

Souveränität Deutschlands sichern

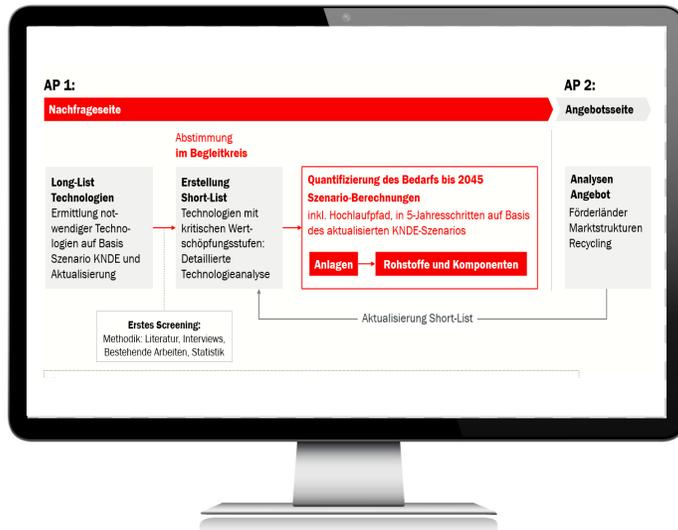
**Resiliente Lieferketten  
für die Transformation  
zur Klimaneutralität 2045**



07.11.2023

# Nutzung wissenschaftlicher Methoden und Input aus der Praxis

## Wissenschaftliche Methoden



## Diskussion der Ergebnisse

### Begleitkreis

- Auswärtiges Amt
- Agora Energiewende, Agora Industrie
- Agora Verkehrswende
- BDEW
- BMWK
- Bundeskanzleramt
- Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI)
- Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE)
- Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
- Deutsche Umwelthilfe (DUH)
- European Climate Foundation (ECF)
- Stiftung KlimaWirtschaft
- Umweltbundesamt
- Verband der Chemischen Industrie (VCI)
- WWF Deutschland.

### Fachworkshops

mit Industrie, Politik und NGOs



**Erneuerbare Energien**



**Automotive**

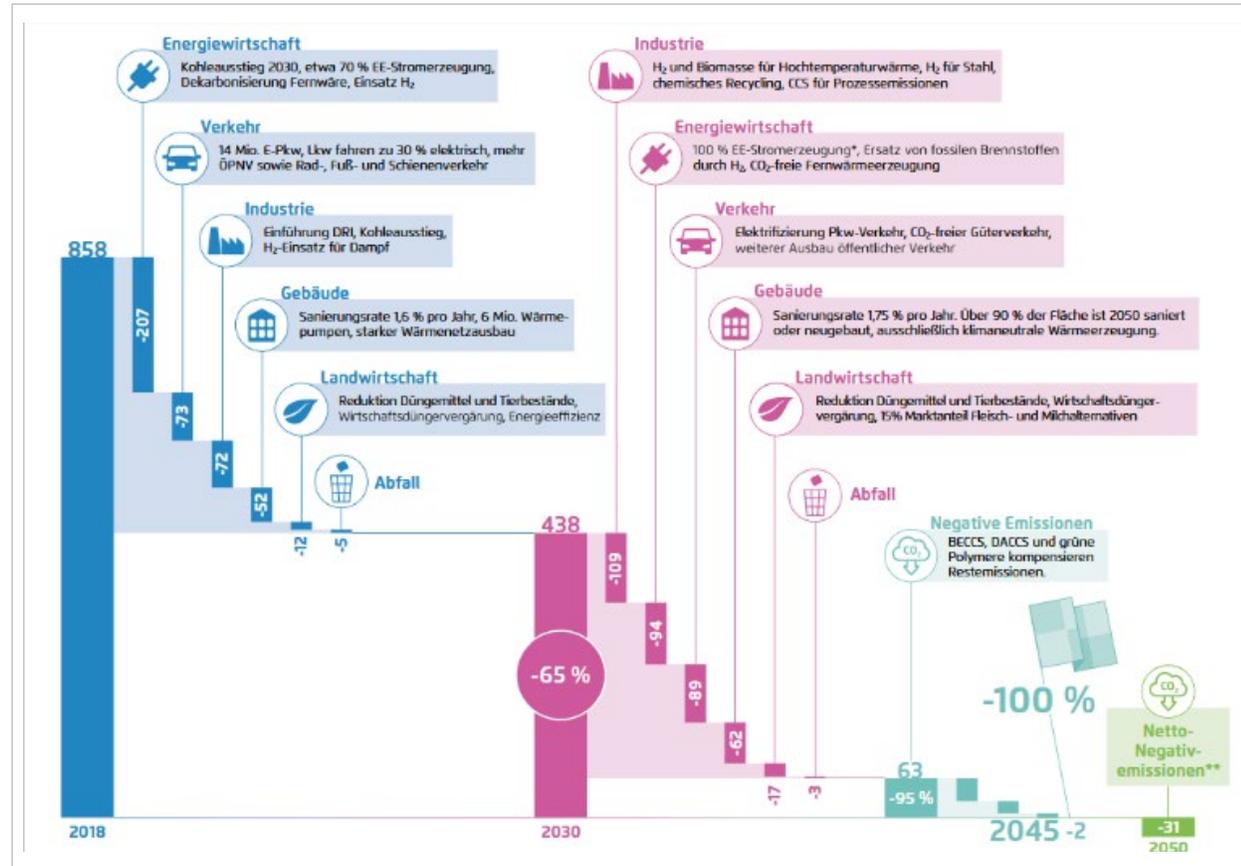


**Stahl**

Desk Research **Datenanalyse**  
**Modellierung** Datenvalidierung

# Grundlagenstudie „Klimaneutrales Deutschland 2045“

## Grundlage für diese Studie: Klimaneutrales Deutschland 2045 (2021)

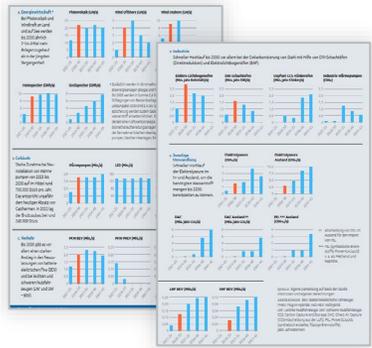


### Fokussierte Updates

- Schnellerer Ausbau Solar und Wind
- 15 Mio. E-Pkw in 2030
- 6 Mio. Wärmepumpen

# Wie sind wir vorgegangen?

## 1 Schlüssel-technologien



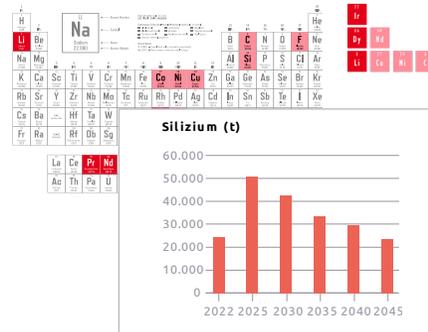
Identifikation von Schlüssel-Technologien für Transformation

