



Stiftung  
Klimaneutralität



# Souveränität Deutschlands sichern

Resiliente Lieferketten für die  
Transformation zur Klimaneutralität 2045

#ForumKlima

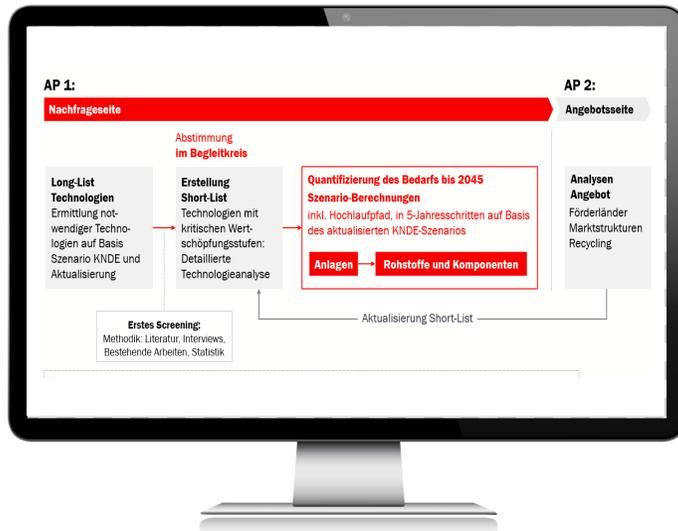
Souveränität Deutschlands sichern

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



# Nutzung wissenschaftlicher Methoden und Input aus der Praxis

## Wissenschaftliche Methoden



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

## 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**



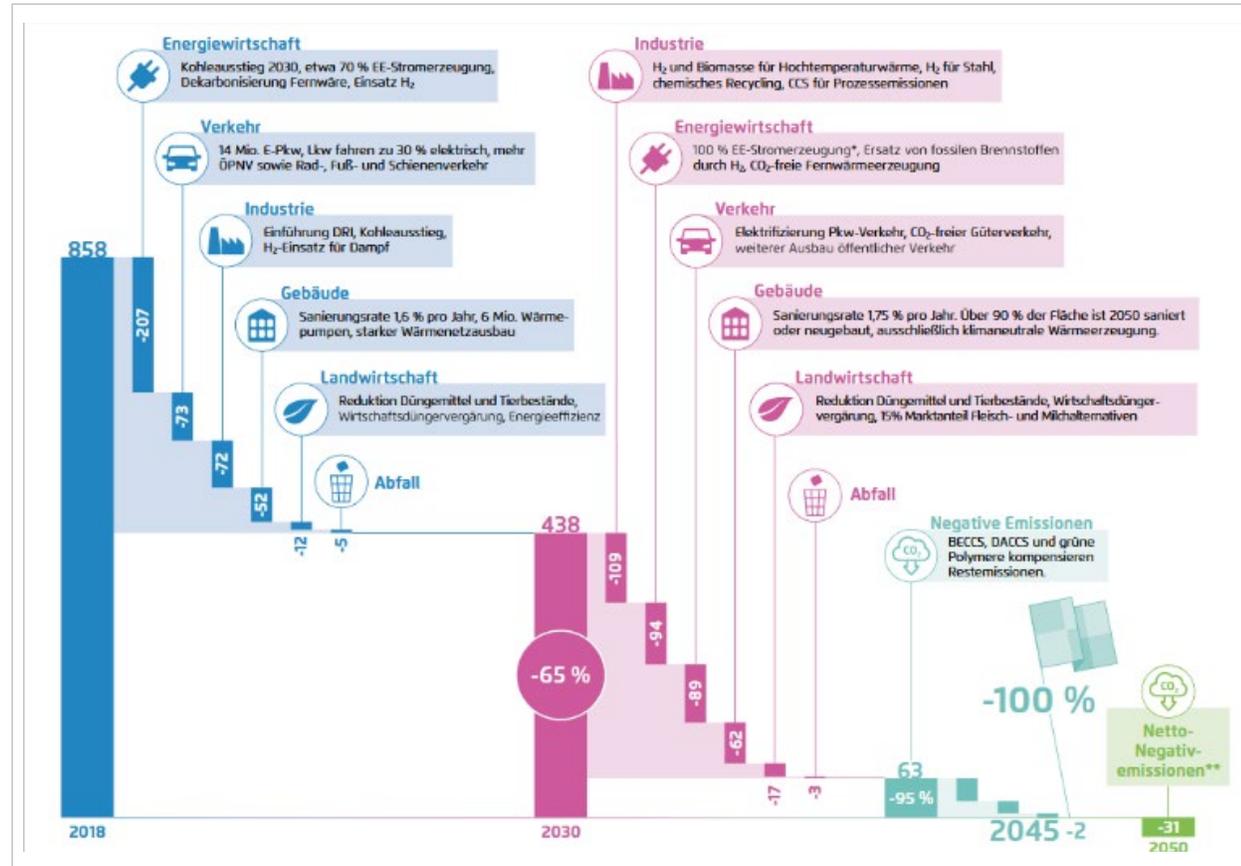
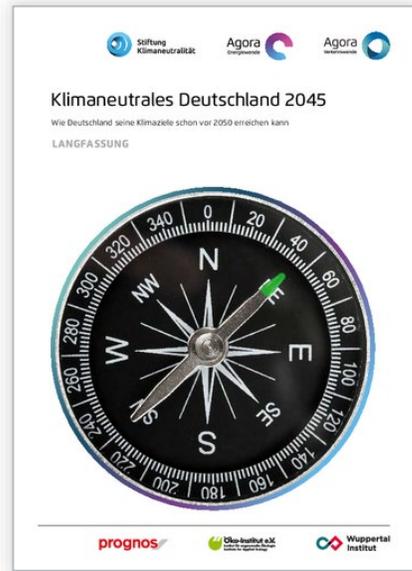
**Automotive**



