



Factsheets

Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045



- **Zentrale Erkenntnisse**
- **Übersicht der Versorgungsrisiken**
- **Kritische Rohstoffe**
- **Branchenübergreifende Strategien und Maßnahmen**

Kritische Herausforderungen und wirksame politische Handlungsstrategien für folgende zentrale Transformationstechnologien:

- **Elektromobilität**
Permanentmagnete im Elektromotor / Lithium-Ionen-Batterien
- **Photovoltaik**
entlang der gesamten Lieferkette
- **Windkraft**
Permanentmagnete im Generator
- **Grüner Stahl**
DRI-Anlagen
- **Grüner Wasserstoff**
Elektrolyseure

Die Factsheet-Edition basiert auf der Studie: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2023): Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045, im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar: www.stiftung-klima.de





Factsheet

Resiliente Lieferketten für die Transformation 2045 Zentrale Erkenntnisse



Eine Lieferkette
ist nur so resilient
wie ihr schwächstes Glied

7 Schlüsseltechnologien

Für die Transformation zur Klimaneutralität spielen folgende Schlüsselindustrien eine strategische Rolle:

- Photovoltaik
- Windkraft
- Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität
- Permanentmagnete für Elektromobilität und Windkraft
- Elektrolyseure
- Wärmepumpen
- Grüne Stahlerzeugungsanlagen (DRI-Schachtöfen)

Gesamte Lieferkette betrachten

Eine Lieferkette ist nur so resilient wie ihr schwächstes Glied. Daher muss die gesamte Lieferkette – von Rohstoffen, über Komponenten und Vorprodukten bis zum fertigen Produkt – analysiert und auf Schwachstellen und kritische Abhängigkeiten geprüft werden.

7 sehr kritische Rohstoffe

- Die Schlüsseltechnologien enthalten sieben sehr kritische Rohstoffe, mit Blick auf die Förderung und Verarbeitung:
Graphit, Iridium, Kobalt, Lithium, Mangan, Leichte und Schwere Seltene Erden.
- Darüber hinaus sollten *Nickel* und *Polysilizium* als weitere mittelkritische (verarbeitete) Rohstoffe besondere Aufmerksamkeit finden.
- Kritikalität ergibt sich sowohl aus Rohstoffförderung als auch -verarbeitung.

Lösungen

Produktionsaufbau in Europa

Kurzfristig Resilienz erhöhen durch gezielte Investitionen in heimische Transformationsindustrien und Ansiedlung besonders kritischer Teile der Lieferketten in Deutschland und Europa. Besonders relevant:

- **PV-Industrie:** insbesondere Ingots / Wafer, Solarglas, PV-Zellen und Module.
- **Permanentmagnete** und ihre Vorprodukte, vor allem für Windkraftanlagen und Elektromobilität
- **Lithium-Ionen-Batterien** für Elektromobilität: komplette Lieferkette.
- Aufbau eines Leitmarktes für **grünen Stahl**.

Internationale Diversifizierung

- Aufbau transformationsorientierter Partnerschaften tragen schon kurzfristig dazu bei, Abhängigkeiten zu verringern.
- Unterstützung beim Aufbau tieferer Wertschöpfungsketten statt reiner Rohstofflieferung.
- Folgende Länder außerhalb der EU sind für **Transformationspartnerschaften** von besonderem Interesse: *Australien, Brasilien, Chile, Ghana, Indonesien, Kanada, Kolumbien, Madagaskar, Malawi, Mozambique, Namibia und Südafrika.*

Recycling: Frühzeitiger Kapazitätsaufbau

- Nennenswerter Beitrag von Sekundärrohstoffen aus der Kreislaufwirtschaft ist erst ab 2030/35 zu erwarten.
- Weg muss heute schon geebnet werden: Frühzeitiger Kapazitätsaufbau in der Recyclingindustrie durch Designanforderungen, Exportbeschränkungen für Sekundärrohstoffe, rechtzeitige Investitionen in Recyclingkapazitäten und dem Aufbau eines förderlichen industriellen Ökosystems.

Rohstoffintensität und Alternativen

- Verringerung von Rohstoffintensitäten und die Entwicklung alternativer technologischer Optionen bilden eine wichtige Säule resilienzoientierter Transformationspolitik.
- Schaffung eines entsprechenden Innovationsumfeldes in Europa unerlässlich.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



Resiliente Lieferketten für die Transformation 2045 Übersicht der Versorgungsrisiken

Ausgangslage

- **Sieben Schlüsseltechnologien** mit zentraler Bedeutung für die Transformation zur Klimaneutralität.
- Ursachen für Versorgungsengpässe: Länderkonzentration, kurzfristiger Nachfrageüberhang und langfristige Knappheiten.
- Technologien mit starkem **Hochlauf bis 2030/35** stehen im Fokus.
- Die Schlüsseltechnologien enthalten **sieben sehr kritische Rohstoffe**, mit Blick auf die Förderung und Verarbeitung: Graphit, Iridium, Kobalt, Lithium, Mangan, Leichte und Schwere Seltene Erden. Darüber hinaus sollten Nickel und Polysilizium als weitere mittelkritische (verarbeitete) Rohstoffe besondere Aufmerksamkeit finden.
- Analyse der **gesamten Lieferkette** notwendig zur Bewertung der Resilienz: Rohstoffförderung, -verarbeitung, Produktion von (Teil-)Komponenten und Gütern.

Kritikalität der strategischen Schlüsseltechnologien entlang der Lieferkette

	Rohstoffförderung	Rohstoffverarbeitung	(Teil-)Komponenten	Güter
1. Photovoltaik		⊙ Polysilizium: China 79%	⊙ Ingots/Wafer: China 97%	⊙ Module: China 75%
			⊙ Zellen: China 85%	
			⊙ Solarglas	
2. Windkraft			⊙ Viele Komponenten werden in China beschafft	⊙ Derzeit ausreichende Kapazitäten in Europa, jedoch sinkende Wettbewerbsfähigkeit
3. Generatoren und Elektromotor (für Windkraft und Elektromobilität)	⊙ Leichte Seltene Erden: China 58%	⊙ Leichte Seltene Erden: China 87%	⊙ Permanentmagnete: China: 94%	
	⊙ Schwere Seltene Erden: China / Myanmar: 100%	⊙ Schwere Seltene Erden: China 100%		
4. Elektromobilität Lithium-Ionen-Batterie	⚡ Lithium	⚡ Lithium	⊙ Kathodenmaterial: China 71%	⚡ Batteriezellen
	⚡ Kobalt: Kongo 72%	⊙ Kobalt: China 75%		
	⊙ Mangan: Südafrika 40%	⊙ Mangan: China 95%		
	⊙ Nickel: ⚡ Indonesien 38%	⊙ Nickel: China 55%		
	⊙ Graphit: China 73%	⊙ Graphit: China 100%	⊙ Anodenmaterial: China 91%	
5. Elektrolyseure	● Iridium (PEMEL): ⊙ Produktion kann nicht ausgeweitet werden. Südafrika 85%			
	⊙ Scandium (HTEL, erst nach 2030/35)			
6. Wärmepumpen			⊙ Kompressoren (teilweise mit Permanentmagneten)	
7. Stahl	Eisenerze in DRI-Qualität			⊙ Anlagenbau für Direktreduktions-Anlagen (DRI-Schachtofen)