## 2 Kritische Lieferketten



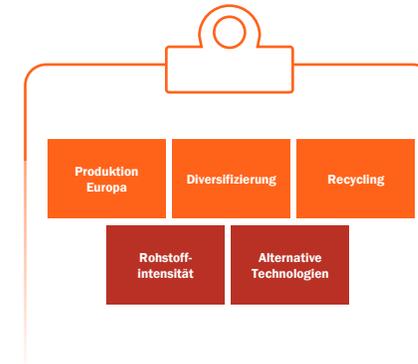
Analyse der kritischen Elemente entlang der gesamten Lieferketten der Schlüssel-technologien

## 3 Quantifizierung Rohstoffe



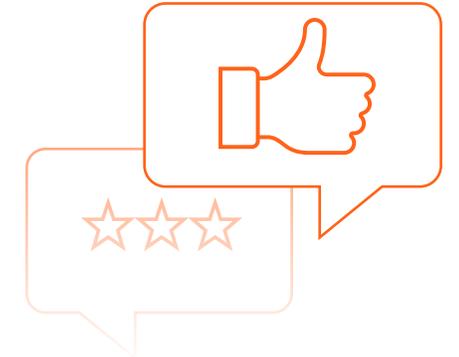
Quantifizierung der kritischsten Rohstoffe

## 4 Maßnahmen



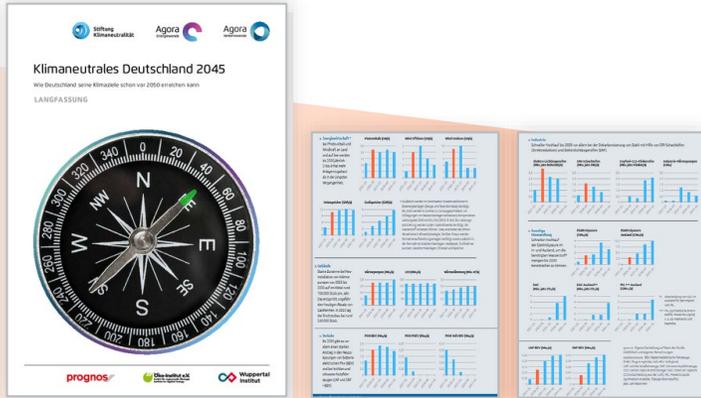
Strategien und konkrete Maßnahmen

## 5 Politische Empfehlungen



Politische Empfehlungen

# Identifikation der kritischen Transformationstechnologien



Technologie	Sehr hohe THG-Reduktion bis 2030/45	Starker Hochlauf bis 2030/45	Kaum kurzfristige Alternativen	Aktuell hohe Konzentration bei Industriellen (K) (Teilkomponenten (K)) oder Gütern (G)
<b>Windkraft</b>	X	X	X	X
<b>Photovoltaik</b>	X	X	X	X
<b>Carbon Capture &amp; Storage (CCS)</b>	00	X	X	X
<b>Bioenergie</b>	00			
<b>Wärmepumpen</b>	00	00		
<b>Elektrolyseure</b>	00			
<b>Elektromotoren</b>	00	00		
<b>Elektrolyseure</b>	X	X	X	X
<b>Batterieleistungsgeräte (EV, PHEV, LKW, Busse, Schiffe, Luftfahrzeuge)</b>	X	X	X	X
<b>Wärmepumpen</b>	X	X	X	X
<b>LED</b>	X	X	X	X
<b>Elektro-Lichtbogenöfen (Stahl)</b>	X	X	X	X
<b>CO<sub>2</sub>-Schmelzen (Stahl)</b>	X	X	X	X
<b>Industrie-Wärmepumpen</b>	00	00	X	00
<b>Industrie-Wärmepumpen</b>	00	00	X	00
<b>Wasserstoffnetz</b>	00	00	X	
<b>Stromnetz</b>	00	00	X	
<b>CCS-Netz</b>	00	00	X	

- **Photovoltaik**
- **Windkraft**
- **Lithium-Ionen-Batterien**
- **Permanentmagnete**
- **Elektrolyseure**
- **Wärmepumpen**
- **Grüner Stahl (DRI-Anlagen)**

## Technologiebedarf bis 2045

30 Technologien

## Kriterien für Priorisierung

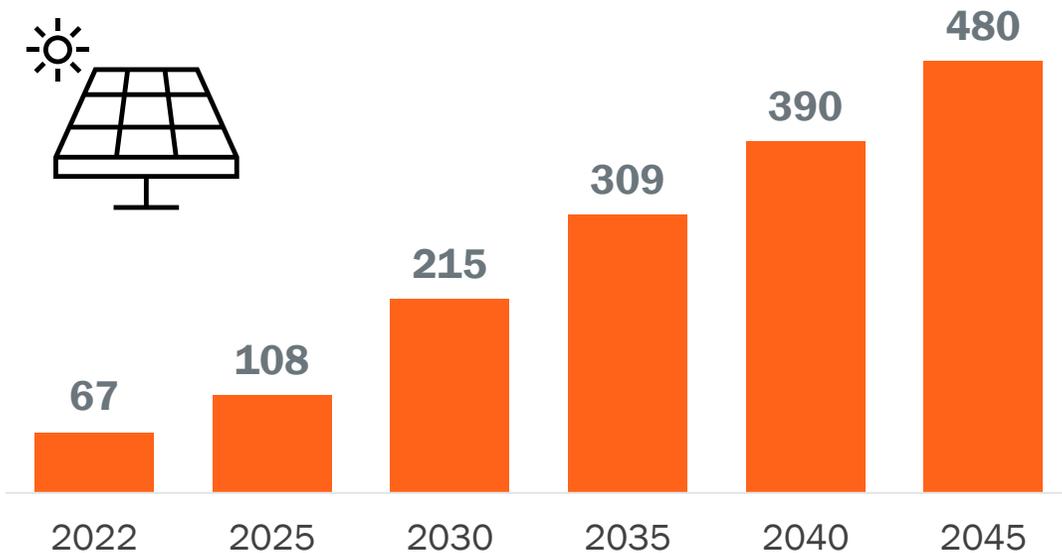
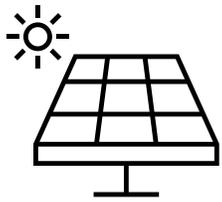
- Hohe Einsparung von Treibhausgasen
- Kaum kurzfristige Alternativen
- Starker Hochlauf bis 2030
- Hohe Angebotskonzentration

## 7 Schlüsseltechnologien

Voraussetzung für die **Transformation und Modernisierung** der deutschen Wirtschaft