**Stahl**

# 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



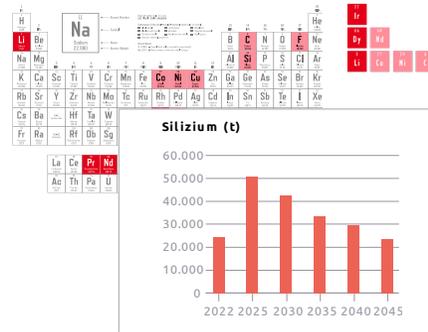
Identifikation von Schlüssel-Technologien für Transformation

## 2 Kritische Lieferketten



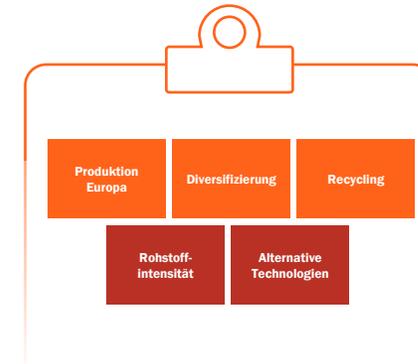
Analyse der kritischen Elemente entlang der gesamten Lieferketten der Schlüssel-technologien

## 3 Quantifizierung Rohstoffe



Quantifizierung der kritischsten Rohstoffe

## 4 Maßnahmen



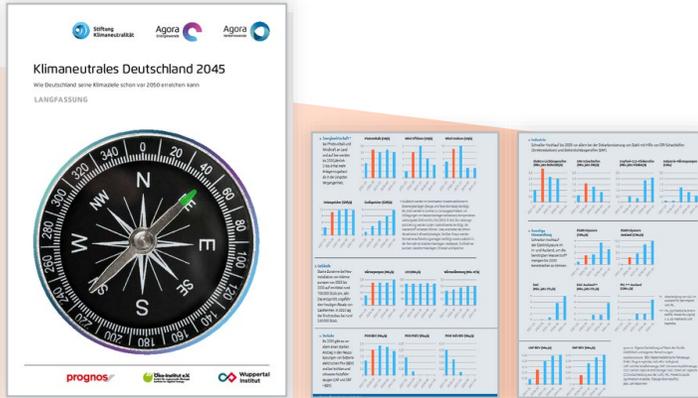
Strategien und konkrete Maßnahmen

## 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	Hohe Angebotskonzentration bis 2030/45 (K) oder 2045 (G)
<b>Windkraft</b>	X	X	X	X
<b>Photovoltaik</b>	X	X	X	X
<b>Stromerzeugung</b>				
Kraftwerke H <sub>2</sub> -ready	00	X	X	X
Bioenergie	00			
Heizspeicher bis 100 kW	00	00		
Großspeicher	00			
Caothelmie				
Solarthermie		00		
Großwärmepumpen		00		
Elektroheizung				
Elektrolyseure	X	X	X	X
<b>Wärme</b>				
<b>Batterieleitende Fahrzeuge (BEV, PHEV, LKW und Schiffe)</b>	X	X	X	X
<b>PKW (PHEV)</b>				
<b>Wärmepumpen</b>	X	X	X	X
<b>Wärmegenerierung</b>	X	00	X	00
<b>LED</b>				
<b>Elektrolichtbogenöfen (Stahl)</b>	X	X	X	
<b>CO<sub>2</sub>-Schmelzen (Stahl)</b>	X	X	X	00
<b>CO<sub>2</sub>-Schmelzen (Zement)</b>				
<b>Industrie-Wärmepumpen</b>	00	00	X	00
<b>Industrie-Wärmegenerierung</b>				
<b>Stoffe</b>				
<b>PL-Anlagen (Methanol, Naphtha)</b>				
<b>Wasserstoffnetz</b>	00	00	X	
<b>Stromnetz</b>	00	00	X	
<b>CO<sub>2</sub>-Netz</b>	00		X	

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

## Technologiebedarf bis 2045

30 Technologien

## Kriterien für Priorisierung

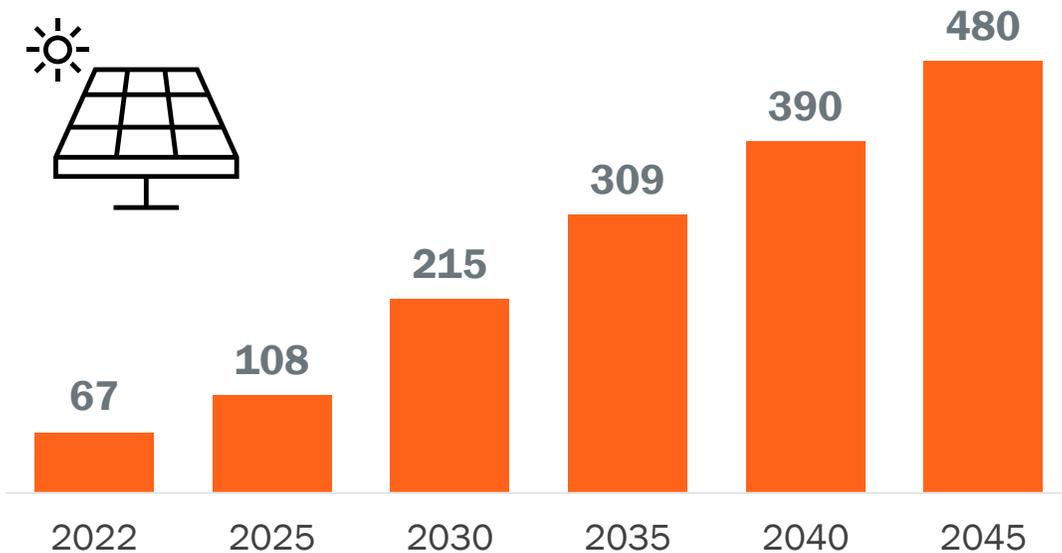
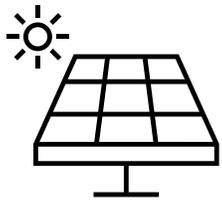
- Hohe Einsparung von Treibhausgasen
- Kaum kurzfristige Alternativen
- Starker Hochlauf bis 2030
- Hohe Angebotskonzentration

