

Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien



Matthias Buchert, Stefanie Degreif, Winfried Bulach,
Siegfried Behrendt, Felix Müller

Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2017
6. März 2017

Agenda

- 1** Das Projekt SubSKrit
- 2** Zwischenergebnis: Beispiele Materialbedarf Elektroantriebsmotor /
Materialbedarf Dysprosium
- 3** Zwischenergebnis: Rohstoffranking und
Auswahl von 20 prioritären Umwelttechnologien
- 4** Zwischenergebnis: Substitutionsmöglichkeiten am Beispiel
Elektroantriebsmotoren für BEV und PHEV
- 5** Der weitere Fahrplan

Das Projekt SubSKrit

Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien (SubSKrit)

Projektlaufzeit: 15.08.2014 – 30.11.2017

Partner:

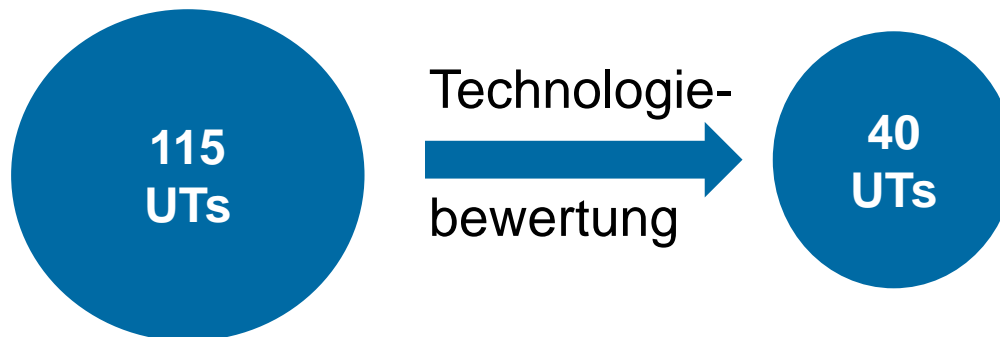


Gefördert durch das Umweltbundesamt
(FKZ 3714 93 316 0)