LEGENDE ⊙ Konzentration und Marktmacht ⚡ Kurz-/Mittelfristiger Nachfrageüberhang ● Dauerhafte Knappheit

Kritikalität: ● Sehr kritisch ● Mittel kritisch ● Mäßig kritisch

QUELLE Eigene Darstellung HINWEIS Kupfer, Titan, Gallium, Germanium, Yttrium sowie Platin: Nach den Untersuchungen dieser Studie sind diese Rohstoffe für die Transformation zur Klimaneutralität 2045 strategisch relevant, aber nicht kritisch.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



Resiliente Lieferketten für die Transformation 2045

Kritische Rohstoffe

Ausgangslage

- Für die Transformation zur Klimaneutralität sind **sieben Schlüsseltechnologien** von zentraler Bedeutung.¹
- In den für eine erfolgreiche Transformation notwendigen Schlüsseltechnologien wurden **sieben sehr kritische Rohstoffe** mit Blick auf die **Förderung und Verarbeitung** identifiziert: Graphit, Iridium, Kobalt, Lithium, Mangan, Leichte und Schwere Seltene Erden. Darüber hinaus sollten Nickel und Polysilizium als weitere mittelkritische (verarbeitete) Rohstoffe besondere Aufmerksamkeit finden.
- Diese betreffen insbesondere die Elektromobilität, Windkraft und Elektrolyseure für die Produktion von grünem Wasserstoff
- Details zu Rohstoffen sowie Risikobewertung der nachfolgenden Stufen der Lieferkette: siehe Factsheets zu Schlüsseltechnologien.²

Herausforderung: Elektromobilität Lithium-Ionen-Batterien³

	Lithium	Kobalt	Graphit	Mangan	Nickel
Förderung	Sehr starke Nachfrageentwicklung	72% Kongo	73% China (bei natürlichem Graphit)	40% Südafrika	38% Indonesien
Verarbeitung	73% China	75% China	100% China	95% China	55% China
Lösungen	<ul style="list-style-type: none"> Deckung des europäischen Bedarfs zu 30% möglich durch Minerschließung (u.a. in Deutschland, Finnland, Frankreich, Portugal) und Aufbau von Recycling Erschließen von Minen u. a. in Australien, Kanada, Brasilien, Ghana Bau von Lithiumraffinerien in Deutschland, Polen, Finnland 	<ul style="list-style-type: none"> Nachfragedämpfung durch kobaltfreie und kobaltarme Lithium-Ionen-Batterien Ausbau der Förderung in Europa (Finnland) Weltweiter Ausbau der Minen u. a. in Australien 	<ul style="list-style-type: none"> Verwendung von synthetischem Graphit Diversifizierung möglich: Reserven auf diverse Länder verteilt; Angebotssteigerung möglich, wie z. B. in Brasilien Europa: Vorkommen in Norwegen, Schweden 	<ul style="list-style-type: none"> Nachfragedämpfung durch manganfreie Lithium-Ionen-Batterien (LFP) Ausbau der Förderung in Europa (Finnland) Weltweiter Ausbau der Förderung 	<ul style="list-style-type: none"> Nachfragedämpfung durch nickelfreie Lithium-Ionen-Batterien (LFP) Ausbau der Förderung in Europa (Finnland) Weltweiter Ausbau der Förderung u. a. in Australien, Kanada

Herausforderung: Elektromobilität und Windkraft Permanentmagnete in Elektromotoren / Generatoren⁴

	Schwere Seltene Erden (Dysprosium/Terbium)	Leichte Seltene Erden (Neodym/Praseodym)
Förderung	100% China	58% China
Verarbeitung	100% China	87% China
Lösungen	<ul style="list-style-type: none"> Bergbau und Verarbeitung in Europa: Potenziale in Schweden, Estland, Norwegen und Frankreich Recycling ab 2035 stark wachsend durch Rücklauf von E-Motoren Ausweitung Bergbau in klassischen Bergbauländern, wie Kanada, Australien und USA Unterstützung beim Aufbau von Bergbau und Weiterverarbeitung in Namibia, Malawi, Kenia 	

Herausforderung: Grüner Wasserstoff PEM-Elektrolyseure⁵

	Iridium	Lösungen
Förderung	Keine Ausweitung der Förderung wahrscheinlich	<ul style="list-style-type: none"> Weitere Senkung der Rohstoffintensität um 75% bis 2040 Kurzfristig: Recycling von Zündkerzen Mittelfristig ab 2035: Recycling von Elektrolyseuren Backup: Alkalische Elektrolyseure (ohne Iridium)

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung

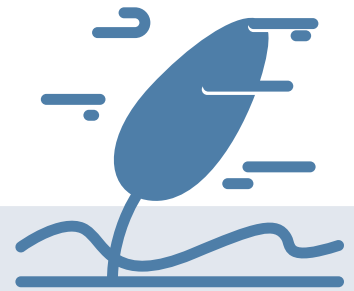


ANMERKUNGEN:

- Schlüsseltechnologien:** Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und wo sich heute schon Versorgungsengpässe andeuten. Diese sind: Photovoltaik, Windkraft (u.a. Permanentmagnete), Elektromobilität (Lithium-Ionen-Batterien, Permanentmagnete), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.
- Für die Bewertung der Kritikalität der Technologien muss die gesamte Lieferkette betrachtet werden. Weitere Informationen gibt es hierzu in den **Factsheets zu einzelnen Schlüsseltechnologien**.
- Lithium-Ionen-Batterien:** bleibt für den Bereich Elektromobilität mittelfristig die dominierende Batterie-Technologie. Sie zeichnen sich durch eine besonders hohe Leistungsdichte und Reichweite aus.
- Permanentmagnete aus Seltenen Erden** (Neodym-Eisen-Bor-Magnete) sind ein zentraler Bestandteil von Generatoren und Elektromotoren geworden. Fast 100 % der E-Pkw, E-LKW sowie Offshore-Windanlagen verwenden diese Permanentmagnete. Im Vergleich zu Elektromagneten haben sie eine hohe Leistungsdichte und werden überall dort verbaut, wo Platz und Gewicht ein limitierender Faktor sind.
- PEM-Elektrolyseure:** Zwei Verfahren zur Produktion von grünem Wasserstoff sind heute marktreif: Alkalische Elektrolyse und PEM-Elektrolyse. PEM-Elektrolyseure eignen sich vor allem für Stromsysteme mit einem hohen Anteil volatiler Stromerzeugung, denn sie können sehr flexibel gefahren werden und sind sehr effizient. Der Marktanteil wird deshalb in Zukunft stark steigen.

Resiliente Lieferketten für die Transformation 2045

Branchenübergreifende Strategien und Maßnahmen



«Neben den Unternehmen kommt gerade der Politik wesentliche Verantwortung zu, die unterstützenden Rahmenbedingungen für den beschleunigten Aufbau der Zukunftsindustrien und resilienter Lieferketten für die Schlüsseltechnologien der Transformation und damit zukünftigen Wohlstands zu definieren.»

Umfassendes Resilienzmonitoring

- Aufbau und institutionelle Verankerung eines Resilienzmonitorings über die gesamte Lieferkette.
- Regelmäßige Analyse der Rohstoffverfügbarkeit und Lieferbeziehungen mit kritischen Abhängigkeiten entlang der strategisch relevanten Lieferketten.
- Ausgestaltungsoptionen zur institutionellen Verankerung auf nationaler und europäischer Ebene prüfen.

Stabile heimische Absatzmärkte

- Schaffung stabiler heimischer Absatzmärkte für transformative Schlüsseltechnologien durch Sicherung stabiler regulatorischer Maßnahmen (Ordnungsrecht, CO₂-Bepreisung) und Infrastrukturausbau.
- Verlässliche Förderinstrumente in Deutschland und EU zur Unterstützung von grünen Leitmärkten mit vorausschauender Fachkräftesicherung und die Entwicklung bzw. Fortschreibung klarer Exportstrategien
- Beschleunigte Planungs- und Genehmigungsverfahren und Abbau ineffizienter Bürokratie.

Einkaufsgemeinschaften und Bündelung von Lieferverträgen

- Ermöglichung von Einkaufsgemeinschaften für strategische Rohstoffe und Güter.
- Bündelung und Absicherung von Liefer- und Abnahmeverträgen durch die öffentliche Hand.
- Prüfung und etwaige Reform des Kartellrechts im Sinne der Stärkung resilienter Lieferketten.

Resilient Content Anforderungen

- Festsetzung von Resilienz-Regelungen mit Standards, etwa zu umwelt- und sozialverträglichkeits- Kriterien bei Fördermaßnahmen sowie mit Blick auf den Import von Gütern.
- Prüfung von Optionen zur Umsetzung, etwa durch Boni bei Ausschreibungen oder Einspeisevergütungen (in Anlehnung an das Staffelmmodell des Inflation Reduction Acts) oder auch als qualitatives Kriterium bei entsprechenden Ausschreibungen.
- Integration in die Entwicklung bzw. Fortschreibung der Exportstrategien für Transformationstechnologien.

Heimische Ansiedlungspolitik

- Heimische Ansiedlungspolitik im Bereich strategischer Rohstoffe und Güter offensiv vertreten. Ausgleichsmaßnahmen zur Herstellung eines Level Playing Fields zu subventionierten Konkurrenten außerhalb Europas, mit Investitionsförderung (CAPEX) und befristeten Betriebskostenbeihilfen (OPEX).
- Für die Ansiedlungsförderung sollten neben regionalen Kriterien auch und besonders Resilienz Aspekte für die Einstufung der Förderfähigkeit explizit etabliert werden.
- Die Förderung kritischer Rohstoffe innerhalb der EU gilt es zu forcieren.

Transformationspartnerschaften

- Transformationspartnerschaften ausbauen und stärken.
- Etablierung von transformativen Industriepartnerschaften als Säule der Resilienz- und Diversifizierungsstrategie - Stärkung der wirtschaftlichen Zusammenarbeit über bestehende Rohstoff- und Technologiepartnerschaften hinaus.
- Stärkung der Wertschöpfung in den Partnerländern und Partizipation an den Lieferketten, insbesondere in Ländern des Globalen Südens. Intensivierte Zusammenarbeit bei Bildungs- und Forschungsvorhaben.

Kapazitätsaufbau in der Recyclingindustrie

- Frühzeitiger Kapazitätsaufbau in der Recyclingindustrie durch Designanforderungen, Exportbeschränkungen für Sekundärrohstoffe (etwa der der werthaltigen Schwarzmasse aus dem Batterierecycling) und Vorprodukte sowie die robuste Umsetzung der EU Battery Regulation und des Critical Raw Materials Acts der EU.
- Aufbau langfristiger Recyclingstrategien, Förderprogramme für F&E und Aufbau Infrastruktur.
- Robuste und zeitnahe nationale Umsetzung des Critical Raw Materials Acts der EU mit Blick auf material-spezifische End-of-Life-Recyclingquoten sowie durch Recycled-Content-Vorgaben.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

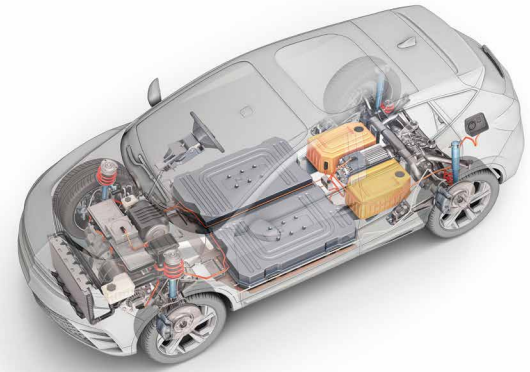
Kurzfassung



Langfassung



Resiliente Lieferketten in der Elektromobilität Lithium-Ionen-Batterien¹



Ausgangslage

- Lithium-Ionen-Batterien bleiben mittelfristig **dominierende Batterie-Technologie**.
- Alternative Technologien (Natrium-Ionen-Batterien²) zunächst nur für Nischenmärkte.
- Kritische Rohstoffe: **Lithium, Kobalt, Graphit, Mangan und Nickel**.
- Kritische Komponenten: **Anoden- und Kathodenmaterial**.
- Viele Ankündigungen zum Bau von Batteriezellen. Nur wenige Projekte bei vorgelagerter Lieferkette.