## Schneller Ausbau von Photovoltaik

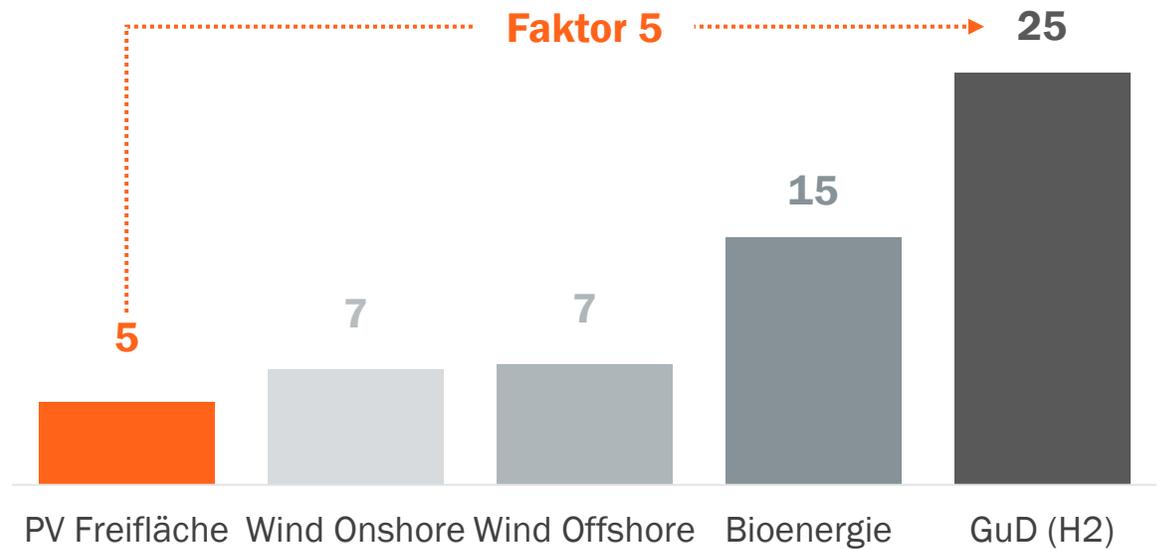
Installierte Leistung in GW in Deutschland



- Starker Hochlauf bereits ab Mitte der 2020er Jahre
- Sehr hoher Investitionsbedarf

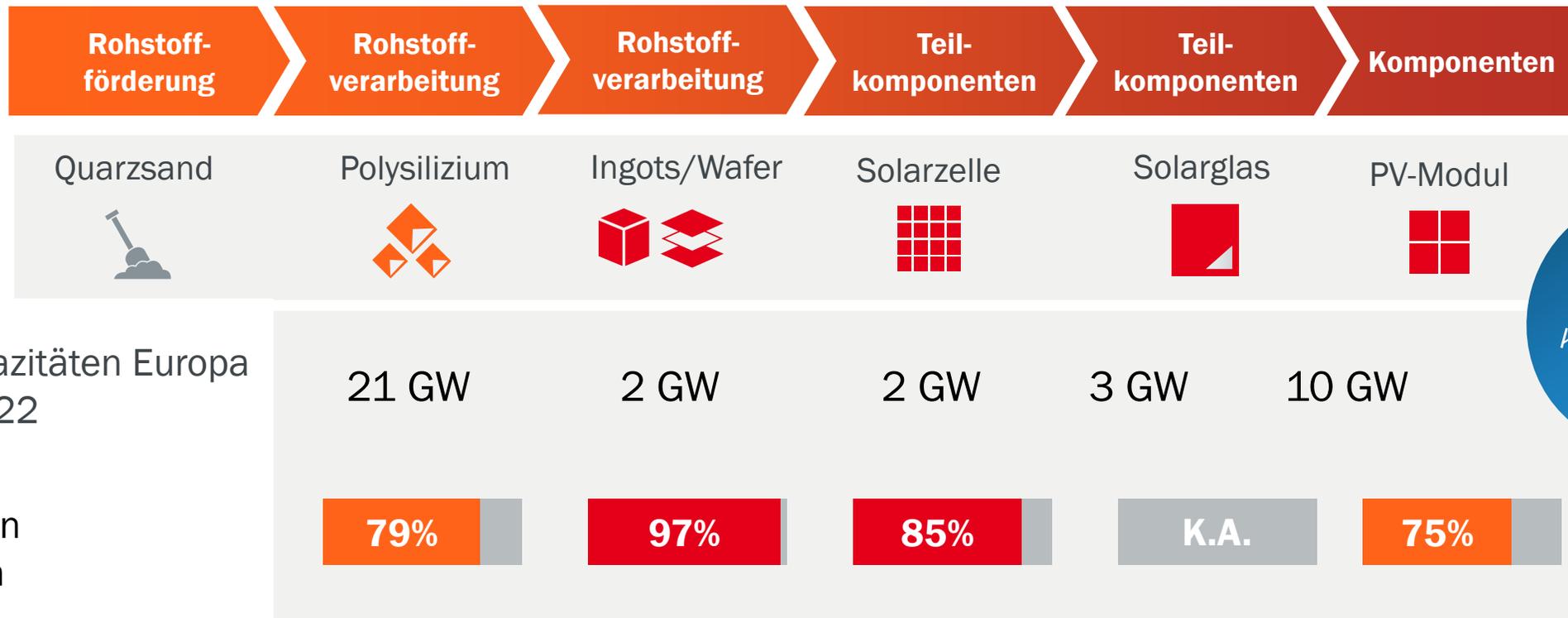
## PV ist die günstigste CO<sub>2</sub>-freie Stromerzeugung

