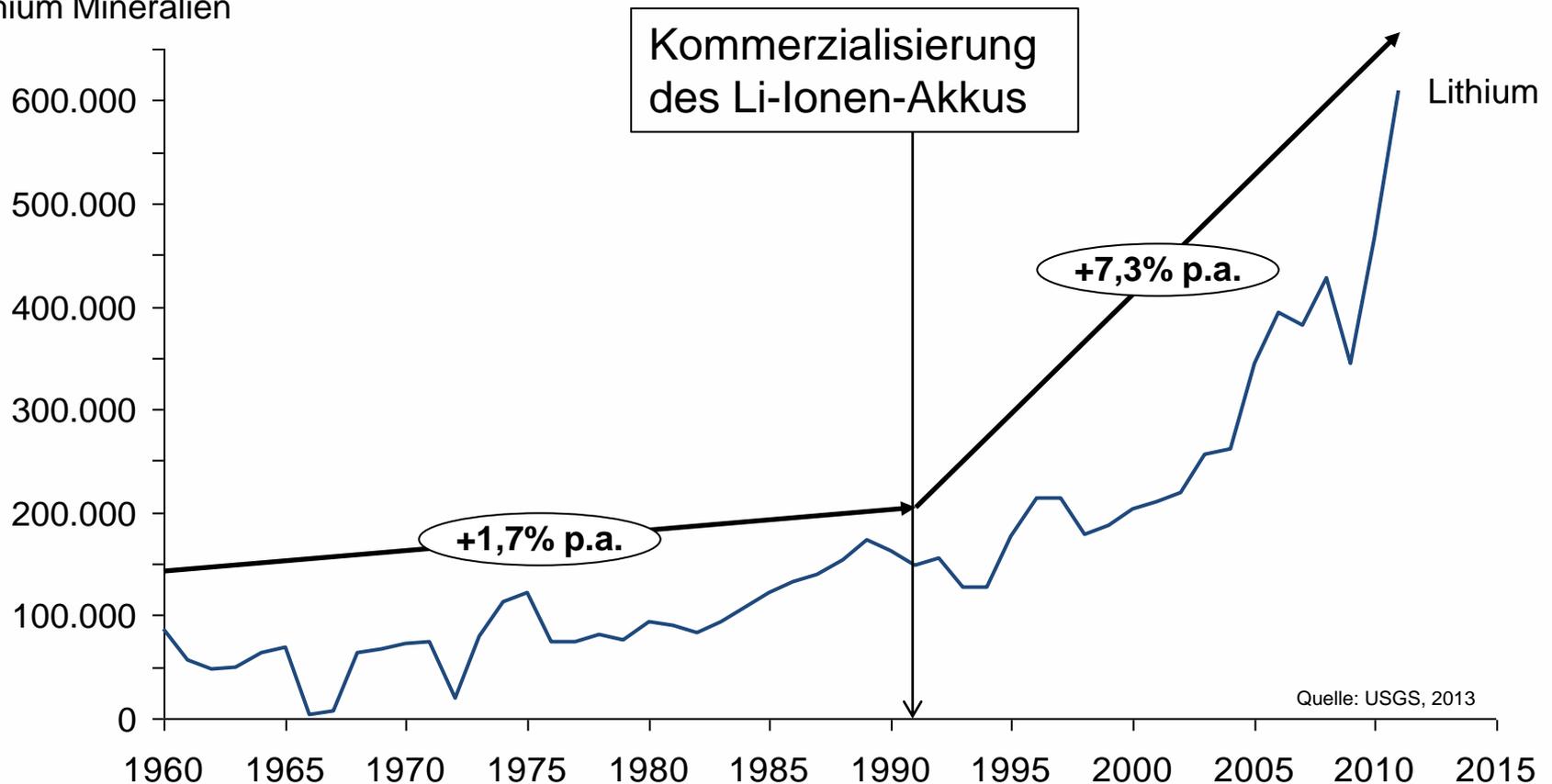
„Neue“ Rohstoffe für neue Technologien

Kommerzialisierung
des Li-Ionen-Akkus



„Neue“ Rohstoffe für neue Technologien

weltweite Förderung von Lithium Mineralien



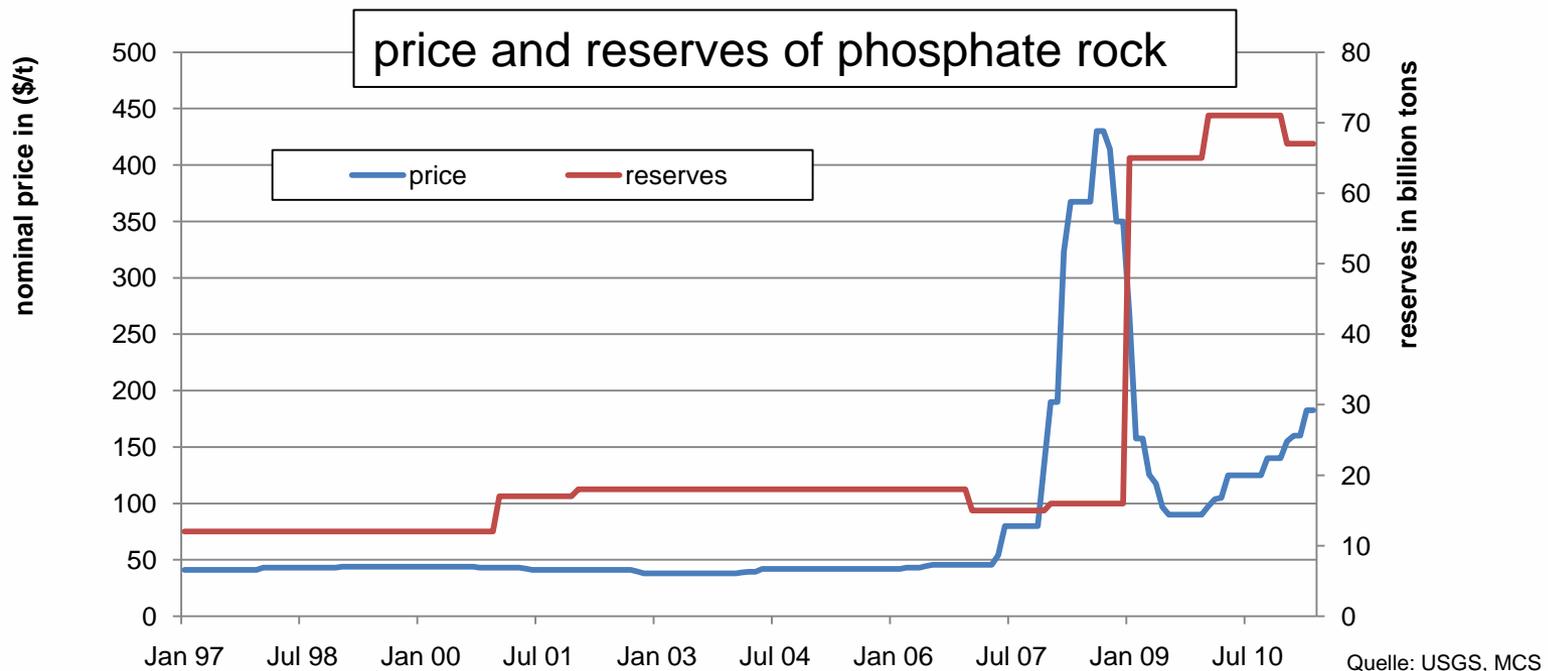


Auswirkung von Verknappung

Verfügbarkeit von Rohstoffen

Zwei wichtige Größen:

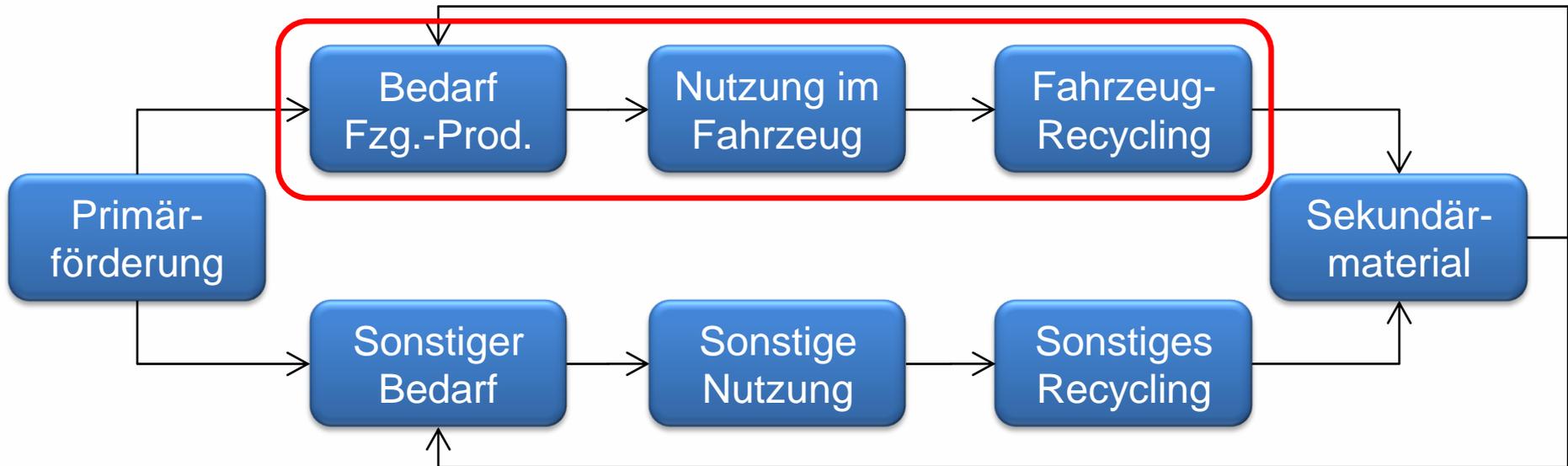
- Reserven: heute wirtschaftlich abbaubare Vorkommen
- Ressourcen: in der Zukunft wirtschaftlich abbaubare Vorkommen



Zentrale Frage

Sind in Zukunft geologisch begründete Versorgungsengpässe von Rohstoffen zu befürchten, die für die Batteriezellen von Elektro- und Hybridfahrzeugen von Bedeutung sind?

Materialflussanalyse / Material Flow Analysis (MFA)



Materialbedarf für die Automobilindustrie

Entwicklung der Fahrzeugproduktion

Fahrzeugproduktion 2012: ca. 63 Mio. / Jahr

„Baseline scenario“

- 3% p.a. Produktionszuwachs
- Fahrzeugproduktion 2050: 194 Mio. / Jahr

„Economic prosperity scenario“

- 9,6 Mrd. Menschen
- 500 Fahrzeuge / 1000 Personen
- Fahrzeugproduktion 2050: 480 Mio. / Jahr
(10 Jahre Durchschnittsalter)
- 5,5% p.a. Produktionszuwachs

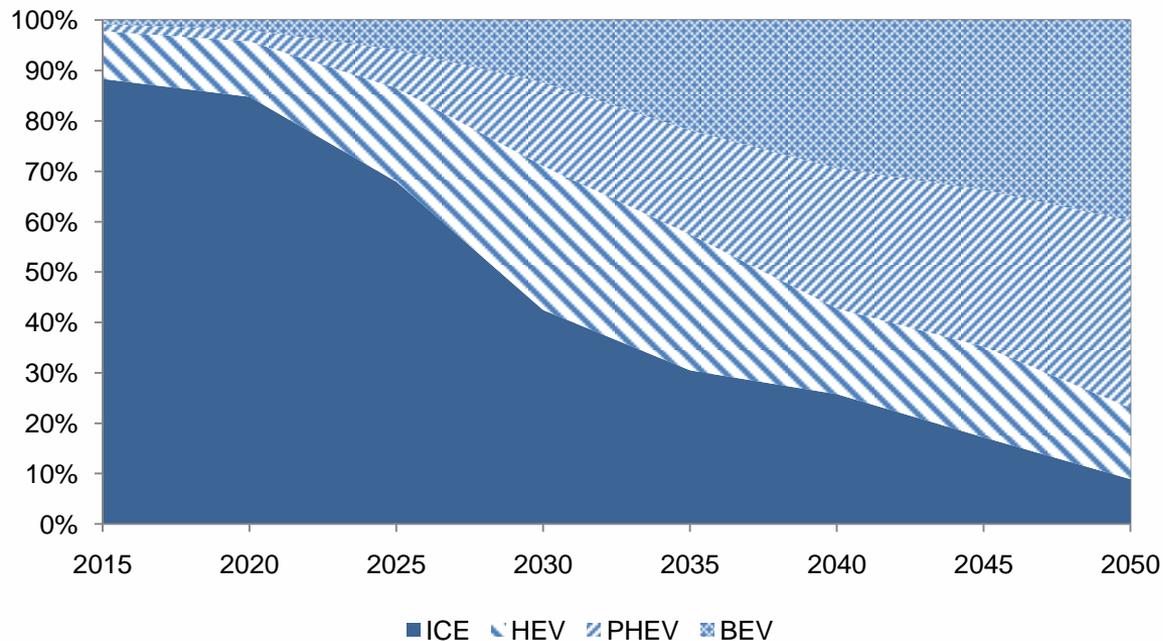
Fahrzeuge und PKW pro 1000 Einwohner		
Land	Fzg.	PKW
United States	797	423
Japan	591	453
Germany	572	517
Brazil	209	178
China	58	44
„High income“ Länder	620	446
Durchschnitt: Welt	176	124

Quelle: Weltbank

Materialbedarf für die Automobilindustrie Anteil von Elektro- und Hybridfahrzeugen

Analyse zahlreicher Studien

→ hohe Marktdurchdringung von Elektro- und Hybridfahrzeugen

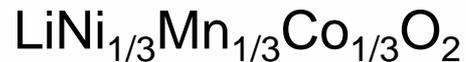


Angenommene,
installierte Kapazität:

HEV: 2 kWh
PHEV: 10 kWh
BEV: 25 kWh

Materialbedarf für die Automobilindustrie Materialien in gängigen Fahrzeugbatterien

Kathodenmaterialien:



Anodenmaterialien:



Recycling

Erreichtes Alter der Fahrzeugbatterien (Jahre, %)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	10	20	30	40	50	60	80	100

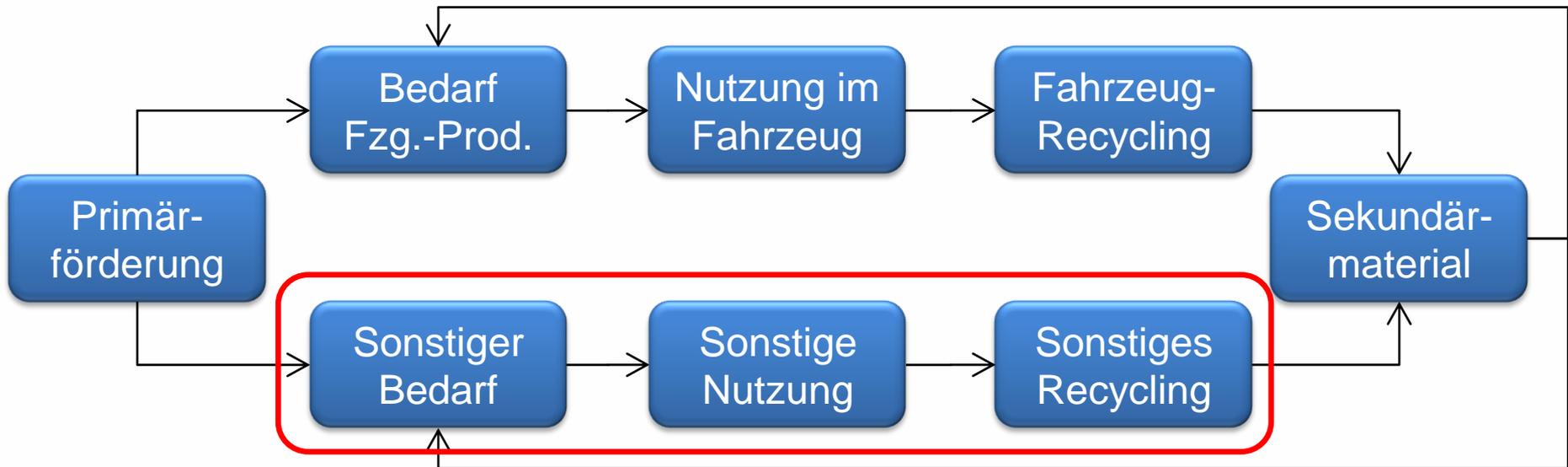
Quelle: Weyhe, 2012

- Recherche zu Batterierecycling:
 - heutige Pilotanlagen
 - Abschätzung des zukünftigen industriellen Recyclings

	Li (NMC)	Li (LiFeP)	Nat. Graphit	Ni	Mn	Co	Fe	P
2015	0 %	0 %	0 %	85 %	0 %	85 %	0 %	0 %
2025	94 %	81 %	0 %	95 %	95 %	95 %	0 %	0 %

Quelle: Buchert 2011a, Buchert 2011b

Materialflussanalyse / Material Flow Analysis (MFA)



Sonstiger Bedarf der betrachteten Materialien

Lithium	Glas & Keramiken, Schmierfette, Aluminiumschmelzen
Graphit	Gießerei, Stahl-Industrie, Schmelztiegel, Elektroden
Nickel	Legierungselement z.B. Chrom-Nickel Stahl
Mangan	Legierungselement z.B. für Eisen und Stahl, Aluminium
Kobalt	Legierungen, Hartmetalle, Magnete, Pigmente, Katalysatoren
Eisen	Eisen- und Stahlwerkstoffe: z.B. Gebäude, Maschinenbau
Phosphor	Dünger

Quellen: Achzet, 2011; Angerer, 2009; EC, 2010

→ Zukünftige Entwicklung von Nutzung und Recycling?