## 7 Schlüsseltechnologien

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

## Schneller Ausbau von Photovoltaik

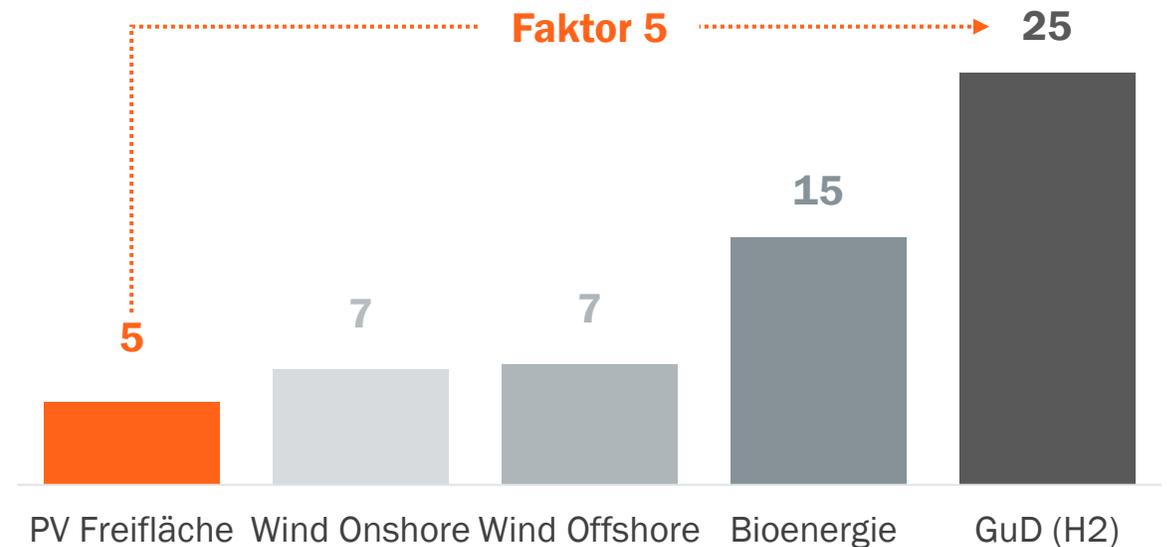
Installierte Leistung in GW in Deutschland



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

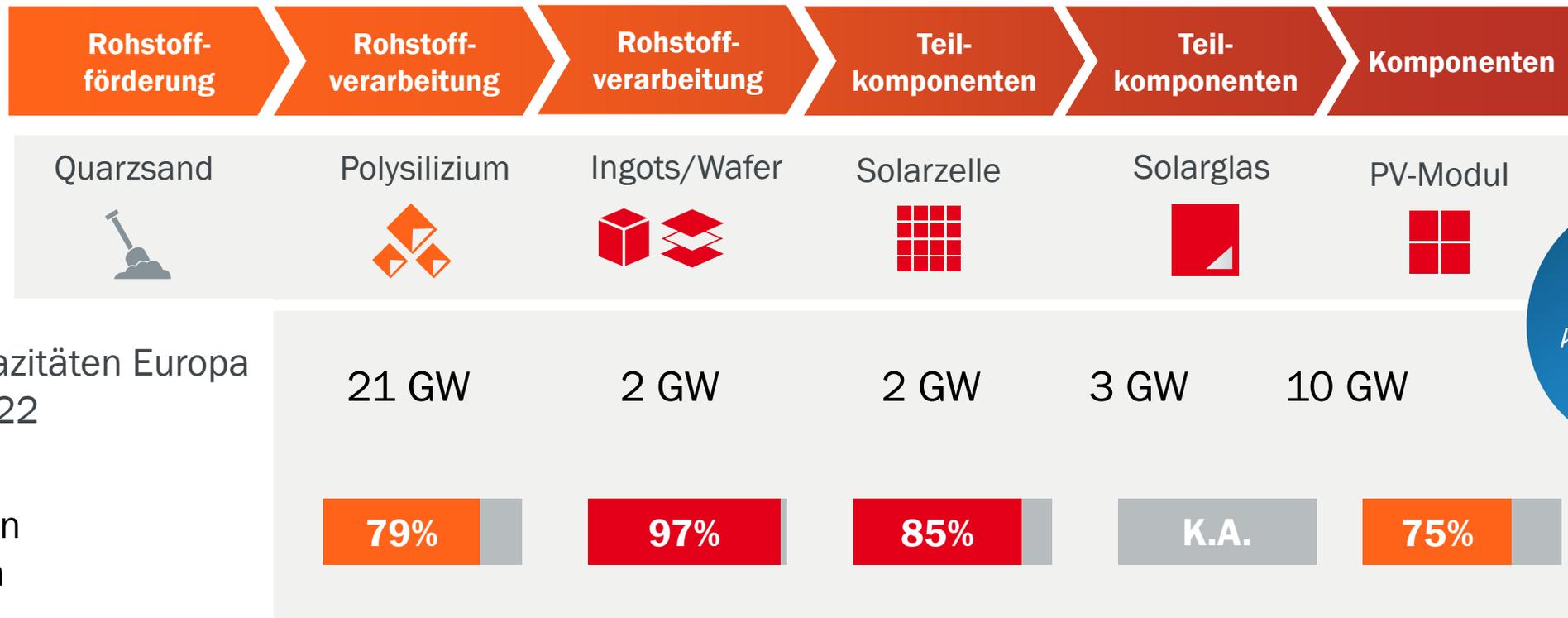
## PV ist die günstigste CO<sub>2</sub>-freie Stromerzeugung