Kosten in Cent<sub>2022</sub>/kWh



**~30%** PV-Stromerzeugung in Deutschland in 2030

## Kaum Fertigungskapazitäten in Europa



EU-Ziel:  
30 GW  
Fertigungs-  
kapazitäten  
bis 2025

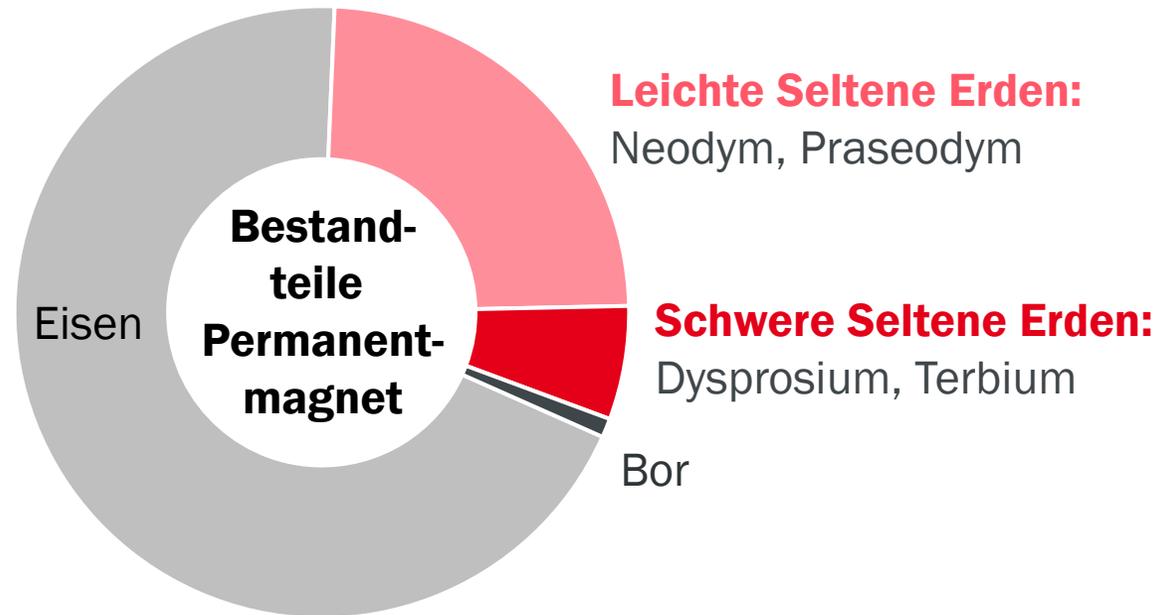
**75 bis 97 % der Rohstoffe und Komponenten entfallen auf China.**

# Permanentmagnete für Elektromobilität und Windkraft

## Permanentmagnete:

Hochleistungsmagnete, die in Generatoren und Elektromotoren eingebaut werden.

**Vorteile:** kompakt, hohe Leistungsdichte, höhere Effizienz



## Verwendung in neuen Anlagen/Produkten:

 **95 %** Elektro Pkw

 **100 %** Elektro Lkw

 **95 %** Offshore Wind

 **25 %** Onshore Wind

## Hohe Produktionskonzentration in China auf allen Stufen der Lieferkette



Top-3-Länder nach Produktionskapazität	Förderung Seltener Erden		Leichte Seltene Erden		Schwere Seltene Erden		Seltene Erdmetalle		Permanentmagnete		
	Rang	Land	Anteil	Rang	Land	Anteil	Rang	Land	Anteil	Rang	Land
1.	China	58%	China	87%	China	100%	China	91%	China	94%	
	2.	USA	14%	Malaysia	11%		Japan	7%	Japan	5%	
	3.	Myanmar	12%	Indien	1%		ROW	1%	Deutschland	1%	
Deutschland										1%	
Restliches Europa			1%				1%				

# Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität

## Hohe Marktmacht Chinas

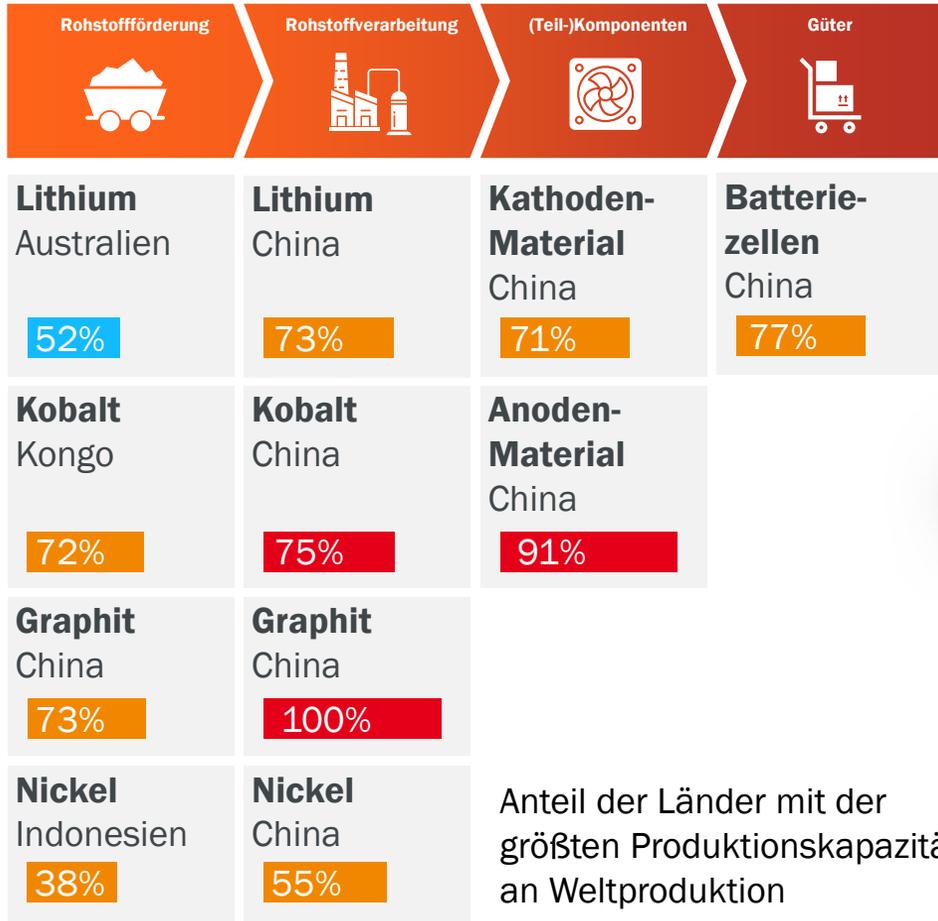
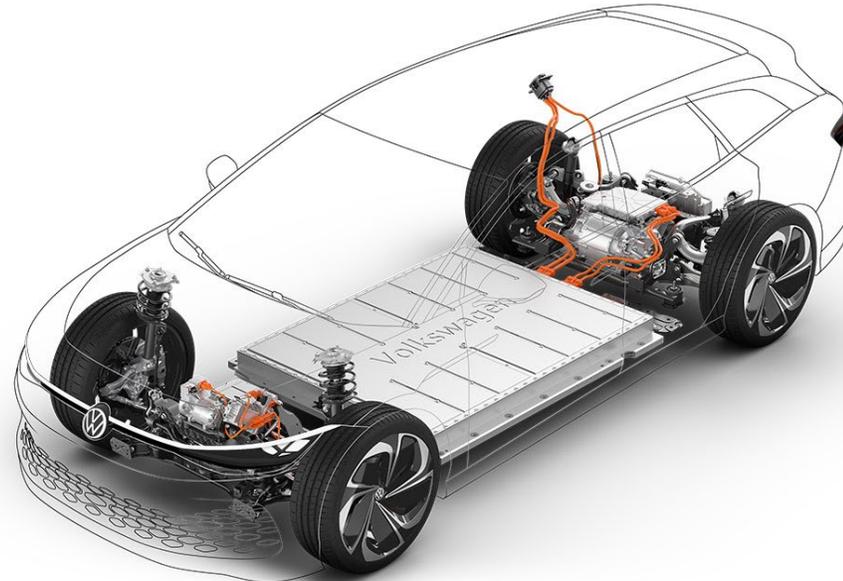
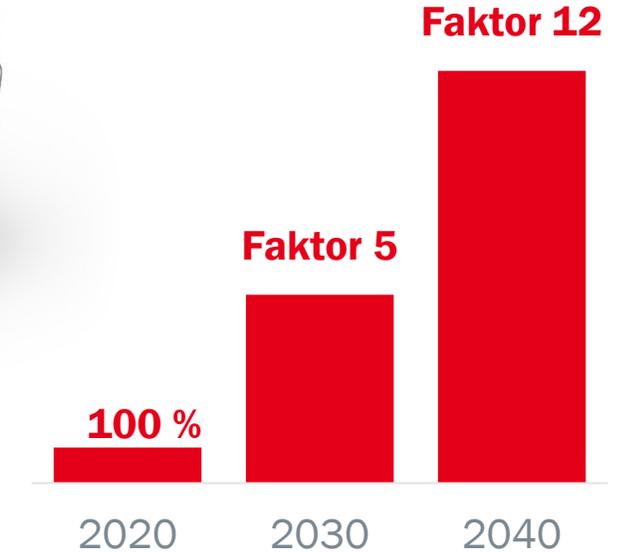