Sonstiger Bedarf der betrachteten Materialien

Vereinfachende Annahme:

- Bedarf für Nicht-Fahrzeugbatterieanwendungen entwickelt sich parallel zum Wirtschaftswachstum: 2,8 % p.a.

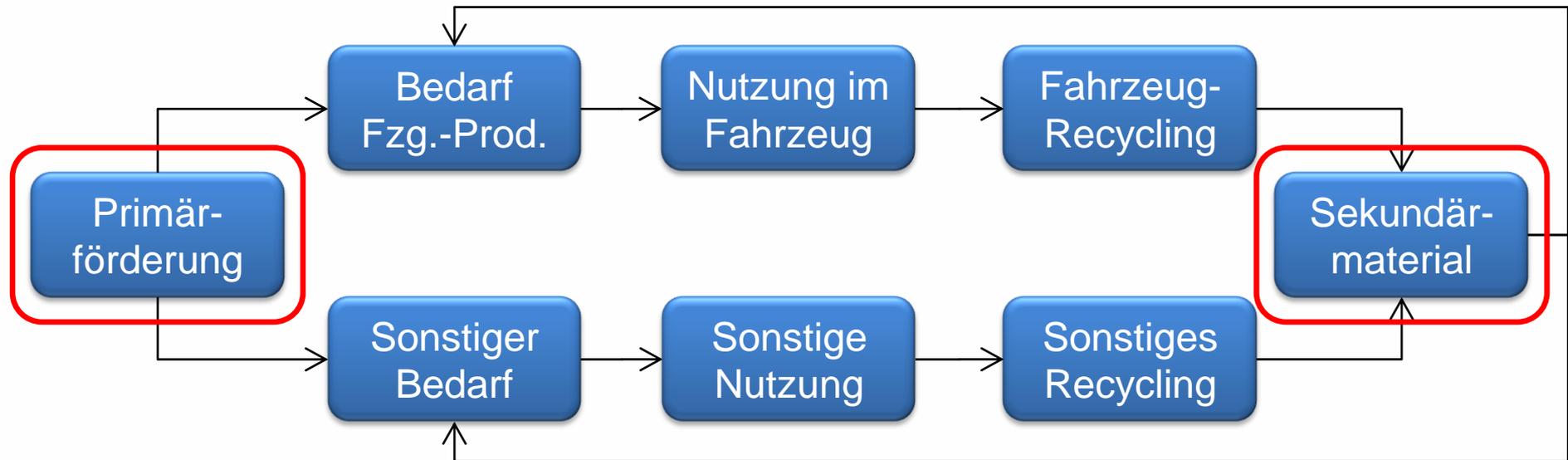
Worst-case Abschätzung

- Recycling bleibt auf heutigem Niveau:

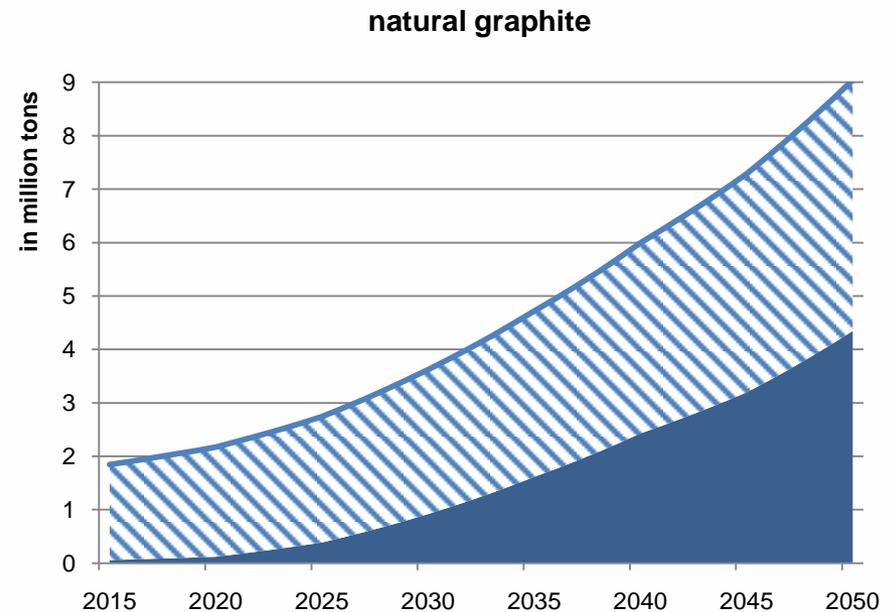
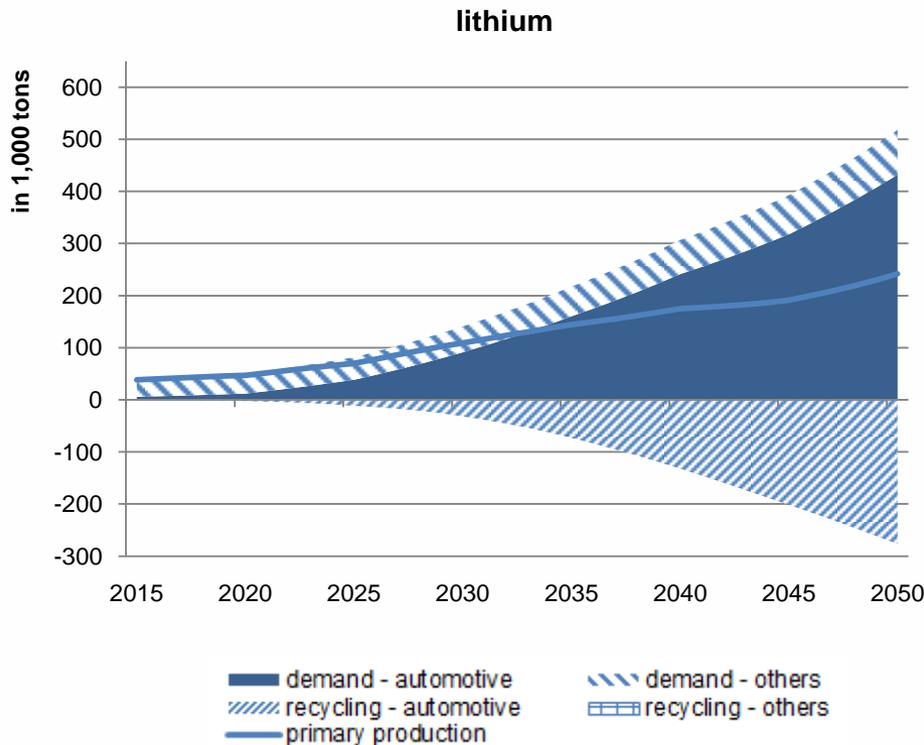
Li	Graphit	Ni	Mn	Co	Fe	P
0 %	0 %	38 %	37 %	32 %	42 %	0 %

Quelle: Graedel, 2011

Materialflussanalyse / Material Flow Analysis (MFA)



Entwicklung des Primärmaterialbedarfs



Notwendiger Ausbau der Materialförderung (Ø / max):