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

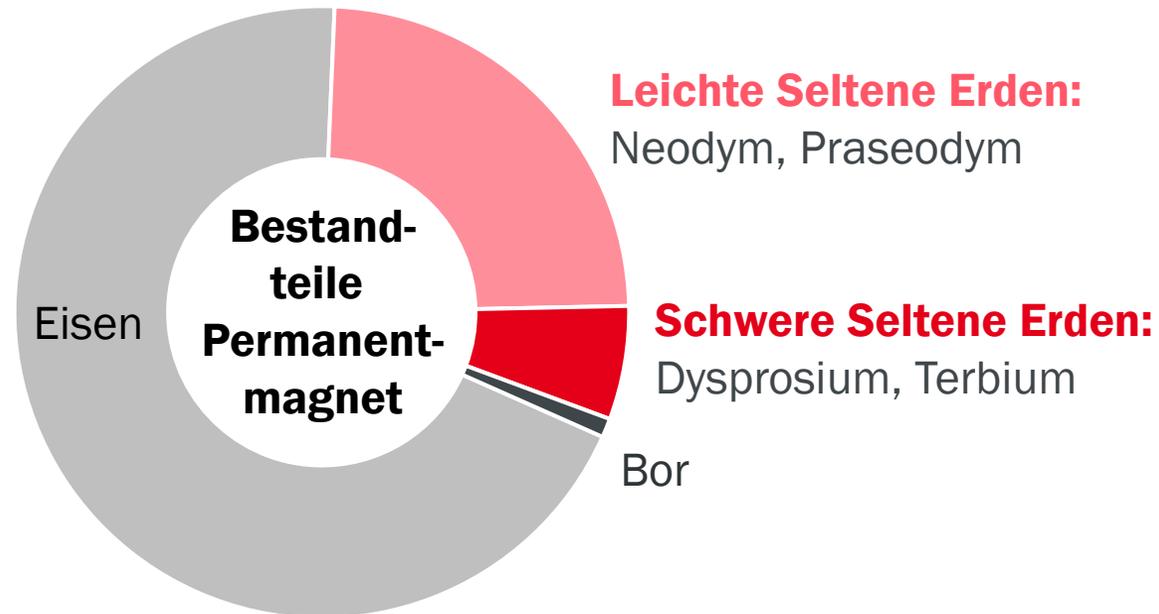
**75 bis 97 % der Rohstoffe und Komponenten entfallen auf China.**

# 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

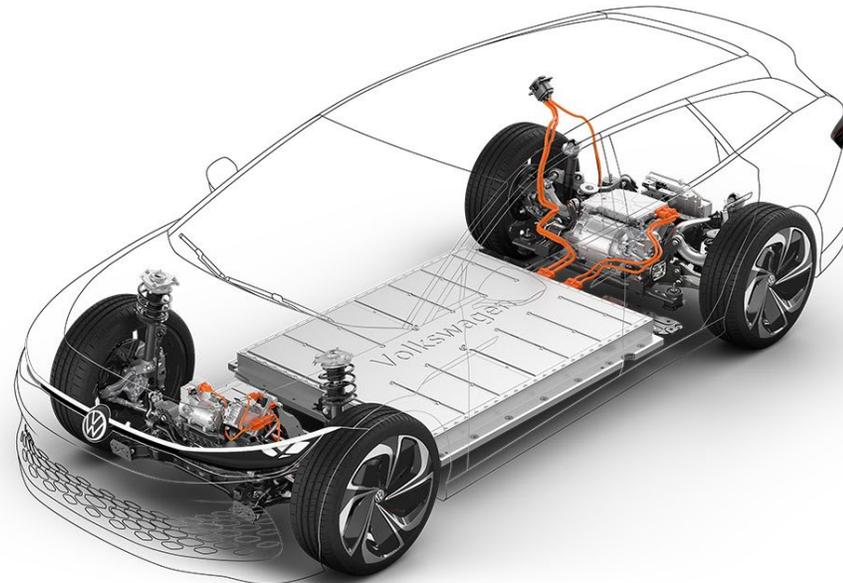
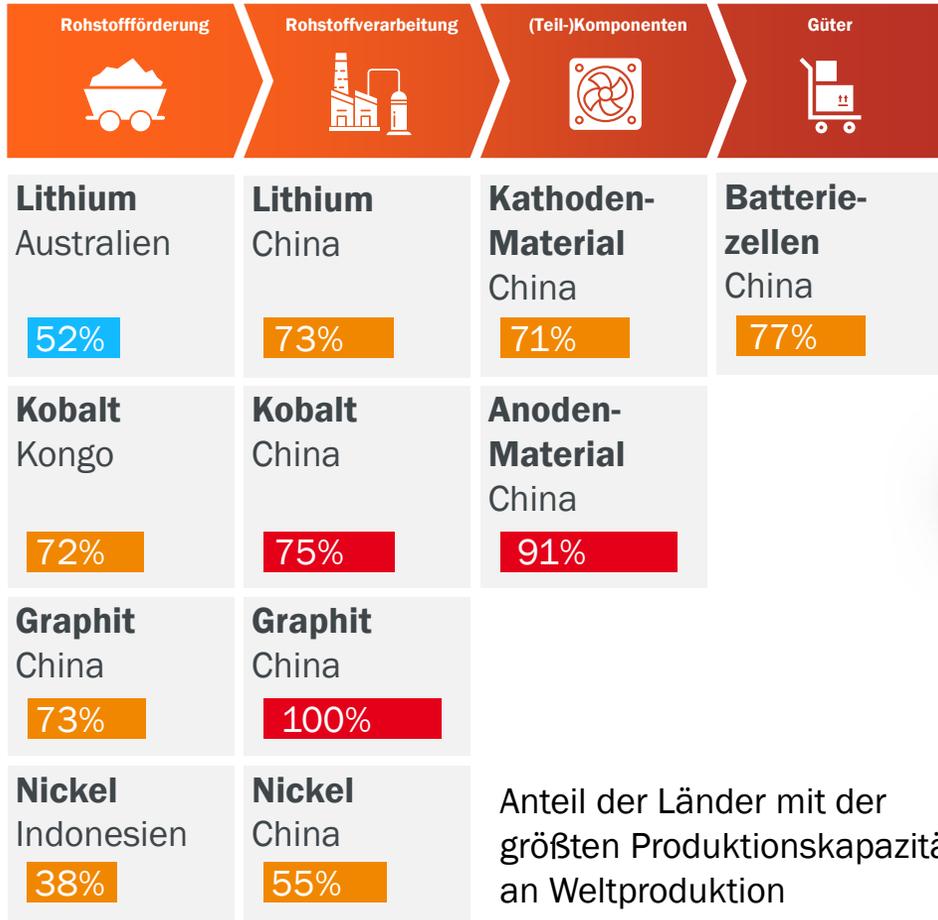
## Hohe Produktionskonzentration in China auf allen Stufen der Lieferkette