Herausforderung: Marktkonzentrationen entlang der Lieferkette

Top1-Land: Marktanteil nach Produktion (2022)

Rohstoffförderung ²	Rohstoffverarbeitung	Komponenten	Güter
Lithium 52% Australien	Lithium 73% China	Kathoden-Material 71% China	Batteriezellen 77% China
Kobalt 72% Kongo	Kobalt 75% China	Anoden-Material 91% China	
Graphit 73% China	Graphit 100% China		
Mangan 40% Südafrika	Mangan 95% China		
Nickel 38% Indonesien	Nickel 55% China		

- Kritikalität durch hohe Konzentration in China von bis zu 100% – vor allem bei nachgelagerten Stufen der Lieferkette.

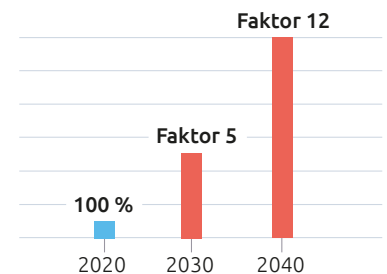
LEGENDE

Kritikalität: ■ Sehr kritisch ■ Mittel kritisch ■ Mäßig kritisch

Herausforderung: Engpass Lithium

Nachfrageerhöhung im Vergleich zur heutigen Produktion

- Kritikalität durch den sehr schnellen Nachfragehochlauf bis 2030.
- Förderung weltweit schnell ausbauen, um Nachfrage zu decken.³



Lösungen siehe auch Factsheet zu branchenübergreifenden Strategien und Maßnahmen

Produktionsaufbau in Europa

- Aufbau und institutionelle Verankerung eines *Resilienzmonitorings* über die gesamte Lieferkette.
- Heimische Absatzmärkte aufbauen. Europäische Potenziale vorhanden:
 - *Lithiumförderung*: Deutschland, Finnland, Frankreich, Portugal. Bedarf in Europa könnte zu 30% gedeckt werden
 - Erste Projekte für *Lithiumraffinerien* in Deutschland, Finnland, Polen in der Planungs- und Bauphase.
 - *Kathodenmaterial*: Erste Projekte im Bau und Betrieb in Finnland, Deutschland, Polen.
 - *Anodenmaterial*: Kapazitäten in Schweden geplant.
 - *Batteriezellen*: Bedarf 2030 in Europa könnte zu 100% gedeckt werden.
- Förderung kritischer Rohstoffe innerhalb der EU vorantreiben.
- *Resilienz-Anforderungen*: umwelt- und sozialverträglichkeits-Kriterien bei Fördermaßnahmen, sowie bei Import von Gütern.

Diversifizierung

- Aufbau und Stärkung **transformativer Industriepartnerschaften** mit Ländern wie *Australien, Brasilien, Chile, Ghana, Kanada, Kolumbien und Namibia*.
- Stärkung der Wertschöpfung in den Partnerländern und Partizipation an den Lieferketten, insbesondere in Ländern des Globalen Südens. Intensivierte Zusammenarbeit bei Bildungs- und Forschungsvorhaben.

Recycling

- Potenzial: 10% des inländischen Lithiumbedarfs aus Recycling bis 2035 möglich (Kobalt 25%).
- Robuste und zeitnahe nationale Umsetzung der EU Battery Regulation und des Critical Raw Materials Acts der EU.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



ANMERKUNGEN:

- 1 Weitere Informationen zu Elektromobilität im **Factsheet: Elektromobilität – Permanentmagnete in Elektromotoren**.
- 2 **Natrium-Ionen-Batterien** haben eine geringe Energiedichte und damit eine geringere Reichweite. Vorteil sind die geringeren Kosten: heute bereits 40 % geringer als Lithium-Ionen-Batterien. Die Batterien eignen sich damit vor allem für den Stadtverkehr oder auch für die Märkte in Indien, Südamerika und Afrika.
- 3 **Lithium-Nachfrageszenarien:** Quelle: Sustainable Development Scenario (IEA 2022), erwartete Nachfrage rund 400 kt in 2030. Für Entwicklung von Minen werden acht bis zehn Jahre benötigt. Die Minen, die 2030 potenziell zur Verfügung stehen, müssten heute schon entwickelt werden. Die Deutsche Rohstoffagentur DERA (2022) rechnet derzeit mit einer weltweiten Minenproduktion von 220 bis 360 kt. Vgl. www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/vortrag-lithium-schmidt-22.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- 4 **Lithium:** Durch einheimische Förderung und Recycling könnte Bedarf in Europa zu 30 % gedeckt werden. Quelle: Deutsche Rohstoffagentur (DERA 2022): Battery Raw Materials Outlook for Demand and Supply in Europe. 3rd Future Battery Forum, Nov 3 – 4, 2022.
- 5 **Batteriezellen:** Derzeit Planungen an 50 Standorten für eine potenzielle Batterieproduktion von 850 bis 1.300 GWh pro Jahr. Voraussichtlicher Bedarf 1.000 GWh pro Jahr.

Resiliente Lieferketten in der Elektromobilität Permanentmagnete¹



Ausgangslage

- Fast **100% aller E-Pkw und LKW** verwenden heute im Elektromotor Permanentmagnete aus Seltenen Erden.²
- Alternative Technologien erst in Entwicklung bzw. mit deutlichen Nachteilen.³
- Kritische Rohstoffe: **Leichte und Schwere Seltene Erden**.⁴
- Hohe Kritikalität bei Verarbeitung, Komponenten und Herstellung der Permanentmagnete

Herausforderung: Marktkonzentrationen entlang der Lieferkette

Top 3-Länder : Marktanteil nach Produktion (2022)

	Rohstoffförderung	Rohstoffverarbeitung		Komponenten	Güter
	Mischungen aus Seltenen Erden ³	Leichte Seltene Erd-Oxide	Schwere Seltene Erd-Oxide	Seltene Erdmetalle	Permanentmagnete
1.	58% China	87% China	100% China	91% China	94% China
2.	14% USA	11% Malaysia	–	7% Japan	5% Japan
3.	12% Myanmar	1% Indien	–	1% Rest der Welt	1% Deutschland
Europa	–	1%	–	1%	1%

- Förderung Seltener Erden (insgesamt) in verschiedenen Ländern.
- Förderung Schwerer Seltener Erden derzeit ausschließlich im Süden Chinas (sehr kritisch).³
- Quasimonopol Chinas bei Aufbereitung und Magnetherstellung.
Aktuelle Produktion von Permanentmagneten in Europa erfolgt durch nur ein Unternehmen.