Lithium: 5,4 % p.a. / 11,5 %

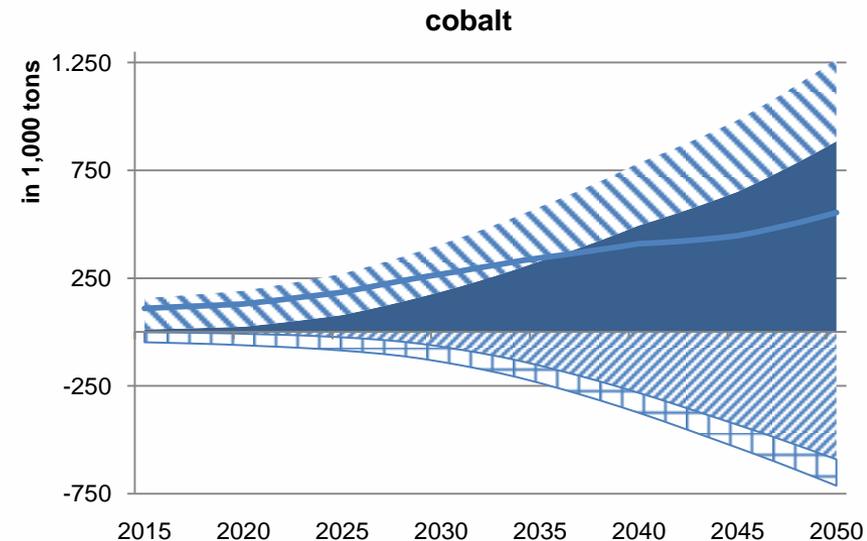
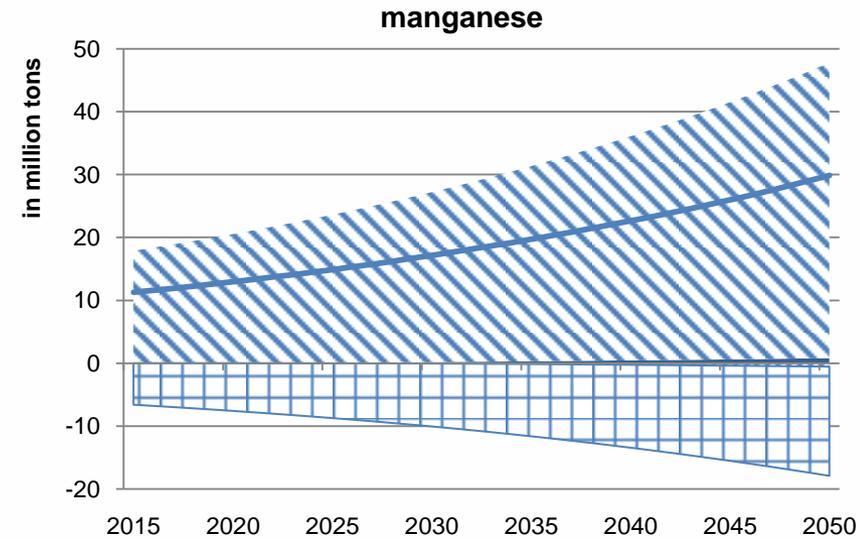
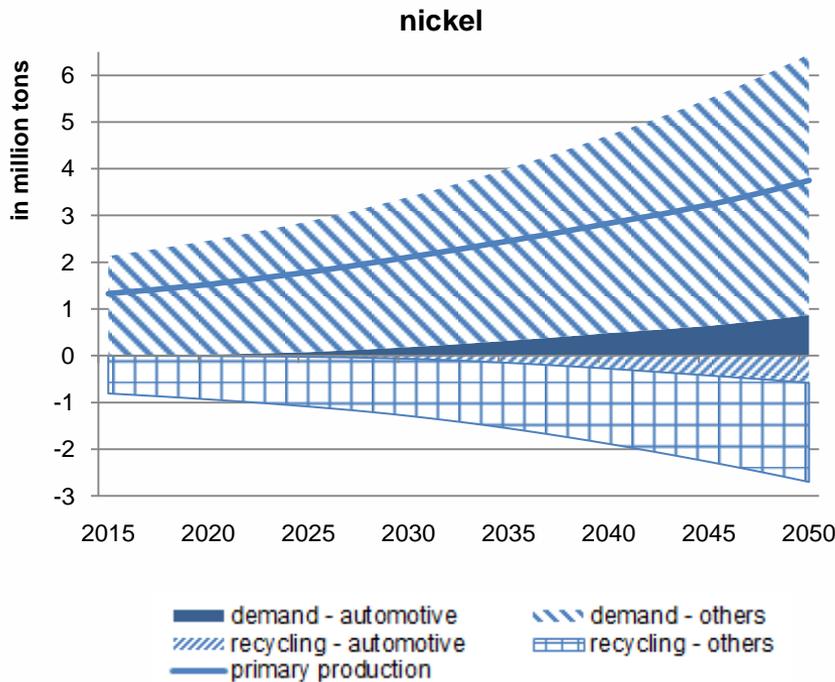
Nat. Graphit: 4,5 % p.a. / 5,9 %

Vergleichswert:

Eisenerz (1950 – 2011)

4,6 % p.a. / 19,8 %

Entwicklung des Primärmaterialbedarfs



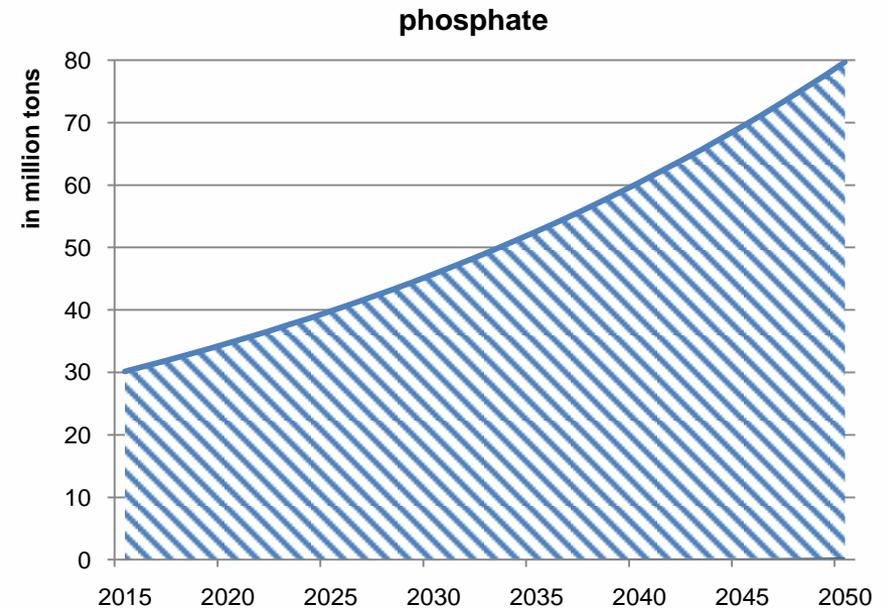
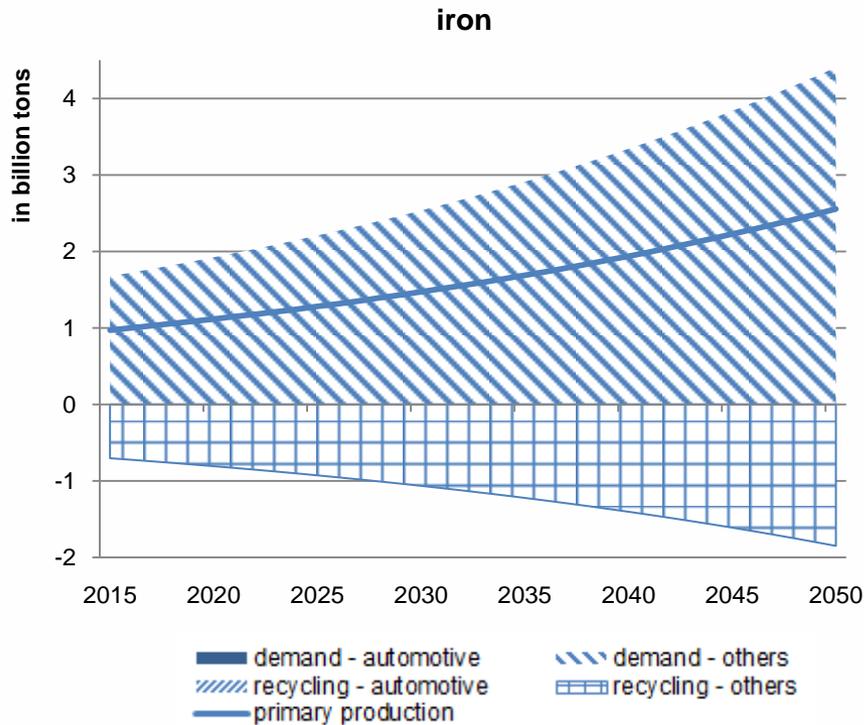
Notwendiger Ausbau der Materialförderung (Ø / max):