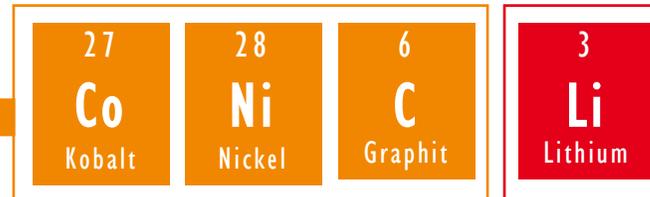
Foto: Volkswagen



## Engpass Lithium: Verfünfachung der Weltnachfrage bis 2030



Anteil der Länder mit der größten Produktionskapazität an Weltproduktion



Anstieg der Nachfrage nach Lithium durch Elektromobilität im Vergleich zu 2020

# Iridium

77  
Ir  
Iridium

## Sehr seltenes Metall

Vorkommen in Erdkruste:  
1 : 2,5 Milliarden

8 Tonnen weltweite Förderung

Drittteuerstes Metall der Welt

Unempfindlich gegenüber Säuren



**85 %**

Förderung in Südafrika

## Iridium ist ein Begleitmetall bei der Platinförderung

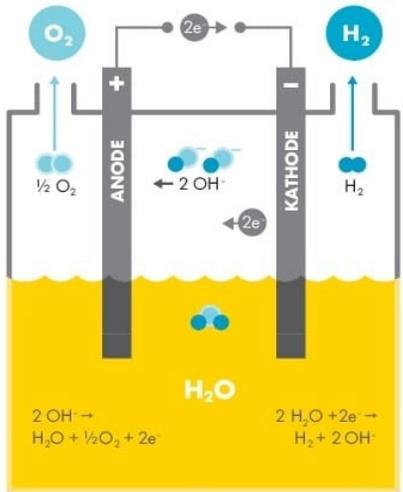
40 % des Platins werden für Auto-Kats verwendet, großes Recyclingpotenzial.

**Platin- und damit Iridiumförderung wird voraussichtlich nicht gesteigert.**

# Elektrolyseure für grünen Wasserstoff

## Technologien

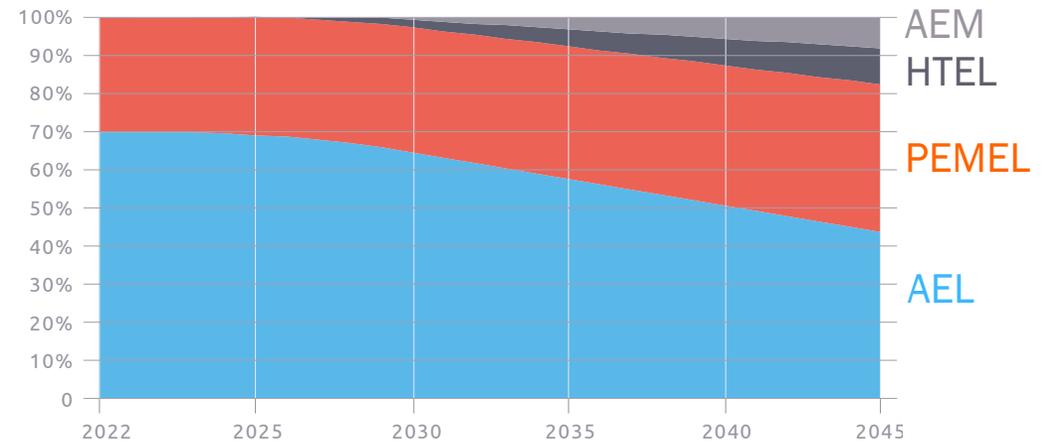
Alkalischer Elektrolyseur (AEL)	ausgereift
Protonenaustauschmembran-Elektrolyseur (PEM-Elektrolyseur)	ausgereift
Hochtemperatur-Elektrolyseur (HTEL)	Entwicklung
Anionenaustauschmembran-Elektrolyseur (AEM)	Pilotstadium



**PEM-Elektrolyseure:** Besonders geeignet für Stromsysteme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien

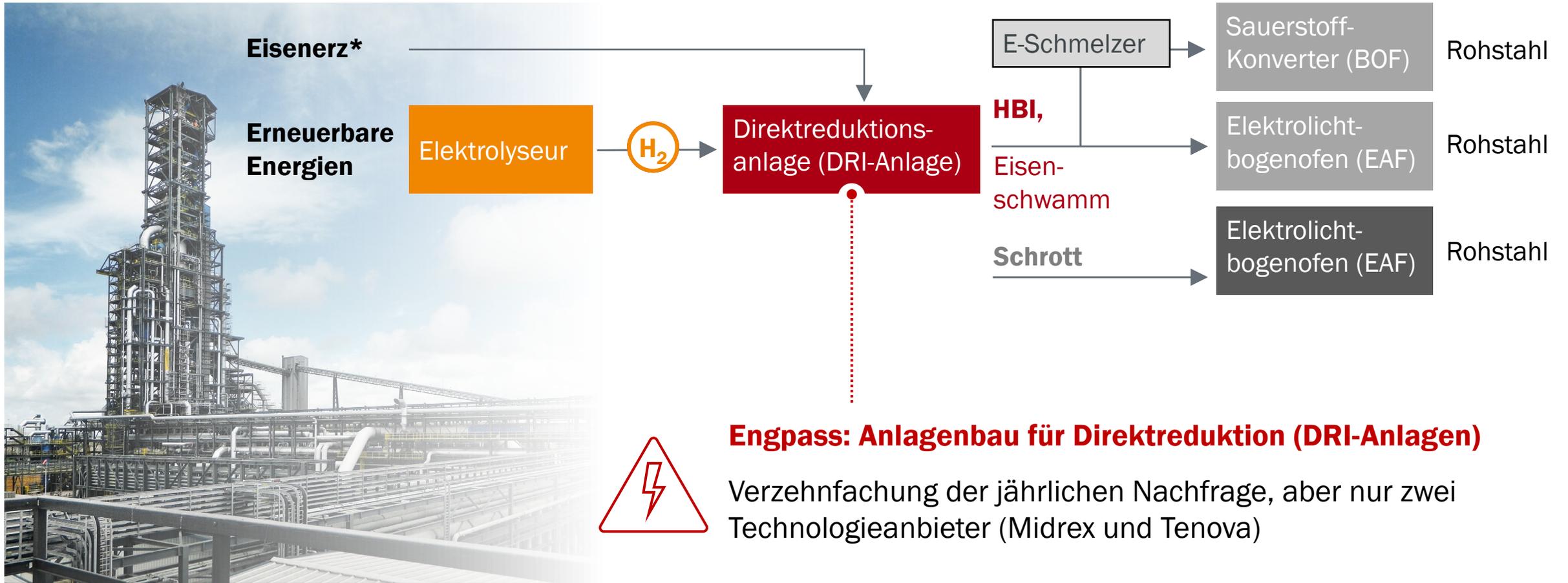
- + Hohe Flexibilität:
  - + Große Leistungsdichte
  - + Hohe Effizienz
  - + Hohe Gasreinheit
- Iridium