LEGENDE Kritikalität: ■ Sehr kritisch ■ Mittel kritisch ■ Mäßig kritisch

Lösungen siehe auch Factsheet zu branchenübergreifenden Strategien und Maßnahmen

Produktionsaufbau in Europa

- Heimische Absatzmärkte aufbauen. 20% europäische Produktion entlang der gesamten Lieferkette bis 2030 möglich:
 - Rohstoffförderung:** Schweden, Norwegen
 - Rohstoffverarbeitung:** Seltene Erdoxide: Norwegen, Estland, Frankreich
 - Komponenten:** Seltene Erdmetalle: Estland, Großbritannien
 - Güter:** Permanentmagnete: Deutschland, Estland
- Strikte Resilienz-Anforderungen bei Fördermaßnahmen.
- Unterstützung von F&E zu leistungsfähigen magnetlosen Elektromotoren.

Diversifizierung

- Aufbau und Stärkung **transformativer Industriepartnerschaften** mit Ländern wie *Australien, Kenia, Kolumbien, Malawi, Namibia und USA.*
- Stärkung der Wertschöpfung in den Partnerländern und Partizipation an den Lieferketten, insbesondere in Ländern des Globalen Südens. Intensivierte Zusammenarbeit bei Bildungs- und Forschungsvorhaben.

Recycling

- Robuste und zeitnahe nationale Umsetzung der reformierten EU-Altfahrzeug-Richtlinie (EU-ELV Directive) zum Ausbau und Zerlegung von E-Motoren.
- Robuste und zeitnahe nationale Umsetzung des Critical Raw Materials Acts der EU mit Blick auf materialspezifische End-of-Life-Recyclingquoten sowie durch Recycled-Content.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



ANMERKUNGEN:

- 1 Permanentmagnete im Elektromotor. Weitere Informationen zur Elektromobilität im Factsheet: **Elektromobilität – Lithium-Ionen-Batterien**.
- 2 Permanentmagnete werden auch in 95 % der Windkraftanlagen auf See verbaut (vgl. **Factsheet: Windkraft**).
- 3 **Alternative Permanentmagnete:** Spätestens nach der großen Seltenen-Erden-Krise 2012 wurden Alternativen zu Permanentmagneten aus Seltenen Erden erforscht und weiterentwickelt (Eisennitrid, Ferrite, Samarium-Cobalt). Bislang ist keine Alternative absehbar, die ähnlich hohe Energiedichten wie die Neodym-Eisen-Bor-Magnete aufweisen kann.
- 4 **Seltene Erden:** umfassen 17 Metalle, 4 davon relevant für Permanentmagnete: Neodym und Praseodym (Leichte Seltene Erden) sowie Dysprosium und Terbium (Schwere Seltene Erden).
- 5 **Seltene Erden:** treten in Mischungen auf. Zusammensetzung unterscheidet je nach Mine. Statistische Daten beziehen sich hier auf gesamte Gruppe von Seltene Erden. Für die relevanten vier Metalle liegen keine gesonderten Daten vor. Förderung von Schweren Seltenen Erden derzeit jedoch nur in Südchina und Myanmar (sehr hohe Kritikalität). Schwere Seltenen werden eingesetzt, damit die Magnete bei hohen Temperaturen nicht dauerhaft entmagnetisiert werden.
- 6 Vgl. *European Raw Materials Alliance (ERMA, 2021): Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action*.
- 7 Urteil von Recycling: Gewichtsanteil Seltenen Erden in Magneten bei 30 %, in natürlichen Vorkommen nur 1 % (hier aufwändige Abtrennung unerwünschter Elemente notwendig).

Resiliente Lieferketten für Photovoltaikanlagen



Ausgangslage

- Photovoltaik ist eine der günstigsten CO₂-freien Stromerzeugungstechnologie. Rund 65 % der weltweit zugebauten Kraftwerksleistung heute ist Photovoltaik.
- Zwei Technologiestränge: Module aus **waferbasiertem Silizium** (Marktanteil: 95 %) und Dünnschicht-Module (5 %).
- Waferbasierte Zellen** werden auch **langfristig den Markt dominieren** aufgrund höherer Wirkungsgrade.

Herausforderung: Marktkonzentrationen entlang der Lieferkette

Top3-Regionen und Europa: Weltmarktanteil nach Produktion (2022)¹

	Rohstoffverarbeitung	Teilkomponenten		Komponenten	
	Polysilizium	Ingots, Wafer	Solarzelle, Solarglas ²	PV-Modul	Wechselrichter
1.	79% China	97% China	85% China	75% China	73% China
2.	8% Deutschland	2,5% Asien-Pazifik	12% Asien-Pazifik	15% Asien-Pazifik	16% Europa
3.	6% Asien-Pazifik	0,5% Europa	1,2% Indien	3,1% Indien	12% Rest der Welt
Europa	8% (21 GW)	0,5% (<2 GW)	0,6% (>2 GW, 3-4 GW)	2,5% (<10 GW)	16%

Dominanz Chinas entlang ganzer Lieferkette. Weiterer starker Ausbau in China.

LEGENDE Kritikalität: ■ Sehr kritisch ■ Mittel kritisch ■ Mäßig kritisch

Lösungen siehe auch Factsheet zu branchenübergreifenden Strategien und Maßnahmen

Produktionsaufbau in Europa

- Heimische Absatzmärkte aufbauen durch Resilienz-Anforderungen und CAPEX/OPEX Förderung: 40 % inländische Produktion bis 2030 möglich, viele Projekte in Planung, Realisierung jedoch ungewiss. Richtige politische Rahmensetzung in Deutschland zwingend:
- Ausschreibungssegment in der laufenden EEG-Novelle für PV-Module mit heimischen Wertschöpfungsanteilen aufnehmen.
- In diesem Ausschreibungssegment sollen Anreize für europäische Fertigung durch Boni gegeben werden.
- Zinsverbilligte Darlehen der KfW für Resilienzanlagen im Kleinachsegment. Auch Resilienzboni auf produzierten Strom sollten hier erwogen werden.
- Aufbau und institutionelle Verankerung eines Resilienzmonitorings über die gesamte Lieferkette.