Nickel: 3,0 % p.a. / 3,5 %

Mangan: 2,8 % p.a. / 2,9 %

Kobalt: 4,7 % p.a. / 9,5 %

Entwicklung des Primärmaterialbedarfs

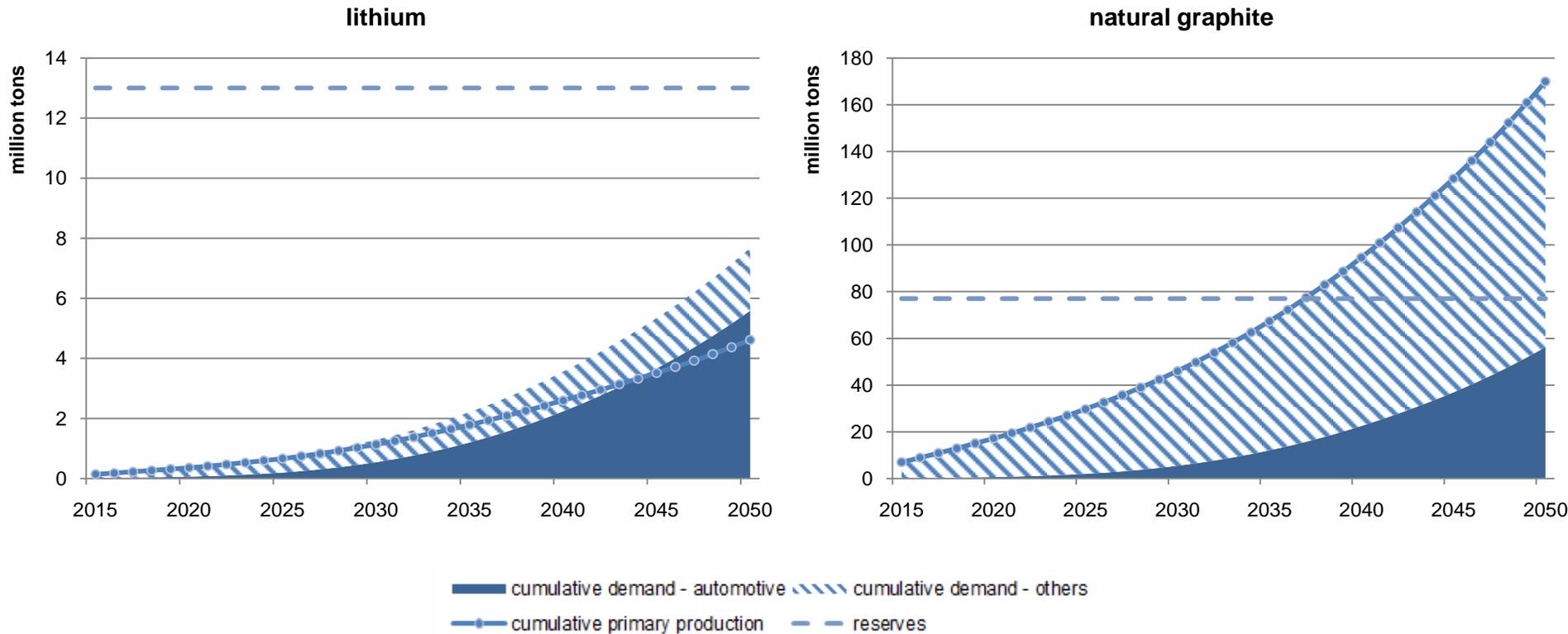


Notwendiger Ausbau der Materialförderung (Ø / max):