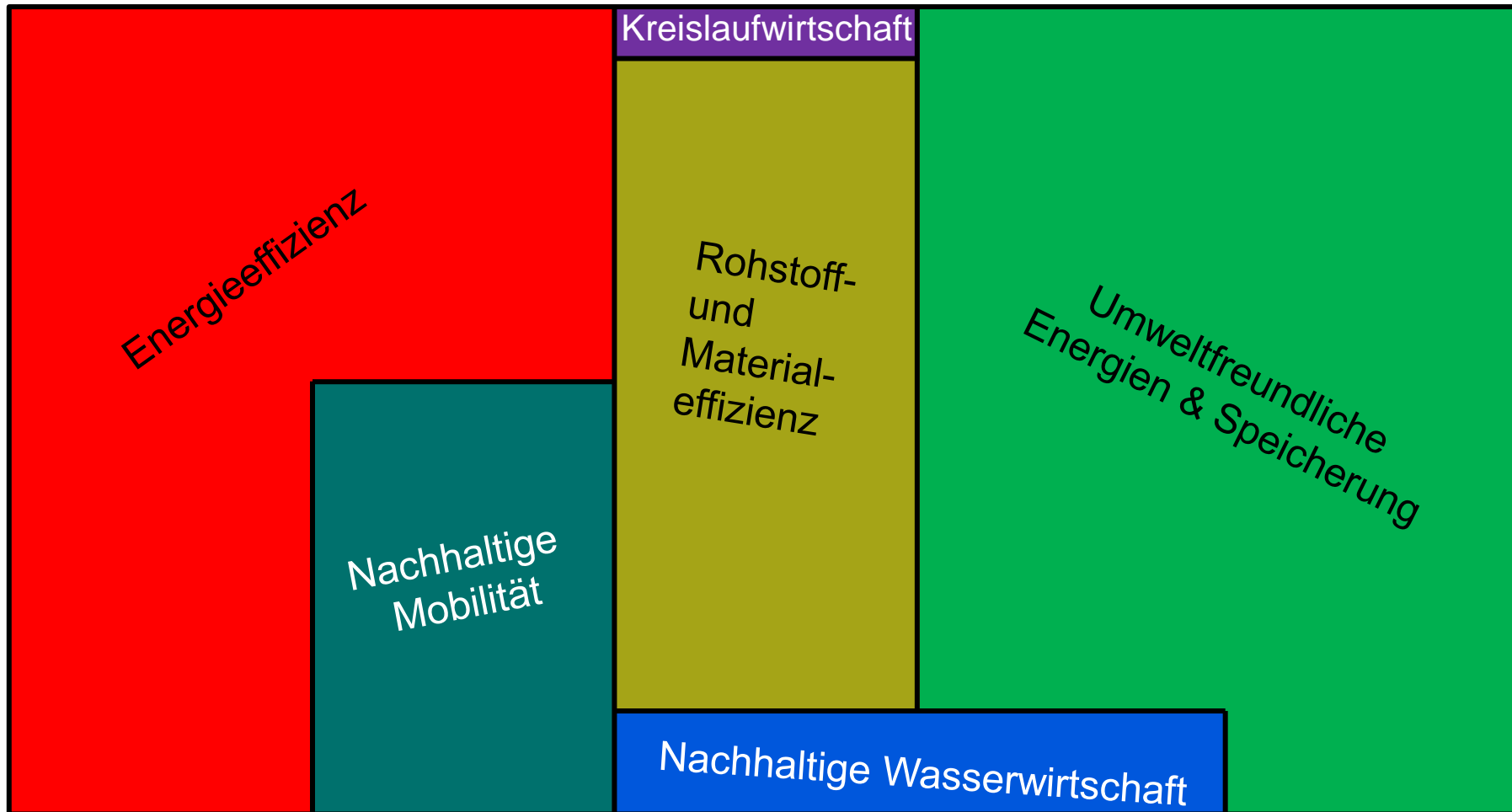
SubSKrit - Fahrplan

Ü AP 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien



Von den 6 Leitmärkten...

Klassifizierung der untersuchten UTs in Leitmärkte



...zu den Umwelttechnologien

Die 115 untersuchten Umwelttechnologien:

Kompakte Fluoreszenzlampen	Ultratables	Automatische Stofftrennverfahren	Redox-Flow Batterie	CSP Technologie
Kompressoren	Grüne Rechenzentren	Service Roboter	Zn-Luft Batterie	Gas to Liquid (GtL)
Varistoren	Weißer LED	Maßgeschneiderte Katalysatoren	Ni-Cd Batterie	Coal to Liquid (CtL)
Organische Elektronik (Polymerelektronik)	Organische Leuchtdioden (OLED)	Kunststoffherstellung aus verholzter Biomasse	Li-Ionen Batterien: portable Anwendungen	Nox-Speicherkatalysator: ohne Autoabgaskatalysator
Keramik-Metallhalogenid-Lampen	LED für Hintergrundbeleuchtung LCD	Biokatalyse-Anlagentechnik	Li-Ionen Batterien für Fahrzeuge	Thermoelektrische Energieumwandlung
Frequenzumrichter	RFID	Bleifreie Lote	Na-S Batterie	PEM-Brennstoffzelle
Membranelektrolyse Chlor-Alkali	Trichromatische Fluoreszenzlampen	Nanobeschichtung von Oberflächen	Li-Ionen-Stromspeicher	SOFC-Brennstoffzelle für stationäre Anlagen
Aerogele	T5 Leuchtstoffröhren	Korrosionsfeste Superlegierung	Supercaps	Brennstoffzelle für mobile Gerät
Metallbeschichtungen auf Gläsern	Bewegungs- und Präsenzsteuerung	Hochwarmfeste Superlegierungen	Permanentmagnet-Generatoren	Metallhydrid-Speicher
Corex/Finex-Verfahren für Stahl	Hochwirkungsgrad-Nass- und trockenläufer	Hochleistungs-Permanentmagnete: Industrie	Urbane Abwärmequellen (Kanalisation, Verkehrssysteme)	Kraftwerke – Gas- und Dampfturbine
Neue Chipgenerationen	Pedelects	Anorganische Nanokomposite	Nano-Speichermaterialien	Carbon Capturing CC
Sensitive schaltbare Gläser	Oberleitungs-LKW	Formgedächtnis-Legierungen	Speicherkraftwerke	Schwarmkraftwerke
Industrie-Elektromotoren	Hybridmotoren	Metallschäume	Supraleitende Spulen	ORC Organic Rankine Cycle
Thin Clients	Elektroantriebsmotoren	3D Drucker	Synchron-Generatoren	Tiefengeothermie
Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle	Selbstfahrende Kraft- und Lastfahrzeuge	Carbon Nanotubes (CNTs) für Stromleitungen und Drähte	Asynchron-Generatoren	Mikrogasturbinen
ULCOS-BF / ULCOWIN / ULCORED / ULCOS	Hocheffiziente Flugzeugtriebwerke	Carbon Nanotubes (CNTs) für Katalysatoren	Direktantrieb	Stirlingmotor
Celitement	Adaptive systems	Hochtemperatur-Supraleiter	Reluktanz-Generatoren	Dünnschicht-Solarzellen
Sensoren für Energie-Wasser-Optimierung	Real Time Traffic Information und Online-Vernetzung	Me-Schlacken- und P-Klärschlammaufbereitung	Monokristalline Siebdrucksolarzellen	Farbstoffzellen (Grätzel-DSC-Zellen)
Hochwirkungsgradmotoren	Fahrzeug-Abgas-Katalysator	Mikroreaktionstechnik	Power to gas (PtG)	HTS-Generatoren
Smart Meter	Karosserie	Precision Farming	Power to liquid (PTL)	Tandemzellen
Mikro-KWK	Katalytischer Kraftstoffzusatz	Dezentrale Wasseraufbereitung	Ultrafiltration	Si-Dünnschicht
Erdwärmepumpen	BtL-Kraftstoffe	Solare Meerwasserentsalzung	Phosphorrückgewinnung	Si-Dickschichtzellen
Membranelektrolyse Chloralkali mit Sauerstoffverzehrkathode	Leichtbau (Titan und Scandium airframe)	Umkehrosmose (hoch-permeable Membranen)	Wassereffizienztechnologien	SCR Selektive Katalytische Reduktion: ohne Autoabgaskat.