Recycling

- Designanforderungen an Komponenten, Exportbeschränkungen für Sekundärrohstoffe und Vorprodukte sowie die robuste Umsetzung des Critical Raw Materials Acts der EU.
- Recycling von Polysilizium und Solarglas befinden sich bereits in der Entwicklungsphase. Weitere F&E Förderprogramme zum Recycling einzelner Komponenten und zur Erhöhung der Effizienz recycelter Zellen.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

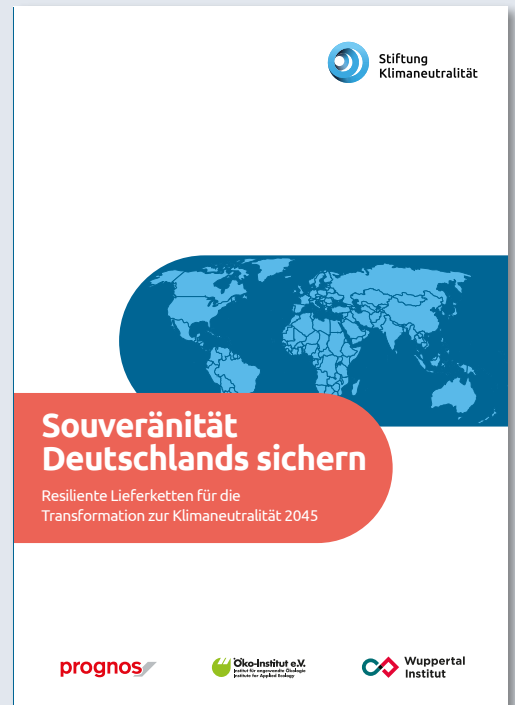
Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



ANMERKUNGEN:

- 1 Quellen: IEA, Statista. Rohstoffförderung von Quarzsand ist unkritisch und wurde deshalb nicht aufgeführt.
- 2 **Solarglas:** Hierzu liegen keine umfassenden Daten vor. Marktanteile voraussichtlich ähnlich hoch wie bei anderen Komponenten durch hohes Transportgewicht. Anteil Deutschlands am Weltmarkt unter 0,5 %.

Resiliente Lieferketten für Windkraftanlagen Permanentmagnete

Ausgangslage

- Windkraftanlagen sind komplexe Anlagen aus tausenden Einzelkomponenten.
- Sehr kritisch: Hocheffiziente Permanentmagnete im Generator.**¹
- Fast **100 % der Windkraftanlagen auf See** haben heute im Generator hocheffiziente Permanentmagnete aus Seltenen Erden. Anteil bei **Wind Onshore bei 20 %**.
- Diese enthalten **Leichten und Schwere Seltene Erden**.²
- Bislang starke einheimische Fertigungsindustrie, jedoch sinkende Wettbewerbsfähigkeit.



© BWE

Herausforderungen: Marktkonzentrationen entlang der Lieferkette

Top3-Länder: Weltmarktanteil nach Produktion (2022)

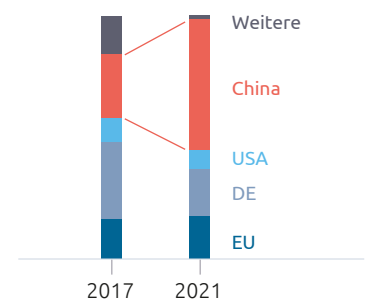
	Rohstoffförderung	Rohstoffverarbeitung		Komponenten	Güter
	Mischungen aus Seltenen Erden ³	Leichte Seltene Erd-Oxide	Schwere Seltene Erd-Oxide	Seltene Erdmetalle	Permanentmagnete
1.	58% China	87% China	100% China	91% China	94% China
2.	14% USA	11% Malasia	–	7% Japan	5% Japan
3.	12% Myanmar	1% Indien	–	1% Rest der Welt	1% Deutschland

- Förderung Seltener Erden (insgesamt) in verschiedenen Ländern.
- Förderung Schwerer Seltener Erden derzeit ausschließlich im Süden Chinas.³
- Quasimonopol Chinas bei Aufbereitung und Magnetherstellung.

LEGENDE Kritikalität: ■ Sehr kritisch ■ Mittel kritisch ■ Mäßig kritisch

Marktkonzentrationen im Bau von Windkraftanlagen

Marktanteil nach Ländern (2022)



Beim Bau von Windkraftanlagen hat der Marktanteil Chinas deutlich zugenommen.

Lösungen siehe auch Factsheet zu branchenübergreifenden Strategien und Maßnahmen

Produktionsaufbau in Europa

- Heimische Absatzmärkte aufbauen. 20% europäische Produktion entlang der gesamten Lieferkette bis 2030 möglich:
 - Rohstoffförderung:** Schweden, Norwegen
 - Rohstoffverarbeitung:** Seltene Erdoxide: Norwegen, Estland, Frankreich
 - Komponenten:** Seltene Erdmetalle: Estland, Großbritannien
 - Güter:** Permanentmagnete: Deutschland, Estland
- Strikte Resilienz-Anforderungen bei Fördermaßnahmen.

- Unterstützung von F&E zu leistungsfähigen magnetlosen Elektromotoren.

Diversifizierung

- Aufbau und Stärkung **transformativer Industriepartnerschaften** mit Ländern wie *Australien, Kenia, Kolumbien, Malawi, Namibia und USA*.
- Stärkung der Wertschöpfung in den Partnerländern und Partizipation an den Lieferketten, insbesondere in Ländern des Globalen Südens. Intensivierte Zusammen-

arbeit bei Bildungs- und Forschungsvorhaben.

Recycling

- Robuste und zeitnahe nationale Umsetzung der reformierten EU-Altfahrzeug-Richtlinie (EU-ELV Directive) zum Ausbau und Zerlegung von E-Motoren.
- Robuste und zeitnahe nationale Umsetzung des Critical Raw Materials Acts der EU mit Blick auf materialspezifische End-of-Life-Recyclingquoten sowie durch Recycled-Content.

Produktionserhalt von Windkraftanlagen in Europa

- Erhalt der Produktion sicherstellen, Kapazitätserweiterungen absichern.
- Resilient-Content-Vorgaben.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



ANMERKUNGEN:

- 1 Permanentmagnete werden auch in 95 % der E-Pkw und 100 % der E-LKW verbaut (vgl. **Factsheet Elektromobilität**).
- 2 **Seltene Erden:** umfassen 17 Metalle, 4 davon relevant für Permanentmagnete: Neodym und Praseodym (Leichte Seltene Erden) sowie Dysprosium und Terbium (Schwere Seltene Erden).
- 3 **Seltene Erden:** treten in Mischungen auf. Zusammensetzung unterscheidet je nach Mine. Statistische Daten beziehen sich hier auf gesamte Gruppe von Seltene Erden. Für die relevanten vier Metalle liegen keine gesonderten Daten vor. Förderung von Schweren Seltene Erden derzeit jedoch nur in Südchina und Myanmar (sehr hohe Kritikalität). Schwere Seltene werden eingesetzt, damit die Magnete bei hohen Temperaturen nicht dauerhaft entmagnetisiert werden.
- 4 Vgl. *European Raw Materials Alliance (ERMA, 2021): Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action*.
- 5 Vorteil von Recycling: Gewichtsanteil Seltene Erden in Magneten bei 30 %, in natürlichen Vorkommen nur 1 % (hier aufwändige Abtrennung unerwünschter Elemente notwendig).

Factsheet

Resiliente Lieferketten für Grünen Stahl DRI-Anlagen

Ausgangslage

- Zur Produktion von CO₂-freiem, grünem Primär-Stahl werden in **Direktreduktionsanlagen (DRI-Anlagen)** Eisenerzpellets mit Hilfe von Wasserstoff reduziert und dann in Konvertern oder Elektrolichtbogenöfen zu Rohstahl umgewandelt.
- Notwendiger Zeitpunkt der **Umstellung von Hochöfen auf DRI-Anlagen** und elektrischen Schmelzaggregaten: für 40 % der Anlagen bis 2029 und für die restlichen 60 % bis 2035. Ersatzzeitpunkt ist abhängig vom Ende der Ofenreise.
- In Deutschland sind **bis 2030** Kapazitäten von 15 Mio. Jahrestonnen in Planung. Das entspricht **sechs Groß-Anlagen** im World-Scale-Format.

Herausforderung: Stark steigende Nachfrage nach DRI Anlagen mit Engpässen im Anlagenbau

- Kritikalität durch den sehr schnellen Nachfragehochlauf bis 2030.
- DRI-Technologie wird schon seit 1970er Jahren eingesetzt – mit Erdgas als Reduktionsmittel. Neu ist Einsatz von Wasserstoff statt Erdgas.
- Es gibt nur zwei Technologieanbieter weltweit, die diese Anlagen bauen können: Midrex und Tenova. Tenova baut die Anlagen selbst, Midrex beauftragt Lizenznehmer mit Anlagenbau.
- Geschätztes Potenzial an Neubaukapazitäten pro Jahr: 8 bis 10 Jahrestonnen.
- 100%iger Einsatz von Wasserstoff ist bislang nur durch Tenova in Praxis bewiesen.

Lösungen

siehe auch Factsheet zu branchenübergreifenden Strategien und Maßnahmen

Produktionsaufbau in Europa

- *Sicherstellung von Investitionen* durch *finanzielle Förderung* in Ergänzung zum CO₂-Grenzausgleichssystems (CBAM) sowie Unterstützung des Hochlaufs eine Leitmarktes für grünen Stahl.
- Import von grünem direktreduziertem Eisen (bzw. als brikettierter Form als HBI – hot briquetted iron) aus zukünftigen HBI-Hubs, z.B. im Mittleren Osten und Australien.
- Kreditabsicherungen. Unterstützung beim Aufbau von Lieferbeziehungen, feste Abnahmeverträge für grünes DRI.
- Aufbau und Stärkung transformativer Industriepartnerschaften. Stärkung der Wertschöpfung in den Partnerländern und Partizipation an den Lieferketten, insbesondere in Ländern des Globalen Südens- Intensivierte Zusammenarbeit bei Bildungs- und Forschungsvorhaben.

Diversifizierung

- Kreditabsicherungen
- Unterstützung beim Aufbau von Lieferbeziehungen, feste Abnahmeverträge für grünes DRI.
- Unterstützung beim Aufbau von liquiden Weltmärkten zum Handel von DRI.

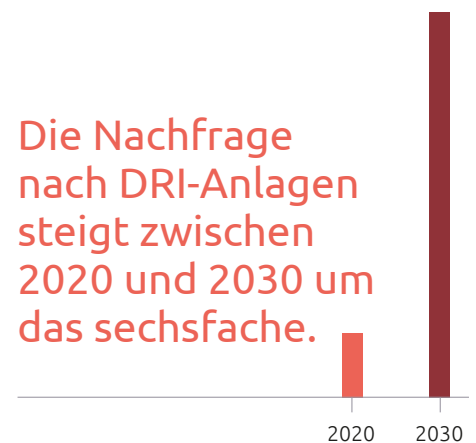
Recycling

- Anteil von Recyclingstahl heute bei rund 40 Prozent. Ausbau auf 60 Prozent bis 2045 ist möglich.
- Bessere Trennung von Abfällen und Vorsortierung von Schrotten, um Down-cycling zu verhindern.



© voestalpine

Die Nachfrage
nach DRI-Anlagen
steigt zwischen
2020 und 2030 um
das sechsfache.