Eisen: 2,8 % p.a. / 2,8 %

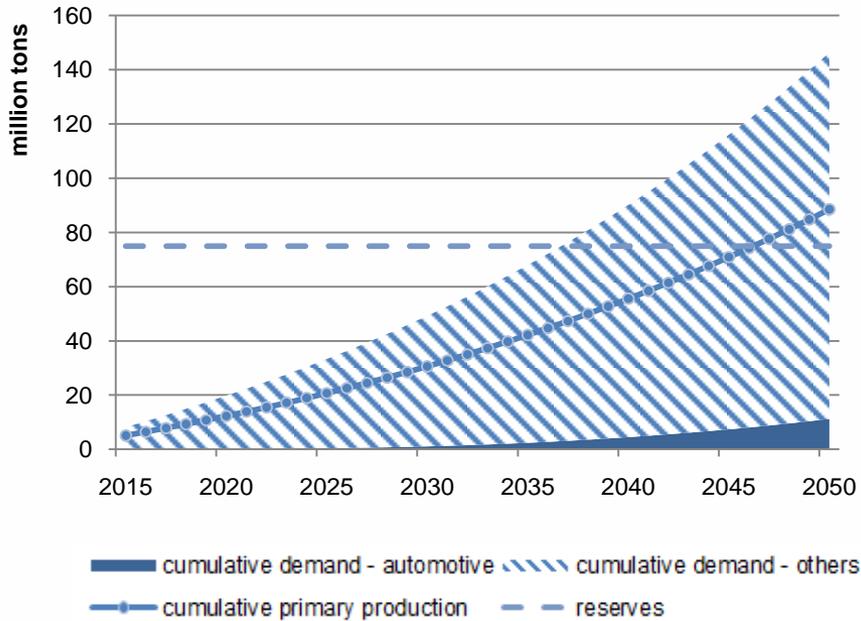
Phosphat: 2,8 % p.a. / 2,8 %

Kumulierter Bedarf und heutige Reserven

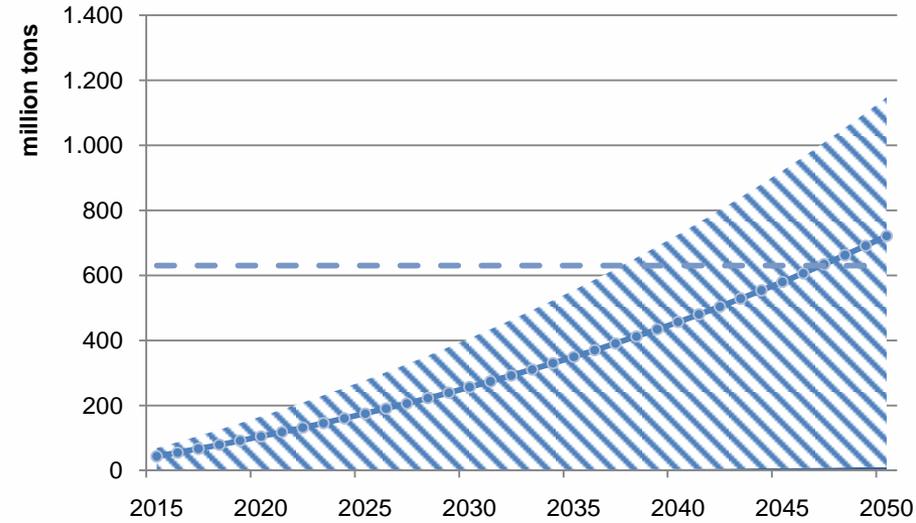


Kumulierter Bedarf und heutige Reserven

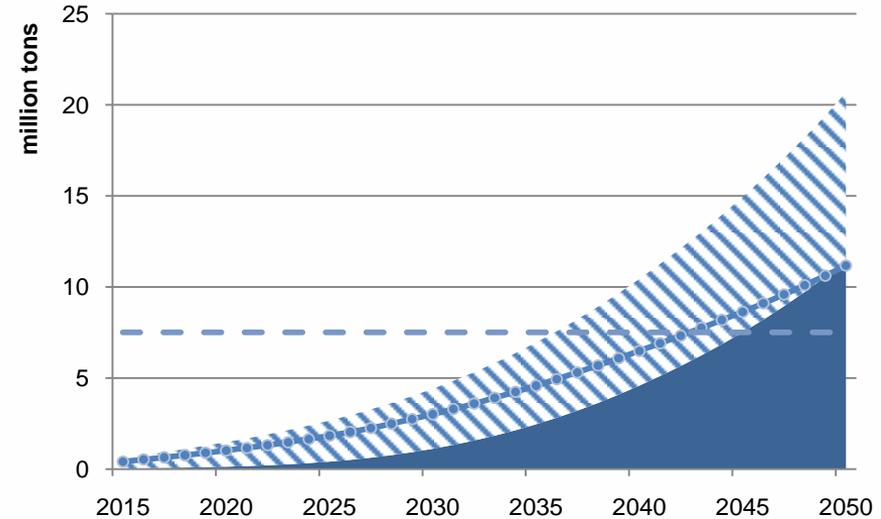
nickel



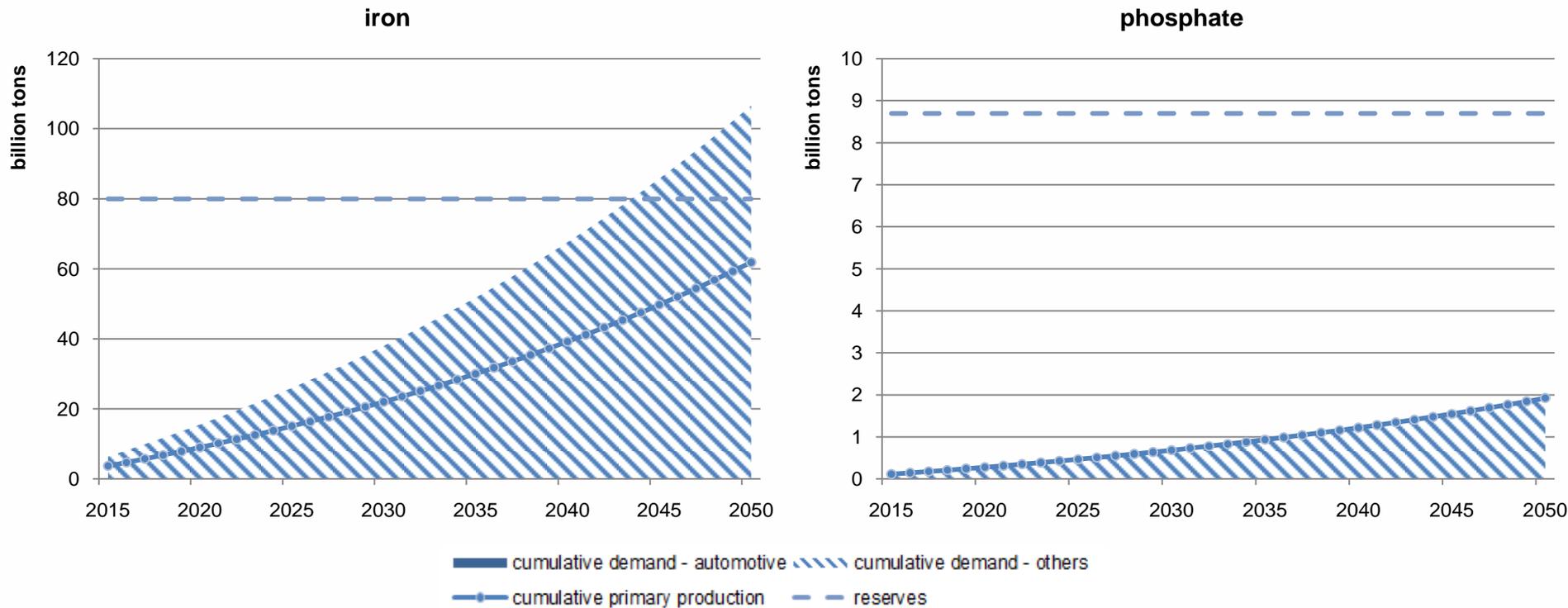
manganese



cobalt

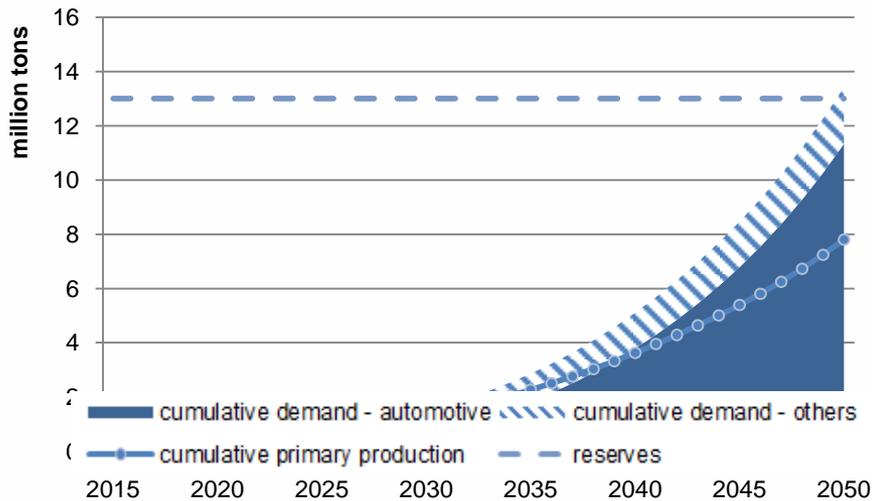


Kumulierter Bedarf und heutige Reserven

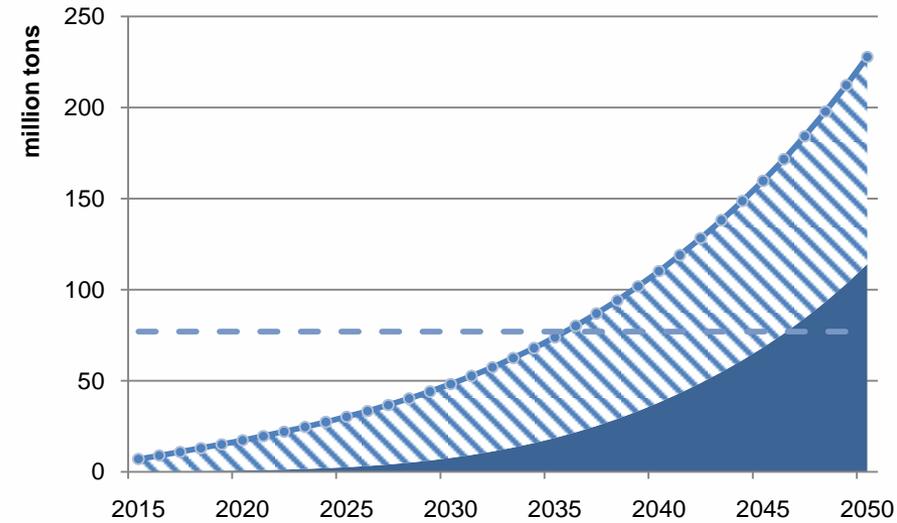


Kumulierter Bedarf und heutige Reserven „economic prosperity scenario“

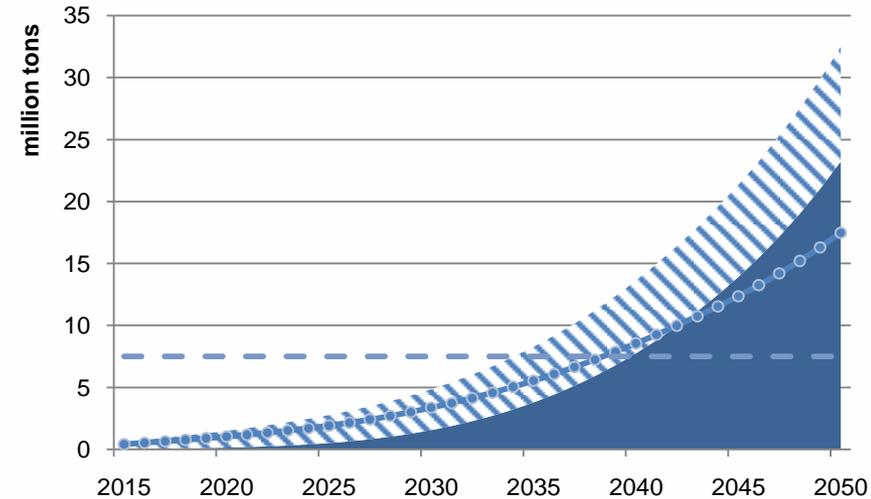
lithium



natural graphite



cobalt



Kumulierter Bedarf und heutige Reserven

Material	Ergebnis der Materialflussanalyse
Lithium	heutige Reserven ausreichend
nat. Graphit	heutige Reserven nicht ausreichend
Nickel	heutige Reserven nicht ausreichend
Mangan	heutige Reserven nicht ausreichend
Kobalt	heutige Reserven nicht ausreichend
Eisen	heutige Reserven ausreichend
Phosphor	heutige Reserven ausreichend

Zusammenfassung und Diskussion

- Der Rohstoffbedarf für Batterien in Elektro- und Hybridfahrzeugen verursacht keine unlösbaren Versorgungsengpässe
- Der Einsatz von LiFePO_4 -Batterien erscheint deutlich unbedenklicher als der Einsatz von Zellen mit Nickel-Mangan-Kobalt-Kathode
 - möglicher Kostendruck: Nickel, Mangan und besonders Kobalt
 - technische Nachteile von LiFePO_4 Batterien (z.B. niedrigeres Spannungsniveau) müssen überwunden werden
- Zusätzliche Zukunftstechnologien, welche Lithium benötigen (z.B. Kernfusion) können die Versorgungssituation deutlich verschärfen
- Keine Aussage über politisch oder wirtschaftlich verursachte Versorgungsengpässe: Lithium, natürliches Graphit, Kobalt