## Marktanteil wird ansteigen



# Herstellung von grünem Stahl

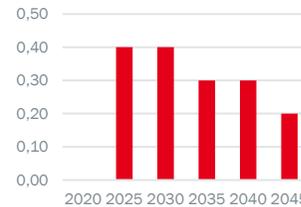
## Klimaneutraler Stahl



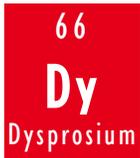
# Quantifizierung der 7 kritischsten Rohstoffe

## Jährlicher Bedarf von 2020 bis 2045 für die 7 Schlüsseltechnologien

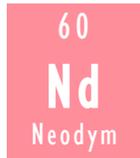
**Elektrolyseure (PEM)**



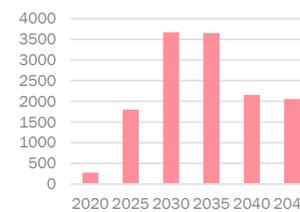
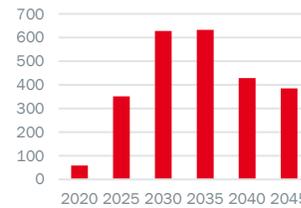
**Permanentmagnete**



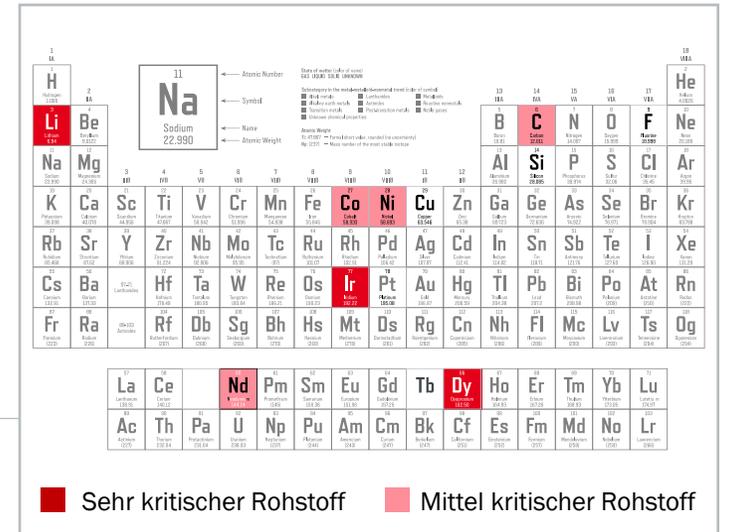
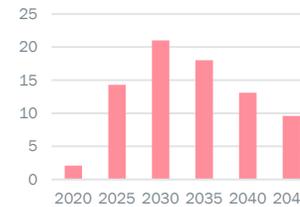
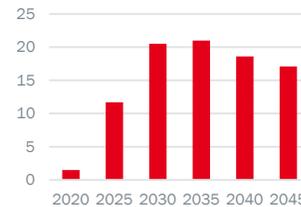
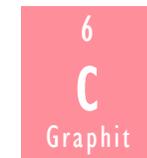
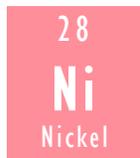
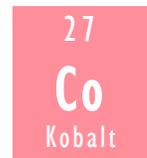
Schwere Seltene Erden\*



Leichte Seltene Erden\*\*



**Lithium-Ionen-Batterien**



\* inkl. Terbium (Tb), \*\* inkl. Praseodym (Pr)

# Maßnahmen und Strategien

## Angebotsseite

Produktion Europa

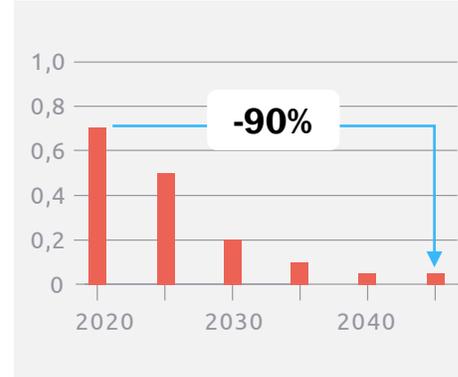
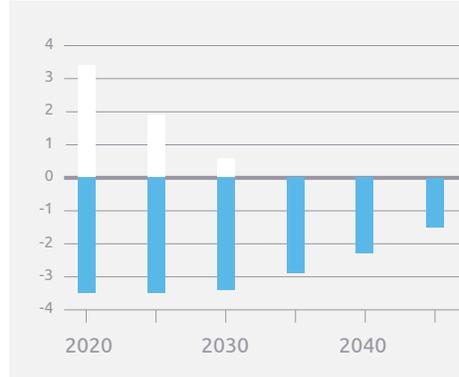
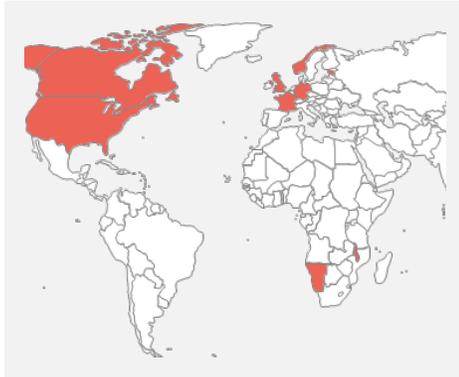
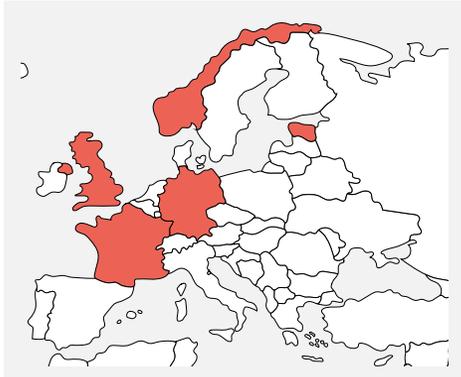
Diversifizierung