Status und Potenzial

- Ersatz aller deutschen Hochöfen bis 2035 – eigene DRI-Anlagen als Absicherung gegen Versorgungsengpässe und zur Erhöhung der Resilienz.
- In Hamburg wird heute die einzige in Europa befindliche DRI-Anlage betrieben. In Schweden sind aktuell zwei Projekte in Planung.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

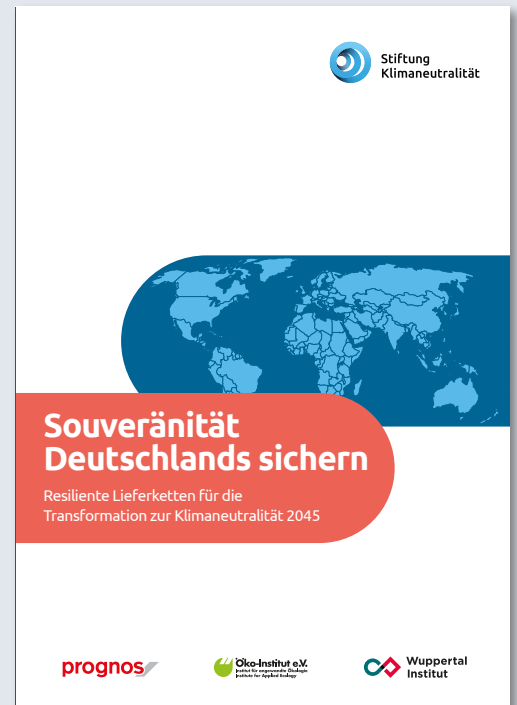
Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung



Resiliente Lieferketten für Grünen Wasserstoff Elektrolyseure



© HTEC SYSTEMS GmbH

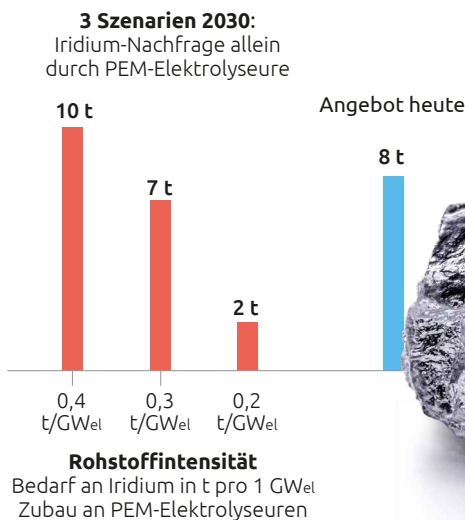
Ausgangslage

- Zwei Verfahren zur Produktion von grünem Wasserstoff sind heute marktreif: Alkalische Elektrolyse (AEL) und PEM-Elektrolyse.
- AEL (Marktanteil: 70 %), vergleichsweise unflexibel und geringere Effizienz, aber keine kritischen Rohstoffe und Komponenten.
- **PEM-Elektrolyseure** (Marktanteil:): **hohe Flexibilität, sehr effizient**, Marktanteil wird stark steigen. **Kritischer Rohstoff: Iridium**
- Technologien im Entwicklungsstadium: Hochtemperatur-Elektrolyseur, AEM-Elektrolyseur.

Herausforderungen: Nachfrage Iridium steigt

Nachfrage weltweit in 2030 in Abhängigkeit von Rohstoffintensität
(Annahme: Zubau von 24 GW Elektrolyseuren weltweit)

- IEA 2022: 2030 könnten 60 GW_{el} an Elektrolyseuren gebaut werden.
- Annahme 40 % davon PEM: **24 GW_{el} PEM-Elektrolyseure**
- Hierfür notwendiger **Iridiumbedarf hängt von Rohstoffintensität ab**.



Iridium-Förderung wird voraussichtlich nicht ausgebaut

- Sehr **seltenes Metall**.
- Nur 8 Tonnen Förderung weltweit
- Förderung zu 85 % in Südafrika
- Drittteuerstes Metall der Welt
- Förderung ist vollständig abhängig von Platinförderung (Begleitmetall)
- 40% des Platins werden für Auto-Kats verwendet: **Sinkende Nachfrage nach Primärplatin**: durch Elektromobilität und großes Recyclingpotenzial aus alten Auto-Kats.
- **Platin- und damit Iridium-Förderung wird voraussichtlich nicht ausgeweitet** werden – ggf. sogar reduziert werden.

Lösungen siehe auch Factsheet zu branchenübergreifenden Strategien und Maßnahmen

Senkung Materialintensität

- Senkung der Rohstoffintensität um 75 % von heute 0,4 auf 0,1 t/ GW_{el} bis 2040 möglich.
- F&E zur Reduktion der Dicke der Materialschichten – z. B. durch innovativ automatisierte Prozesse (Aufdampfen von Nanoschichten und Kombination mit günstigeren Trägermaterialien).
- Heimische Absatzmärkte und Infrastruktur für grünen Wasserstoff aufbauen (stabiler regulatorischer Maßnahmen, verlässliche Förderinstrumente, beschleunigte Planungs- und Genehmigungsverfahren).

Alternative Technologien

- Einsatz von iridiumfreien Alkalischen Elektrolyseuren (AEL) in Verbindung mit Batterien, um geringere Flexibilität auszugleichen, unter Berücksichtigung eines höheren Stromverbrauchs durch Batterien und geringerer Effizienz von AEL.

Recycling

- Aufbau langfristiger Recyclingstrategien, Förderprogramme für F&E und Aufbau Infrastruktur für Iridium-recycling.
- Recyclingfähigkeit bei der Entwicklung von Elektrolyseanlagen berücksichtigen.

Studie

Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045

Die Stiftung Klimaneutralität beauftragte Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut mit der Erstellung einer Studie unter dem Titel «Souveränität Deutschlands sichern: Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045».

Die Studie identifiziert für strategisch wichtige Transformationsindustrien entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Lieferkette entscheidende Schwachpunkte. Sie liefert Antworten für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, wie die Resilienz gegenüber exogenen Schocks erhöht werden kann.

Für die Transformation zur Klimaneutralität stehen sieben Schlüsseltechnologien im Fokus, die eine besonders hohe CO₂-Einsparung ermöglichen, einen starken Nachfragehochlauf bis 2030/2035 aufweisen und für die sich bereits heute Versorgungsengpässe andeuten: Photovoltaik, Windkraft (mit Permanentmagneten), Elektromobilität (mit Lithium-Ionen-Batterien und Permanentmagneten), Elektrolyseure für grünen Wasserstoff, Wärmepumpen und DRI-Anlagen zur Produktion von grünem Stahl.

Dieses Factsheet zeigt in Kurzform die zentralen Erkenntnisse zu kritischen Herausforderungen und wirksamen politischen Handlungsstrategien.

Mehr Informationen und detaillierte Daten sind online abrufbar:
www.stiftung-klima.de



Unter diesen QR-Codes steht die Publikation »Souveränität Deutschlands sichern – Resiliente Lieferketten für die Transformation zur Klimaneutralität 2045« als PDF zum Download zur Verfügung.

Kurzfassung



Langfassung