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

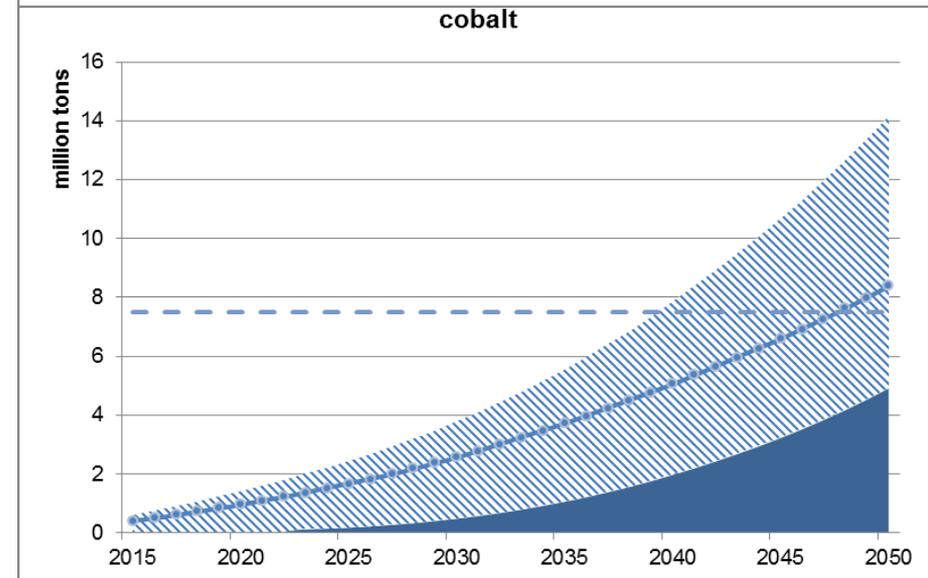
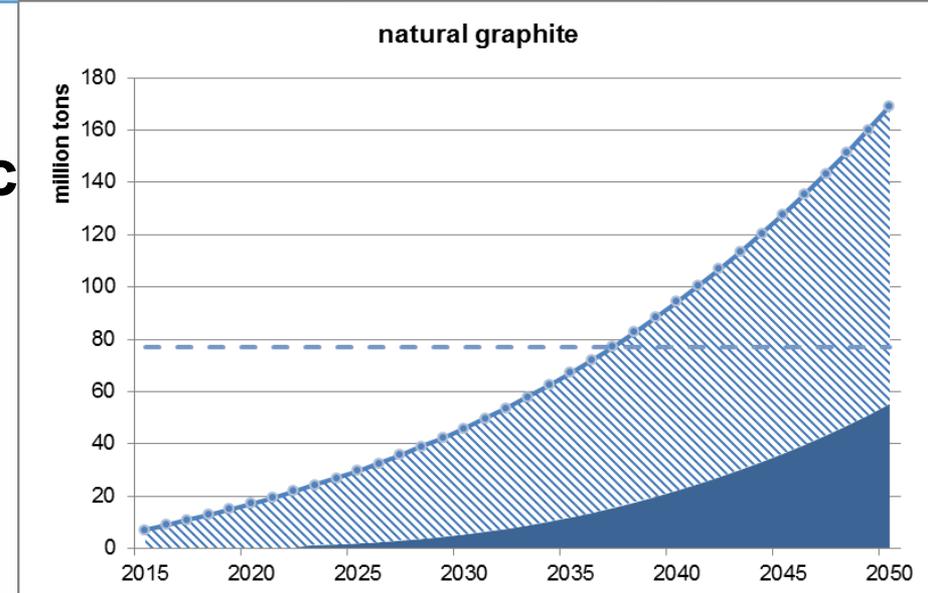
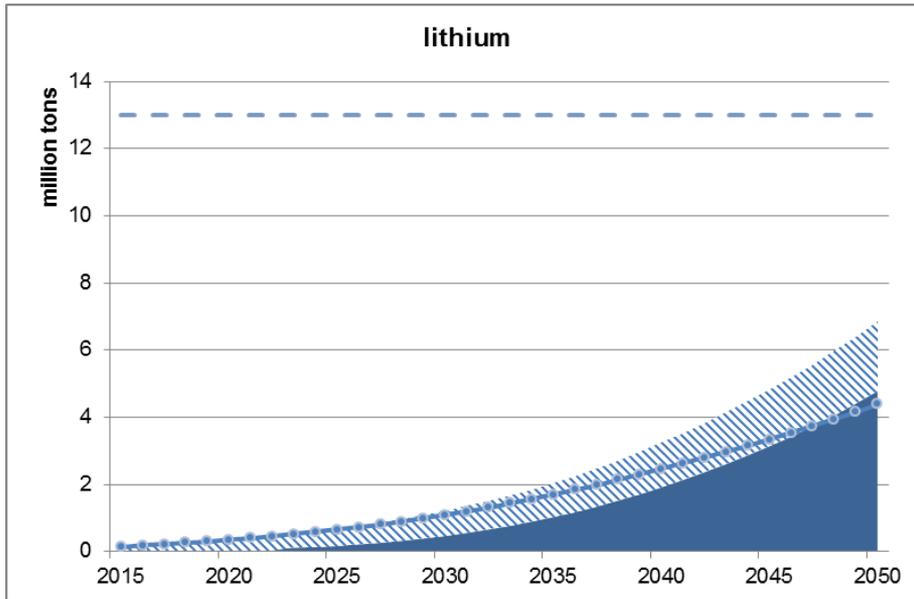


*Recycled glass, recycled paper label, recycled plastic cork...
I hate to think where the wine comes from.*

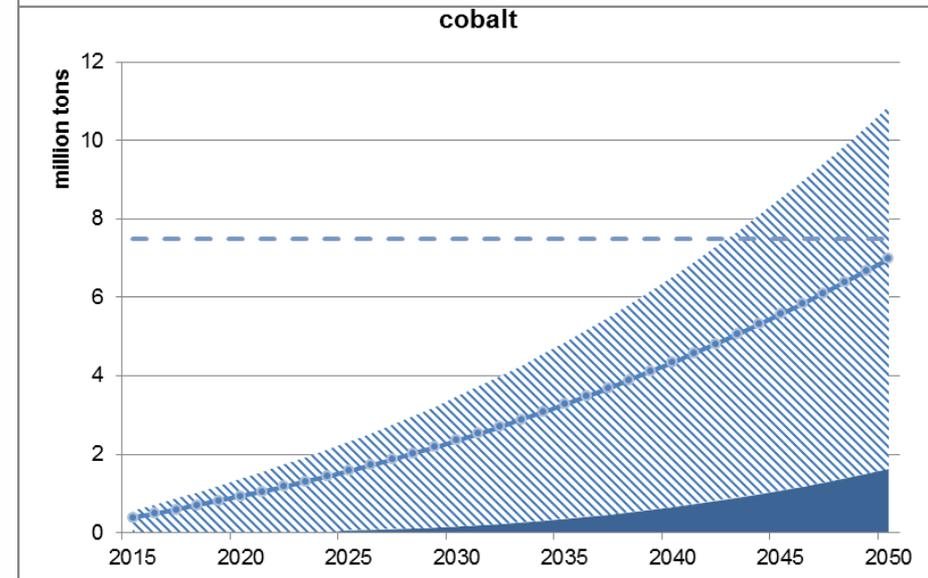
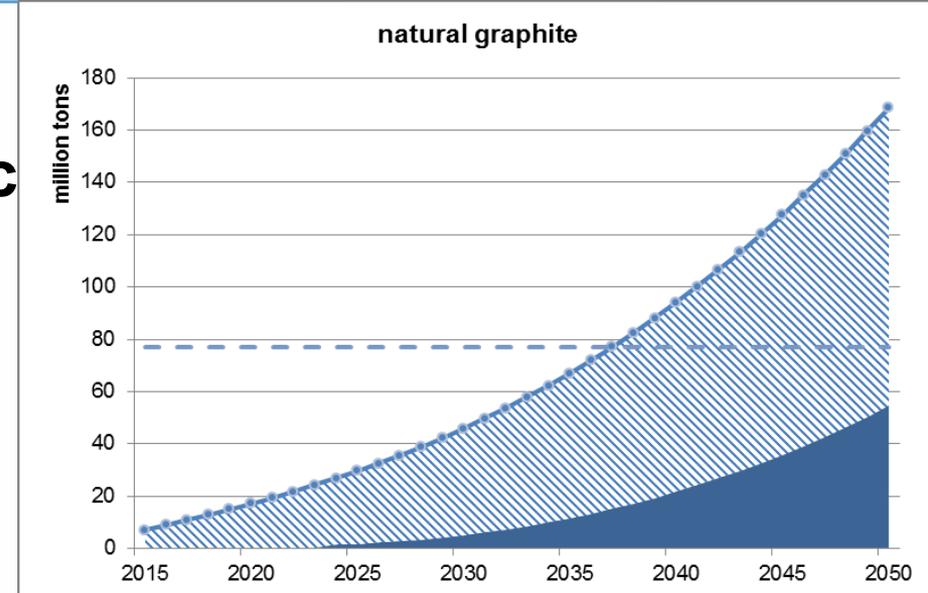
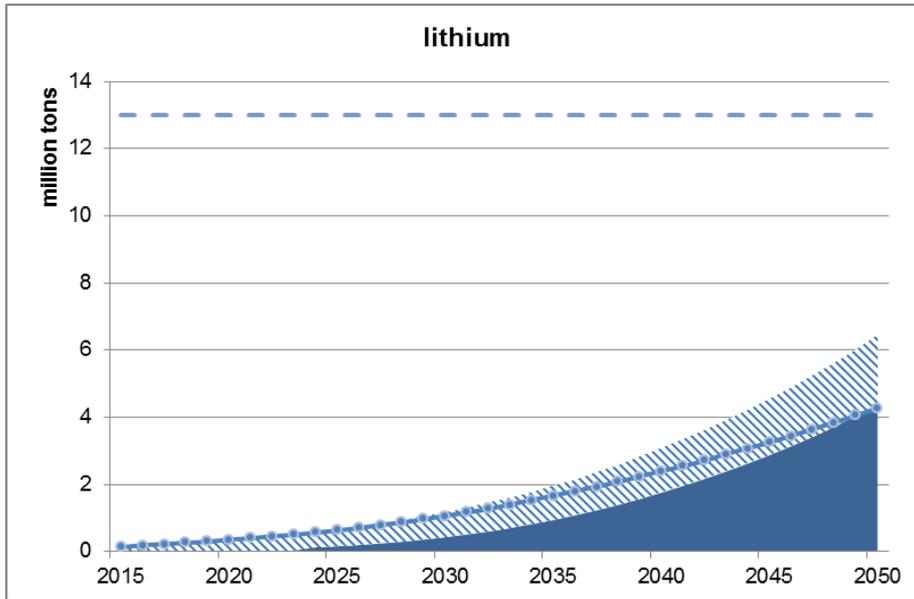
Literatur

- Achzet, 2011 B. Achzet, et al., Materials critical to the energy industry. An introduction., 2011.
- Angerer, 2009 G. Angerer, et al., Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 2009.
- Brunner, 2004 P. H. Brunner, and H. Rechberger, Practical Handbook of Material Flow Analysis. Lewis Publishers, 2004.
- Buchert, 2011a M. Buchert, et al., Verbundprojekt: Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRi, Öko-Institut e.V., Freiburg, 2011.
- Buchert, 2011b M. Buchert, et al., Ökobilanz zum „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien (LithoRec)“, Öko-Institut e.V., Freiburg, 2011.
- EC, 2010 European Commission, Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, Critical raw materials for the EU, 2010.
- Graedel, 2011 T. Graedel, et al., Recycling Rates of Metals - A Status Report, United Nations Environment Programme, 2011.
- USGS, 2013 U.S. Geological Survey: Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States
- USGS, MCS U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries
- Weltbank The World Bank, World Development Indicators – Motor vehicles (per 1,000 people).
- Weyhe, 2012 R. Weyhe, Recycling von Lithium-Ion-Batterien, in: Recycling und Rohstoffe, Neuruppin, 2012, pp. 505–525.

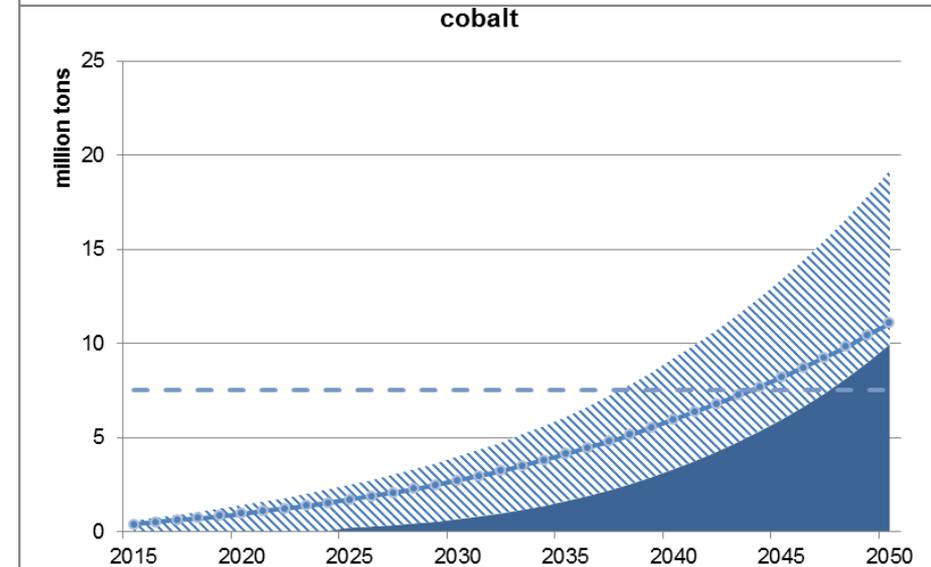
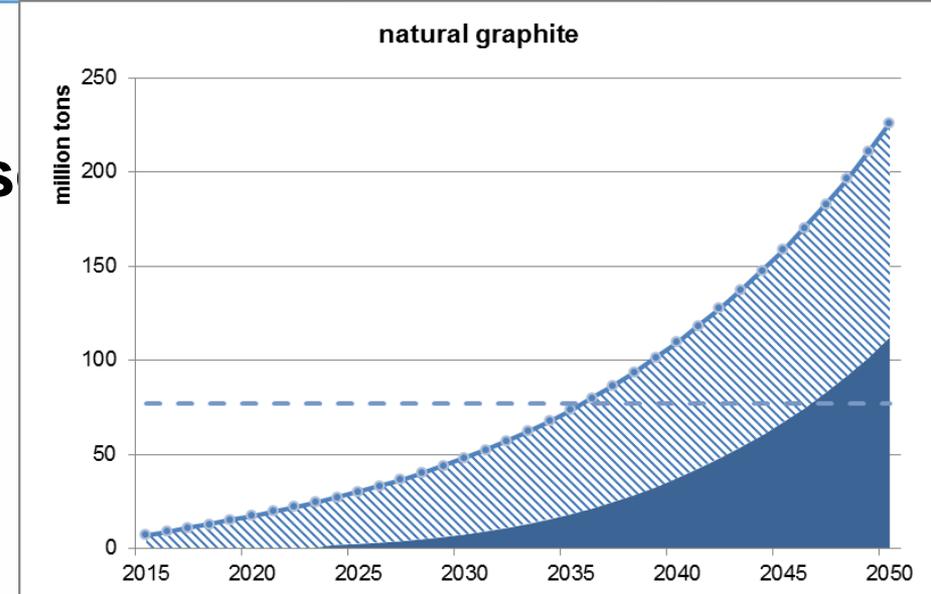
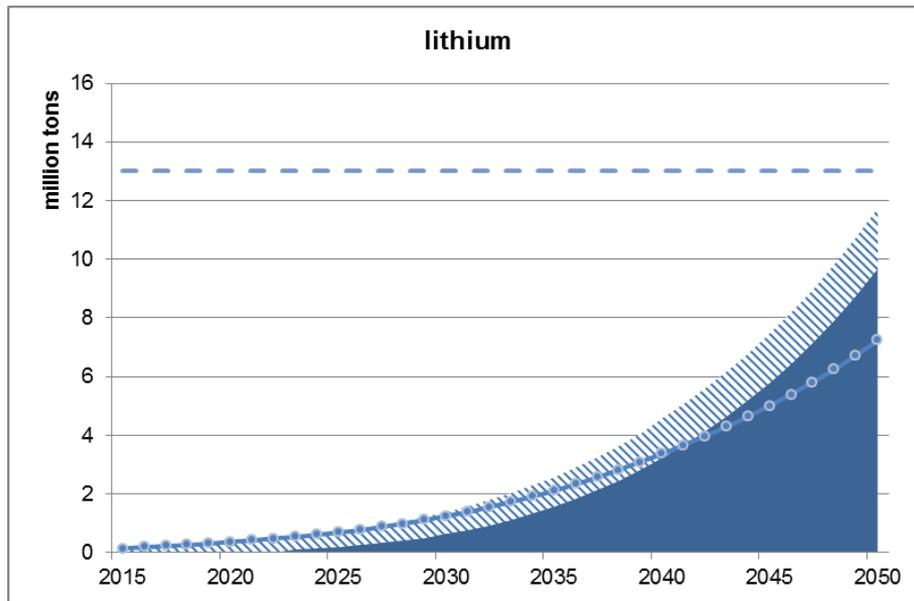
Kumulierter Bedarf und heutige Reserven – baseline scenario 30% Li(NMC) – 70 % LiFePO₄



Kumulierter Bedarf und heutige Reserven – baseline scenario 10% Li(NMC) – 90 % LiFePO₄



Kumulierter Bedarf und heutige Reserven – ec. prosp. s 30% Li(NMC) – 70 % LiFePO₄



Kumulierter Bedarf und heutige Reserven – ec. prosp. 2015-2050 10% Li(NMC) – 90 % LiFePO₄