Recycling

## Nachfrageseite

Rohstoffintensität

Alternative  
Technologien



AEL PEMEL, HTEL, AEM  
DD-PMSG, GB-PMSG,  
GB-DFIG, DD-EESG  
NMC111, NMC811, LFP,  
NMC 622

## Produktion in Europa



### Technologienaufbau

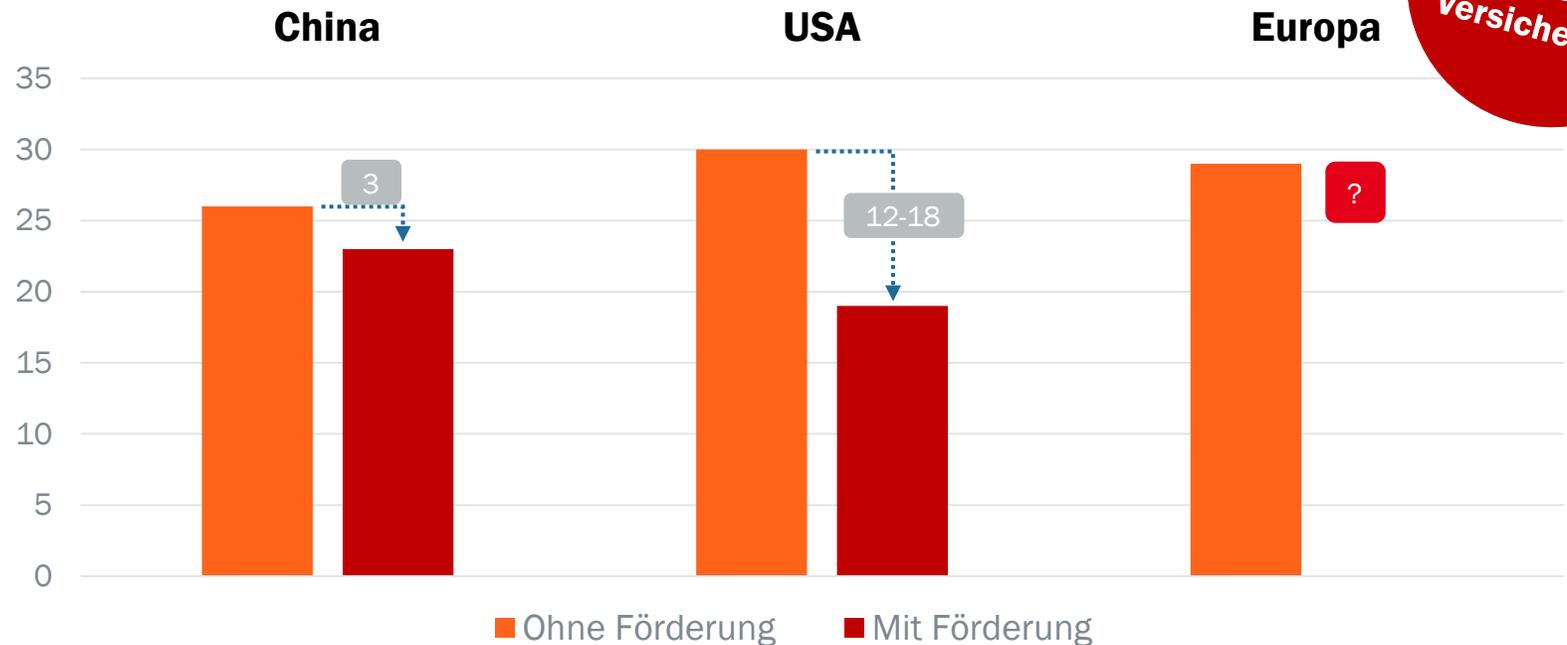
- Photovoltaik
- Permanentmagnete
- Lithium-Ionen-Batterien
- Elektrolyseure

### Bestehende Kapazitäten sichern und transformieren

- Windkraft
- Wärmepumpen
- Grüner Stahl (DRI-Anlagen)

### Herausforderung Subventionen am Beispiel PV

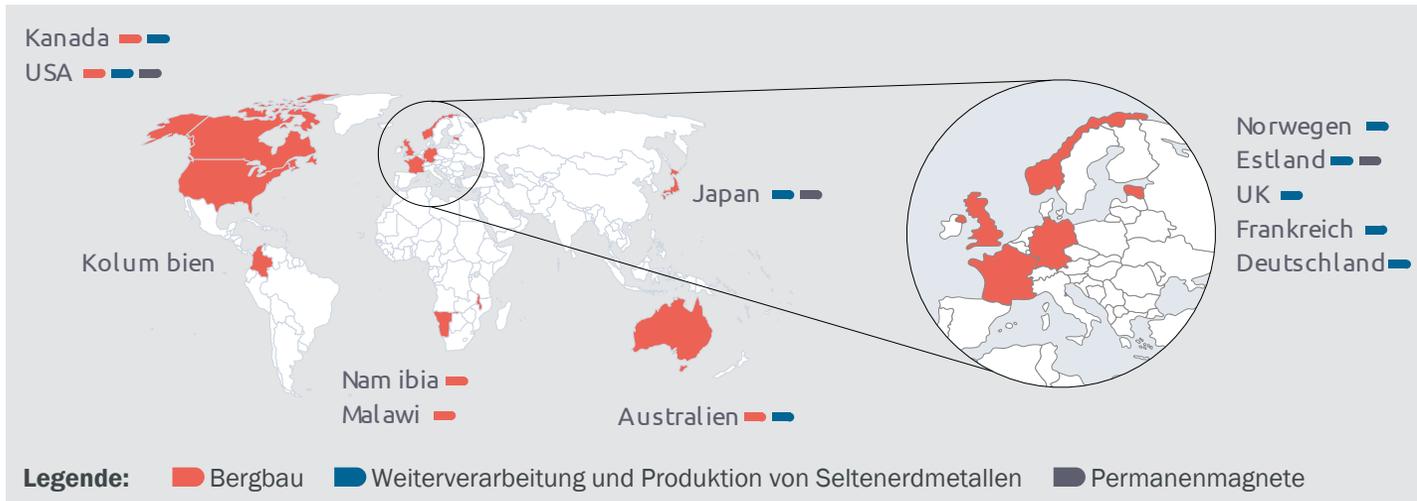
Kosten PV-Produktion in Cent/Watt<sub>p</sub>



**Produktionsaufbau ist eine Versicherung**

\* Ohne TCTF, Quelle: McKinsey

# Maßnahmen bei Permanentmagneten



## Länderdiversifizierung

(kurzfristig)