Ergebnis: Auswahl von 40 aus 115 Umwelttechnologien nach erster Bewertung

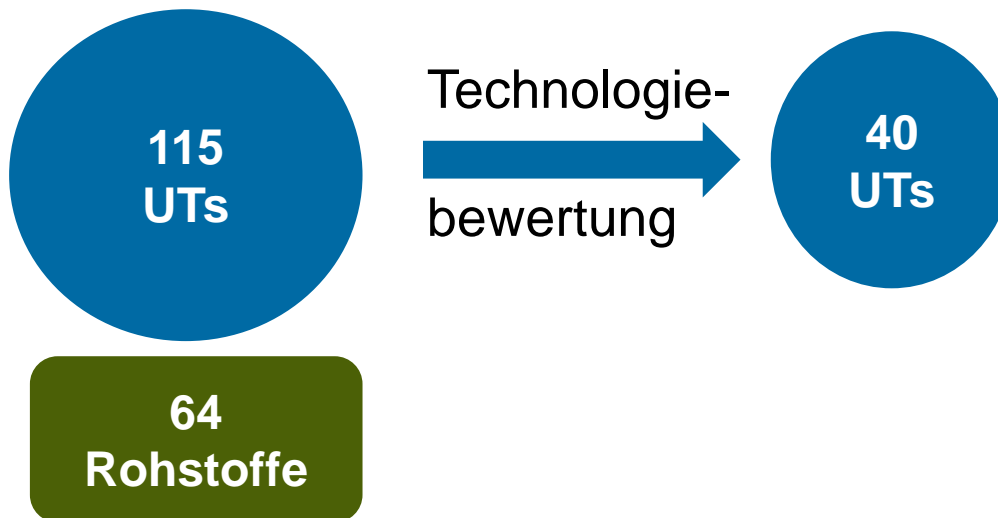
Kompressoren	Weißer LED	Fahrzeug-Abgas-Katalysator	Celitement	Hybridmotoren
RFID	Pedelecs	Aerogele	Precision Farming	Grüne Rechenzentren
Li-Ionen-Stromspeicher	Reluktanz-Generatoren	Bleifreie Lote	Hocheffiziente Flugzeugtriebwerke	Speicherkraftwerke
CSP Technologie	Nanobeschichtung von Oberflächen	Li-Ionen Batterien für Fahrzeuge	Kraftwerke – Gas- und Dampfturbine	Permanentmagnet-Generatoren
HTS Generatoren	Elektroantriebsmotoren	Phosphorrückgewinnung	Dünnschicht-Solarzellen	Synchron-Generator
Wassereffizienz-technologien	Organische Leuchtdioden (OLED)	Industriekatalysatoren	Tandemzellen	Asynchron-Generator
Automatische Stofftrennverfahren	Me-Schlacken- und P-Klärschlamm-aufbereitung	Umkehrosmose (hochpermeable Membranen)	Si-Dickschichtzellen	Dezentrale Wasseraufbereitung
Karosserie	Leichtbau (Titan und Scandium airframe)	Hochleistungs-Permanentmagnete: Industrieanwendungen	Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle	Membranelektrolyse Chloralkali mit Sauerstoffverzehr-kathode

Bewertung auf Basis der Analyse jeder Umwelttechnologie nach

- Umweltentlastungspotential
- globaler Marktdynamik
- Relevanz für die deutsche Wirtschaft

SubSKrit - Fahrplan

- Ü AP 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien
- Ü **AP 2: Funktionaler Materialbedarf**



Beispiel einer Umwelttechnologie: Elektroantriebsmotor

Ø Spezifische Einheit

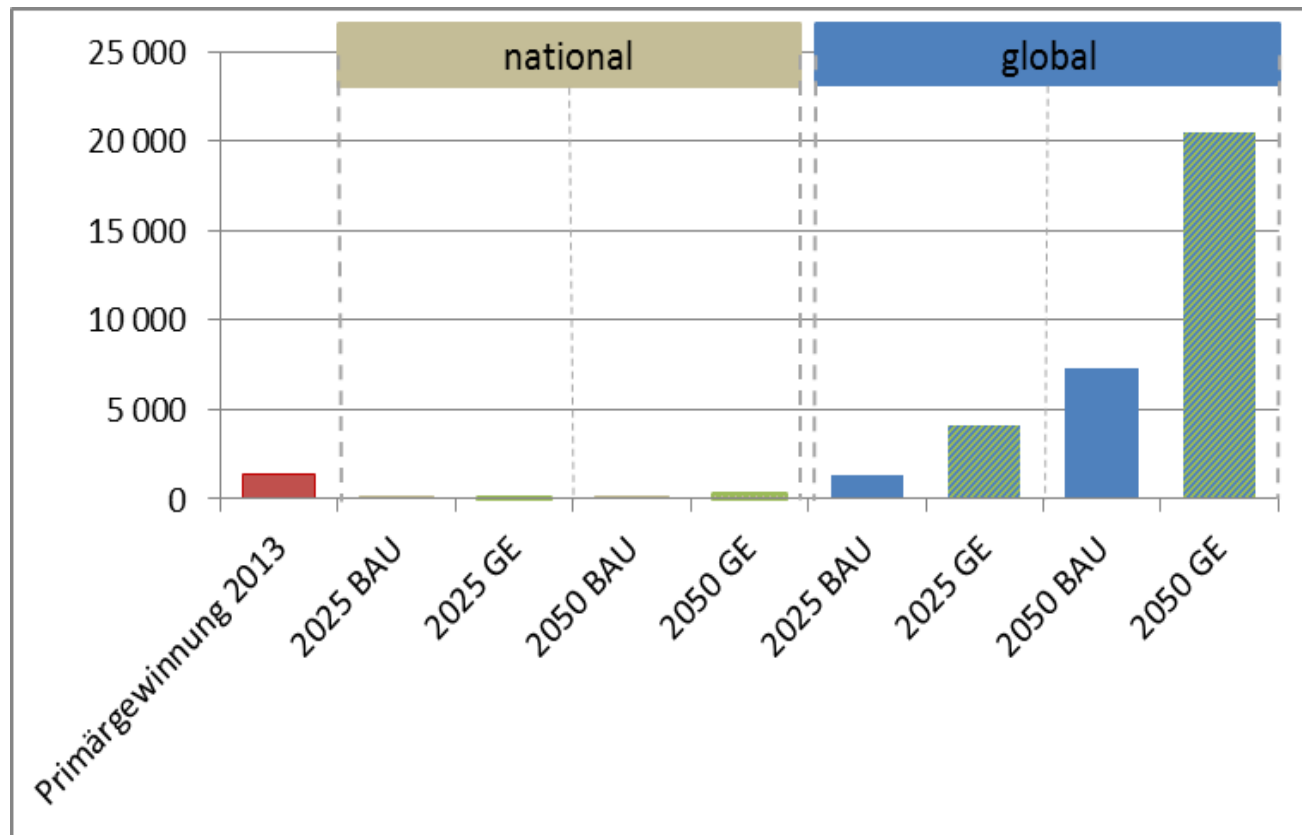
Synchronmotor mit Permanentmagnet; Leistung > 50 kW je BEV/PHEV

Materialbedarf in den globalen Szenarien in Tonnen (gerundet)

Material in t	Business-As-Usual			Green Economy	
	2013	2025	2050	2025	2050
Dysprosium	38	544	3.800	2.900	18.300
Gallium	0,2	4,5	32	24	152
Kupfer	2.300	57.100	402.500	304.500	1.916.000
Neodym	64	2.000	14.400	10.900	68.400
Praseodym	21	544	3.800	2.900	18.300
Terbium	4,3	109	767	580	3.700