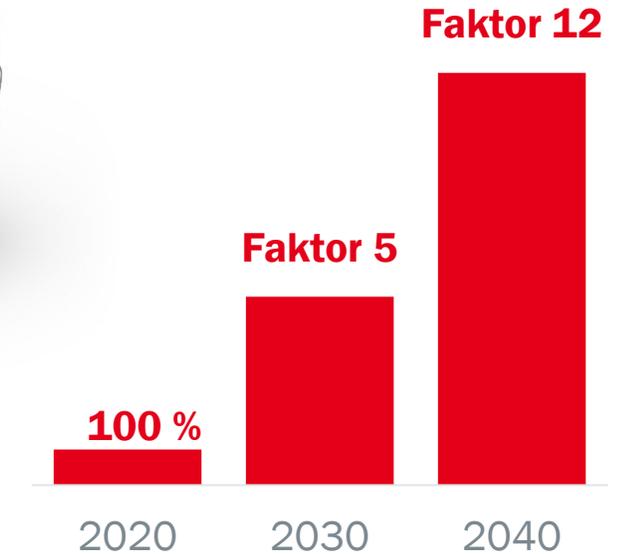
Top-3-Länder nach Produktionskapazität	Förderung Seltener Erden		Rohstoffverarbeitung		Seltene Erdmetalle		Permanentmagnete	
			Leichte Seltene Erden	Schwere Seltene Erden				
<b>1.</b>	China	58%	China	100%	China	91%	China	94%
<b>2.</b>	USA	14%	Malaysia		Japan	7%	Japan	5%
<b>3.</b>	Myanmar	12%	Indien		ROW	1%	Deutschland	1%
Deutschland								1%
Restliches Europa			1%			1%		

# Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität

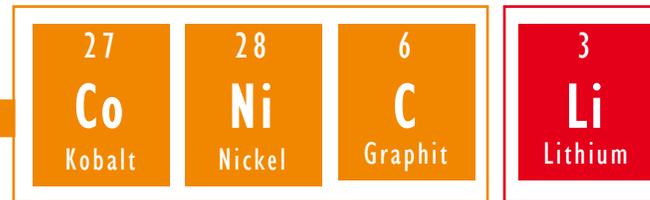
## Hohe Marktmacht Chinas



## 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

Foto: Volkswagen

# 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

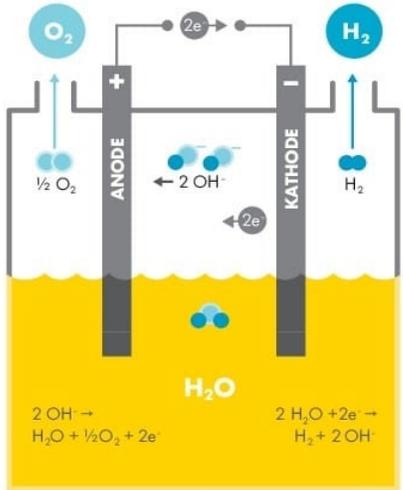
40 % des Platins werden für Auto-Kats verwendet, großes Recyclingpotenzial.

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

# Elektrolyseure für grünen Wasserstoff

## Technologien

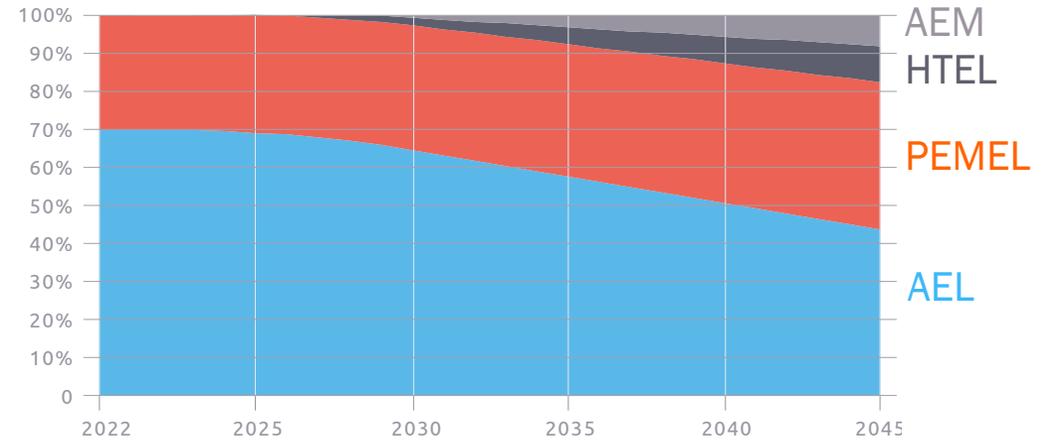
Alkalischer Elektrolyseur (AEL)	ausgereift
Protonenaustauschmembran-Elektrolyseur (PEM-Elektrolyseur)	ausgereift
Hochtemperatur-Elektrolyseur (HTEL)	Entwicklung
Anionenaustauschmembran-Elektrolyseur (AEM)	Pilotstadium