- Rohstoffpartnerschaften und Kooperationen mit Namibia, Malawi, Kolumbien, Kanada, Australien und USA

## Rohstoff-Recycling

(mittelfristig ab 2030)

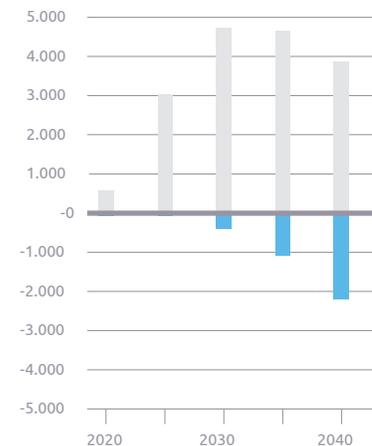
- nur marginal in China, erste kleine Anlagen in Deutschland und Großbritannien geplant
- 2030 moderates Potenzial aus Rücklauf von E-Motoren

## Produktionsaufbau in Europa

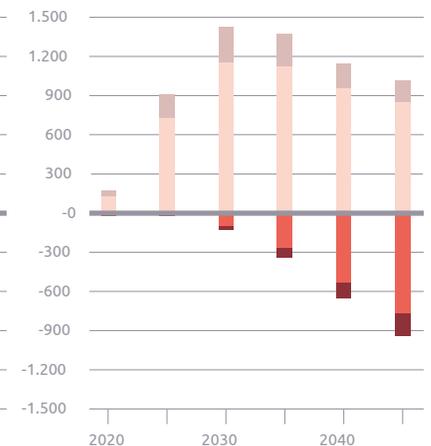
(kurz-/mittelfristig)

- Weiterverarbeitung Seltenerdoxide: Norwegen, Estland
- Herstellung Seltenerdmetalle: Estland, Großbritannien
- Produktion Magnete: Deutschland, Estland

Permanentmagnete (t)



Seltene Erden (t)



# Potenzielle Bezugsländer für Schlüsselrohstoffe

Länder	Rohstoffe	Bemerkungen
Australien	Lithium, Leichte und Schwere Seltene Erden, Nickel, Kobalt	Bereits umfassende Lithiumförderung und Minenförderung Seltener Erden
Brasilien	Graphit, Lithium, Mangan	Bereits Minenförderung bzw. Ausbeutung (Lithium) von Tailings
Chile	Lithium, Kupfer	Bereits umfassende Lithium- und Kupferförderung, Lithiumförderung soll ausgebaut werden
Ghana	Lithium	Noch keine Minenförderung, Bergbauprojekt in Planung
Indonesien	Kupfer, Nickel, Kobalt	Vor allem bestehende Nickel- und Kobaltförderung soll robust ausgebaut werden.
Kanada	Lithium, Nickel, Kobalt, Seltene Erden	Bislang sehr geringe Lithiumförderung soll ausgeweitet werden. Bergbauprojekte für Seltene Erden in Planung und Aufbau.
Kolumbien	Seltene Erden, Nickel	Ausweitung Nickelförderung geplant, Reserven für Seltene Erden
Malawi	Leichte und Schwere Seltene Erden	Noch keine Minenförderung; Bergbauprojekt in der Planung
Madagaskar	Graphit	Bestehende Minenförderung
Mozambique	Graphit	Bestehende Minenförderung
Namibia	Leichte und Schwere Seltene Erden, Lithium	Noch keine Minenförderung, Projekte in Planung und Aufbau
Südafrika	Mangan, Iridium, Platin	Wichtigster Minenproduzent für die drei Rohstoffe
Zimbabwe	Iridium, Platin	Bestehende Minenförderung



- Einführung eines umfassendes Resilienzmonitorings
  - Stabile Absatzmärkte (Deutschland und EU) für Schlüsseltechnologien schaffen
  - Technologie- und Rohstoffpartnerschaften aufbauen und stärken
  - Unterstützung beim Aufbau von Produktionskapazitäten für Schlüsselindustrien
  - Recyclingpotenziale erschließen
- **Resilienz kann erhöht werden, kostet aber „Versicherungsprämie“**

# Zusammenfassung

## 7 Schlüsseltechnologien

PV    Permanentmagnete    Stahl

Lithium-Ionen-Batterien    Windkraft

Wärmepumpen    Elektrolyseure

## 7 Kritische Rohstoffe

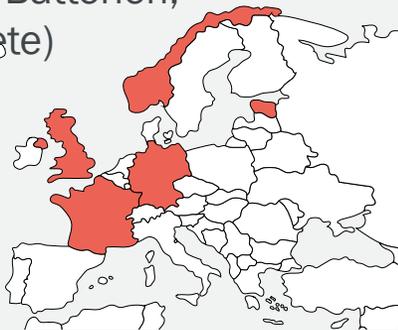


Für Kritikalitätsbewertung muss die **gesamte Lieferkette** untersucht werden

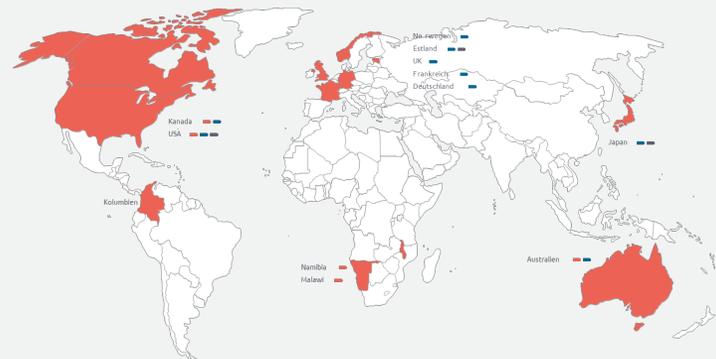


**Investitionen zum Produktionsaufbau in Europa** sichern kurzfristig die Transformation ab (PV, Batterien, Permanentmagnete)

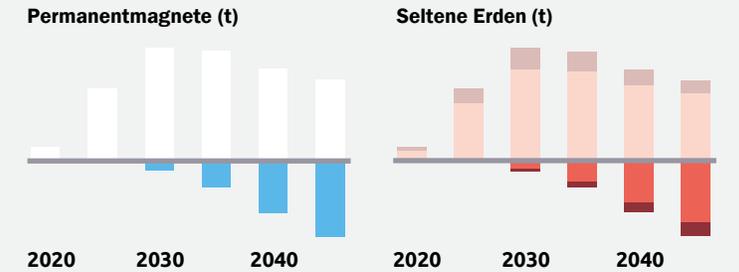
Norwegen ■  
Estland ■ ■  
UK ■  
Frankreich ■  
Deutschland ■



**Diversifizierung.** Transformationspartnerschaften auf Augenhöhe



**Recycling** frühzeitig anstoßen, auch wenn Potenziale bei einigen Technologien erst ab 2030 zu erwarten sind



Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit