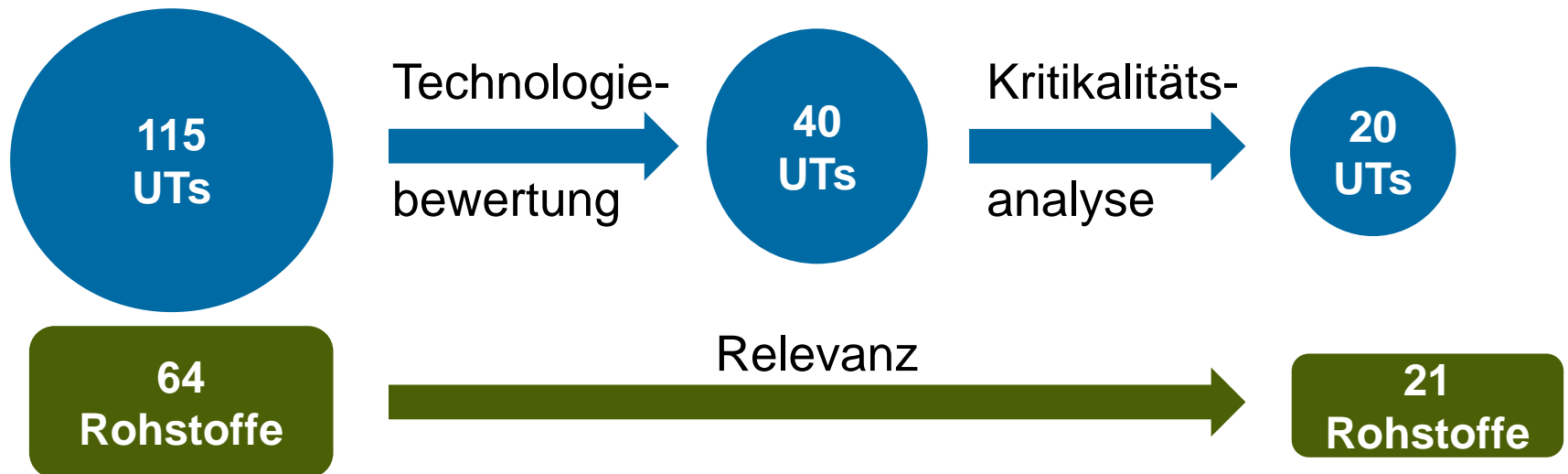
Beispiel: Rohstoffbedarf Dysprosium

Dysprosiumbedarf der 40 ausgewählten Umwelttechnologien im Vergleich zur globalen Primärgewinnung (in Tonnen)



SubSKrit - Fahrplan

- Ü AP 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien
- Ü AP 2: Funktionaler Materialbedarf
- Ü **AP 3: Kritikalitätsanalyse**



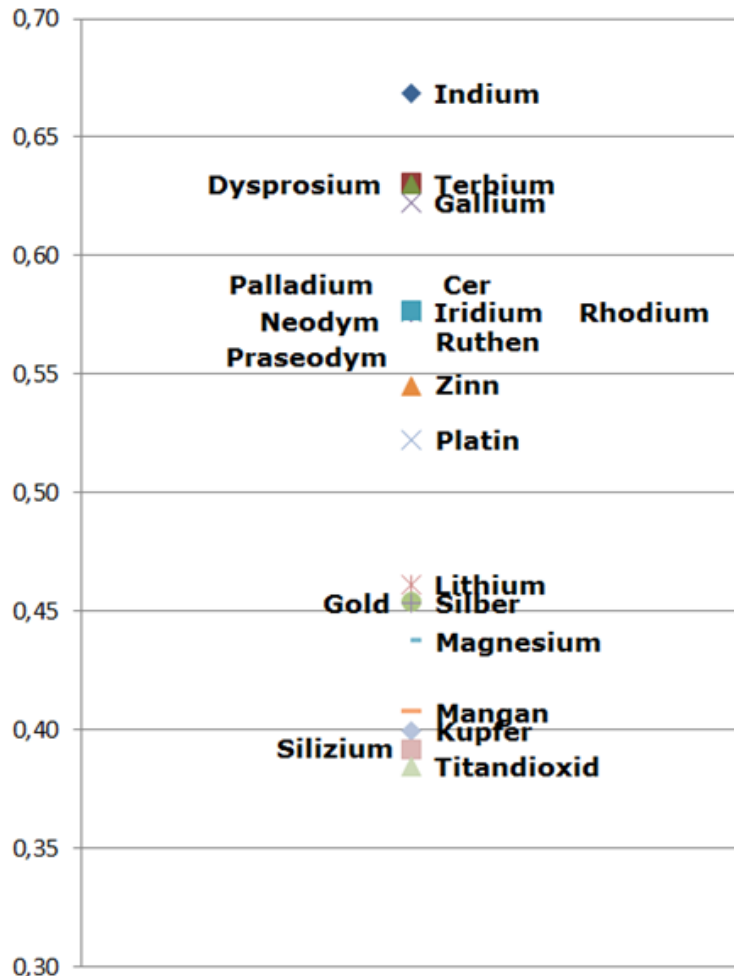
Kritikalitätsanalyse

- ∅ **Ziel der Kritikalitätsanalyse:**
Auswahl der 20 prioritären Umwelttechnologien