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

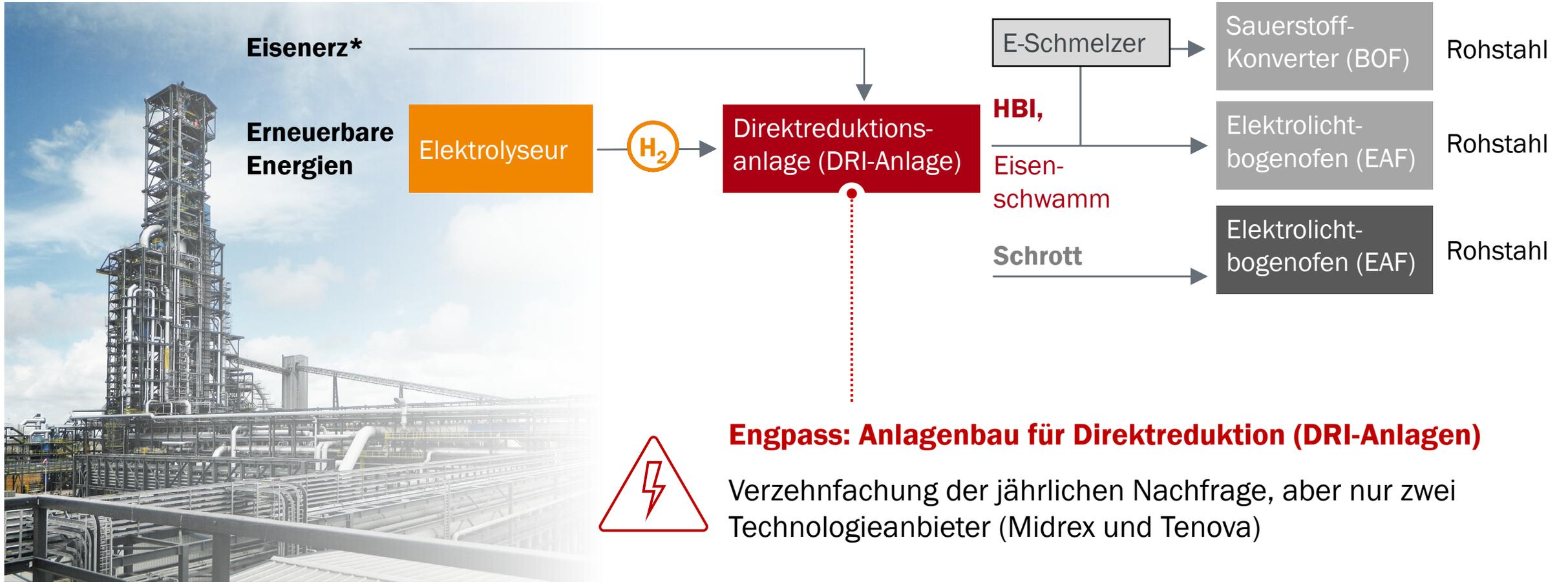
- + Hohe Flexibilität:
  - + Große Leistungsdichte
  - + Hohe Effizienz
  - + Hohe Gasreinheit
- Iridium

## Marktanteil wird ansteigen



# Herstellung von grünem Stahl

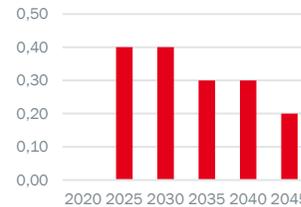
## Klimaneutraler Stahl



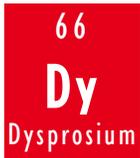
# Quantifizierung der 7 kritischsten Rohstoffe

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

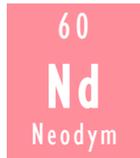
**Elektrolyseure (PEM)**



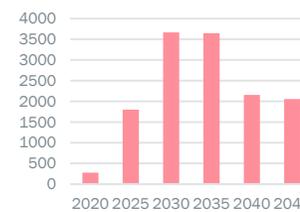
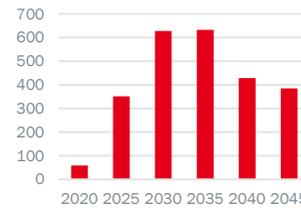
**Permanentmagnete**



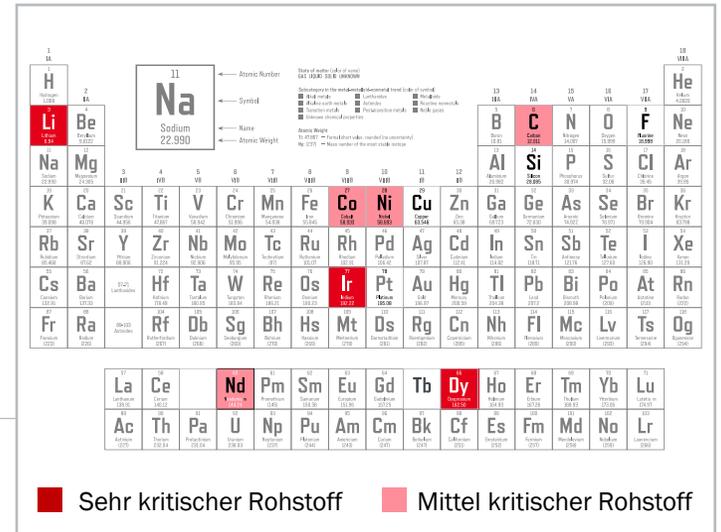
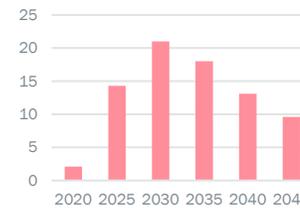
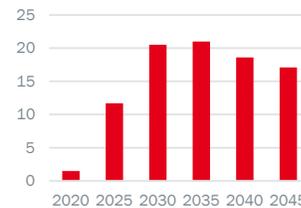
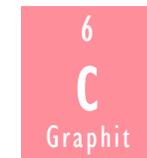
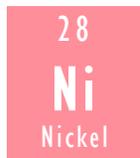
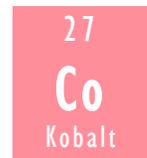
Schwere Seltene Erden\*



Leichte Seltene Erden\*\*



**Lithium-Ionen-Batterien**



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

# Maßnahmen und Strategien

## Angebotsseite

Produktion Europa

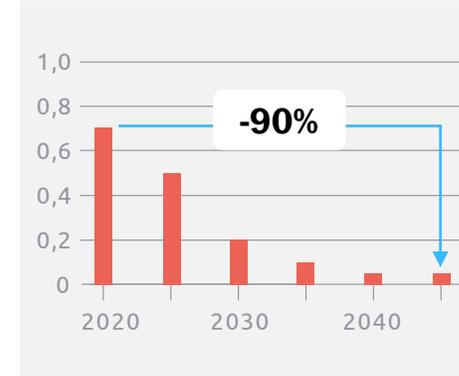
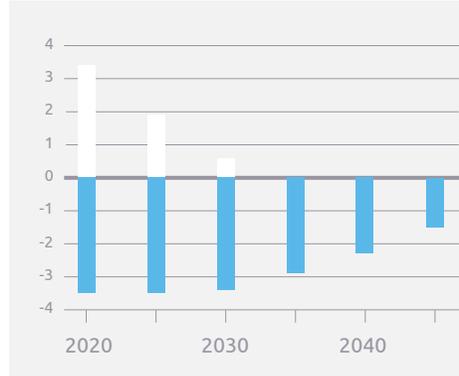
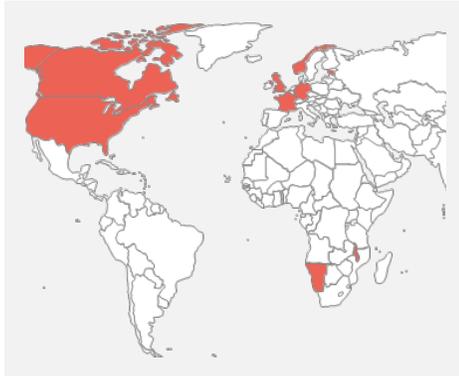
Diversifizierung

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

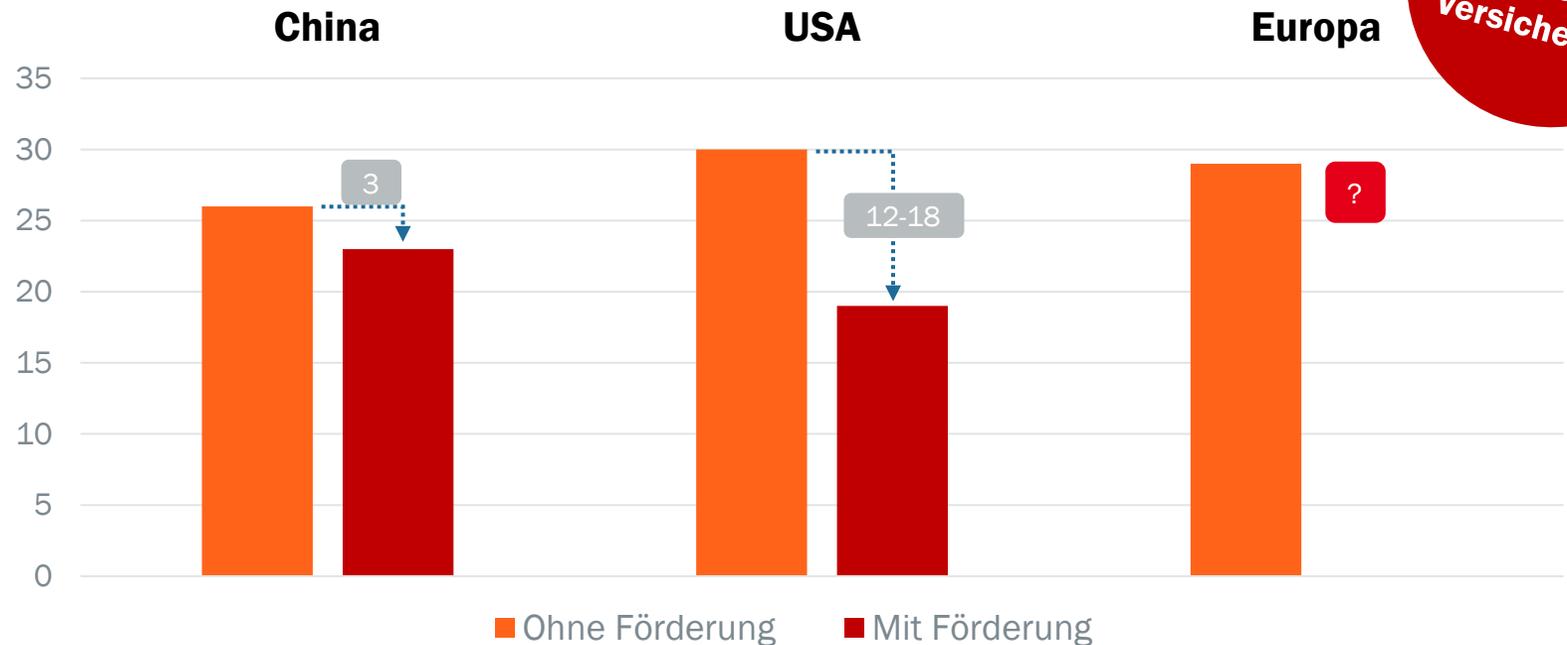
- Photovoltaik
- Permanentmagnete
- Lithium-Ionen-Batterien
- Elektrolyseure

### Bestehende Kapazitäten sichern und transformieren

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

### Herausforderung Subventionen am Beispiel PV

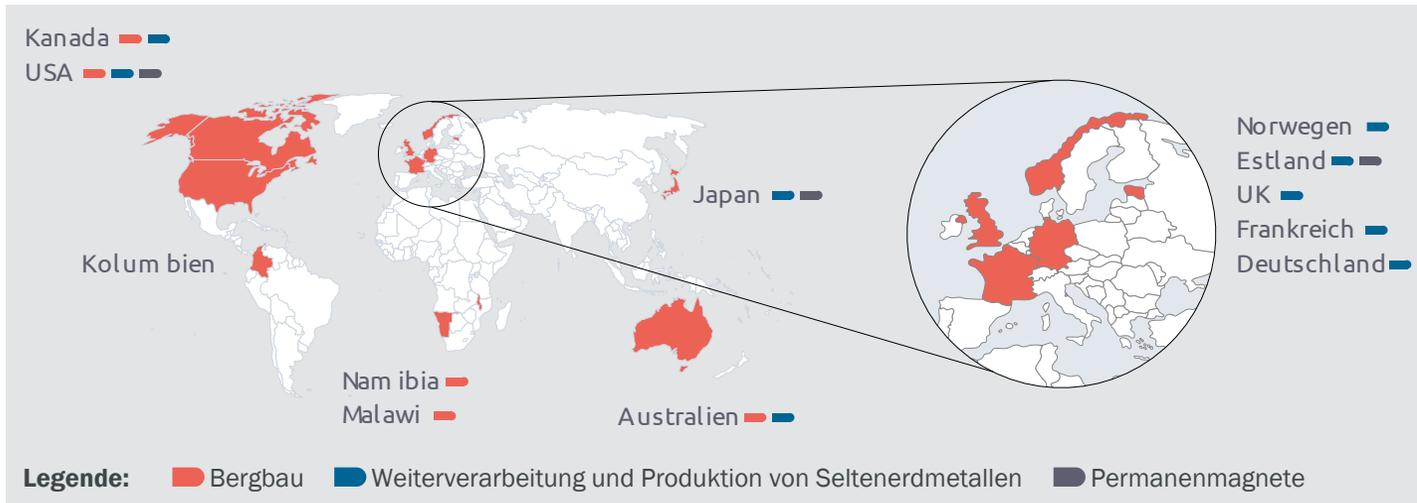
Kosten PV-Produktion in Cent/Watt<sub>p</sub>



**Produktionsaufbau ist eine Versicherung**

\* Ohne TCTF, Quelle: McKinsey

# Maßnahmen bei Permanentmagneten



## Produktionsaufbau in Europa

(kurz-/mittelfristig)

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

## Länderdiversifizierung

(kurzfristig)

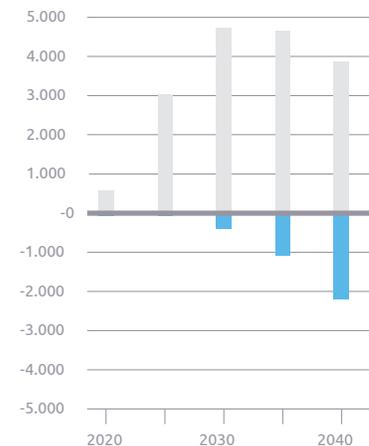
- Rohstoffpartnerschaften und Kooperationen mit Namibia, Malawi, Kolumbien, Kanada, Australien und USA

## Rohstoff-Recycling

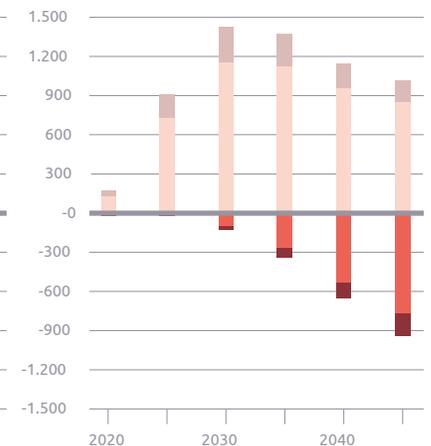
(mittelfristig ab 2030)

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

Permanentmagnete (t)



Seltene Erden (t)





- 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

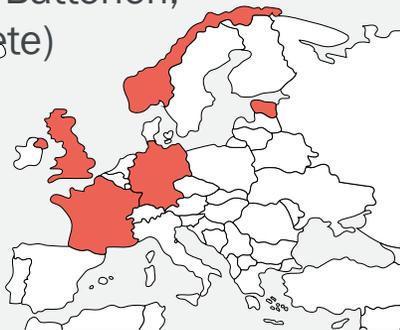


Für Kritikalitätsbewertung muss die **gesamte Lieferkette** untersucht werden

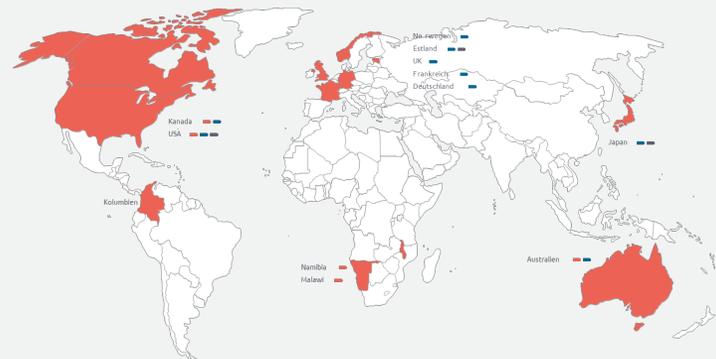


**Investitionen zum Produktionsaufbau in Europa** sichern kurzfristig die Transformation ab (PV, Batterien, Permanentmagnete)

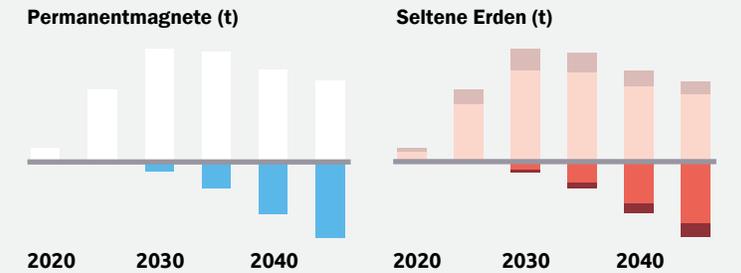
- Norwegen
- Estland
- UK
- Frankreich
- Deutschland



**Diversifizierung.** Transformationspartnerschaften auf Augenhöhe



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



Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit





Stiftung  
Klimaneutralität



# Souveränität Deutschlands sichern

Resiliente Lieferketten für die  
Transformation zur Klimaneutralität 2045

#ForumKlima