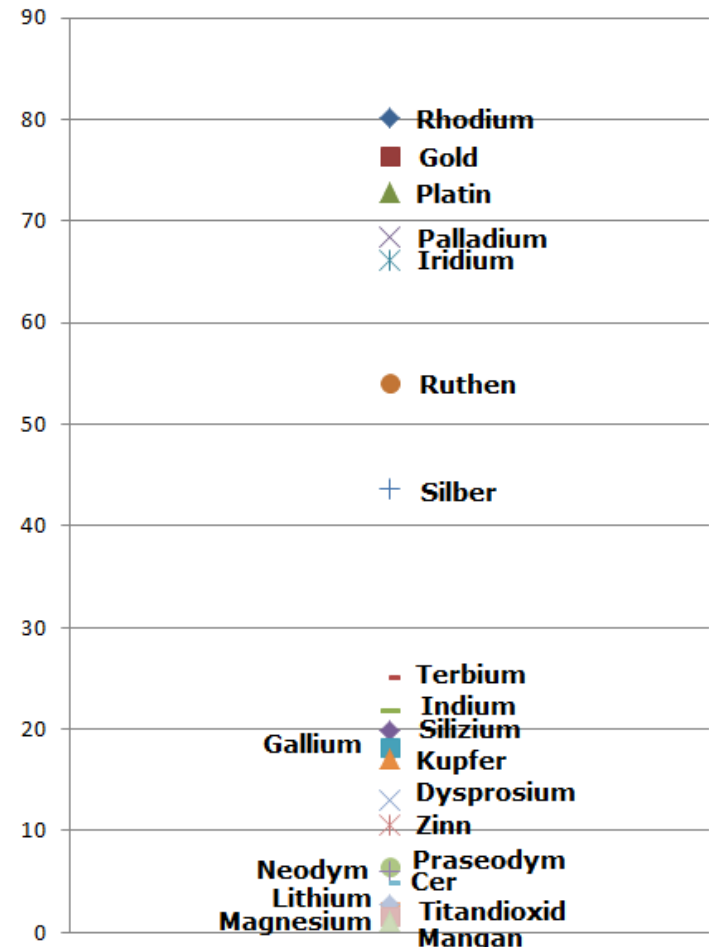
- ∅ **Vorgehen:**
 - ∅ Schritt 1: Ranking der relevanten Rohstoffe
 - ∅ Schritt 2: Übertragung der Materialperspektive auf die Umwelttechnologien
 - ∅ Schritt 3: Sensitivitätsanalyse
 - ∅ Schritt 4: Auswahl der 20 prioritären Umwelttechnologien

Ranking Rohstoffe: Versorgungsrisiko und ökologisches Schadenspotential

Versorgungsrisiko (0 bis 1) je Rohstoff:



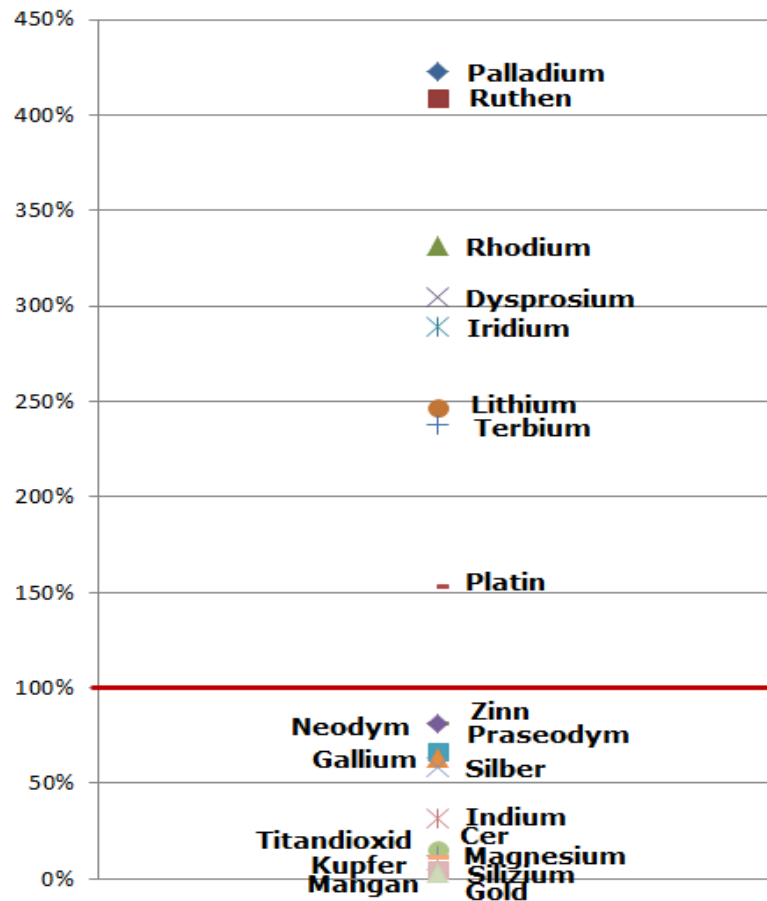
Ökologisches Schadenspotential Normierte ReCiPe Punkte je Rohstoff:



Ranking Rohstoffe: Strategische Bedeutung und Gesamtranking

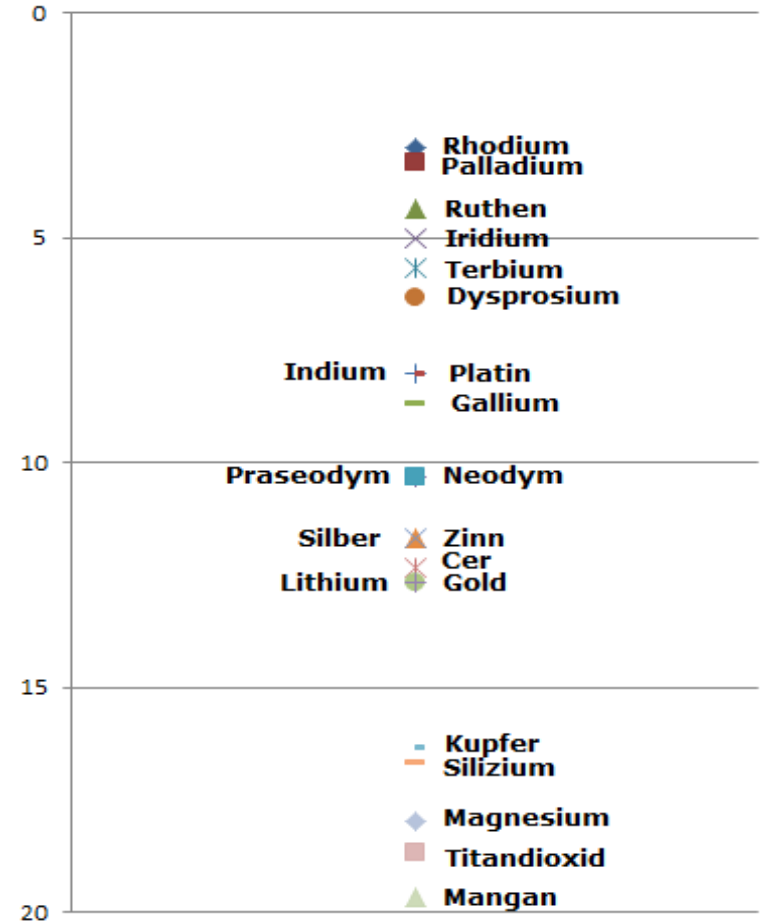
Strategische Bedeutung

Anteil Bedarf der 40 UT zur Primärförderung 2013:



Gesamtranking

Durchschnittswert über alle Rankings:



Übertragung des Rohstoffrankings auf die Umwelttechnologien

∅ Relevante Charakteristika:

1. Höchstes Einzelranking eines Rohstoffs bei einer Umwelttechnologie
2. Durchschnittsranking der Gesamtrankings in einer Umwelttechnologie
3. Anzahl der relevanten Rohstoffe in einer Umwelttechnologie
4. In Grenzfällen: Rohstoffbedarf in einer Umwelttechnologie

Beispiel: Elektroantriebsmotoren

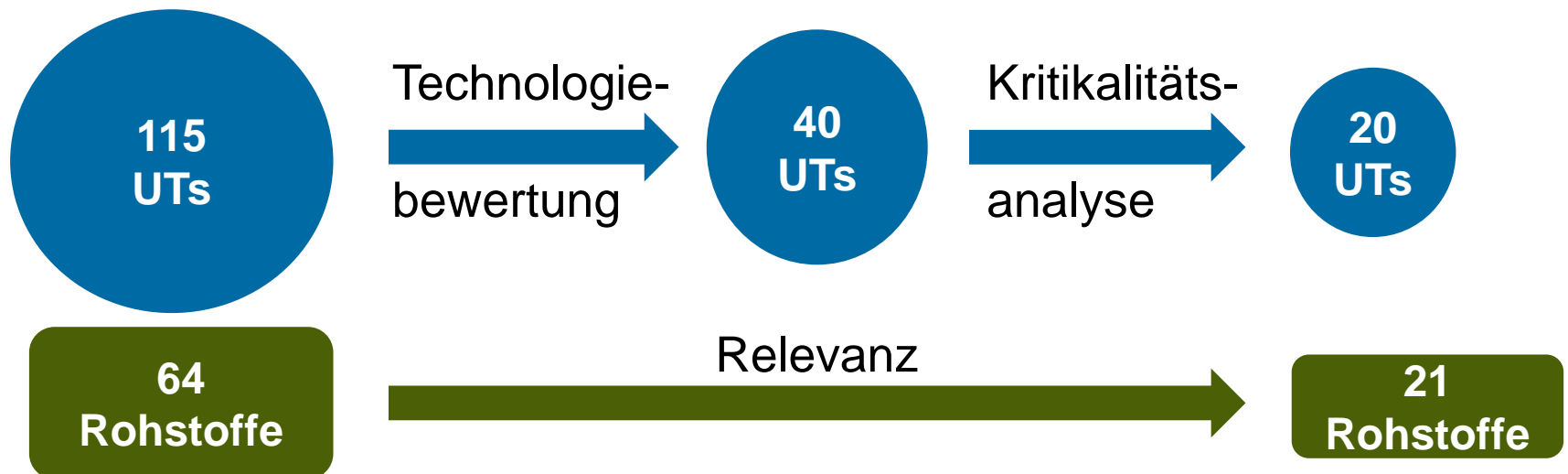
Rohstoff	Gesamtranking	Höchstes Einzelranking	Mittelwert über alle Rohstoffe	Anzahl relevanter Rohstoffe
		5	9,5	6
Dysprosium	6			
Gallium	9			
Kupfer	17			
Neodym	10			
Praseodym	10			
Terbium	5			

Die 20 prioritären Umwelttechnologien (nach Sensitivitätsanalyse)

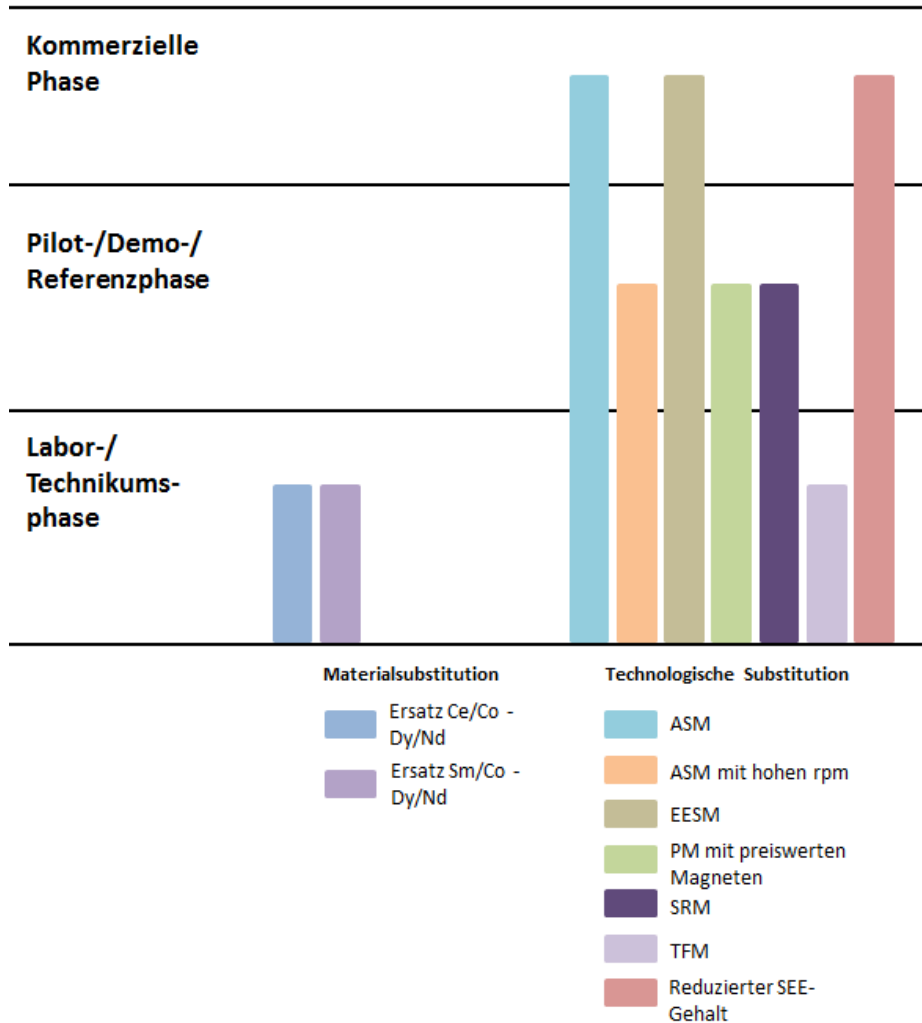
Ü 24	Grüne Rechenzentren	<i>Elektronik</i>
Ü 56	Bleifreie Lote	
Ü 53	Industriekatalysatoren	<i>Katalysatoren</i>
Ü 43	Fahrzeug-Abgas-Katalysatoren	
Ü 37	Hybridmotoren	<i>Permanentmagnete</i>
Ü 38	Elektroantriebsmotoren	
Ü 60	Hochleistungs-Permanentmagnete: übrige Anwendungen	
Ü 106	Permanentmagnet-Generatoren (synchron) - high-speed (Windkraft)	
Ü 35	Pedelecs	
Ü 100	Lithium-Ionen Stromspeicher	<i>Speichertechnologien</i>
Ü 98	Li-Ionen Batterien für Fahrzeuge	
Ü 87	Dünnschicht-Solarzellen	<i>Solartechnologien</i>
Ü 90	Tandemzellen	
Ü 93	CSP-Technologie	
Ü 107	Synchron-Generatoren	<i>Generatoren ohne Permanentmagnete</i>
Ü 108	Asynchron-Generatoren in WKA	
Ü 13b	Membranelektrolyse Chlor-Alkali mit Sauerstoffverzehrkatode	
Ü 27	Weiß LED	
Ü 5	RFID	<i>Sonstige Technologien</i>
Ü 83	Kraftwerke – GuD/Gas	

SubSKrit - Fahrplan

- Ü AP 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien
- Ü AP 2: Funktionaler Materialbedarf
- Ü AP 3: Kritikalitätsanalyse
- Ü **AP 4: Substitutionspotentialscreening**



Substitutionsmöglichkeiten – Permanentmagnete Elektroantriebsmotoren BEV



Ce/Co: Cer und Kobalt ersetzen Dysprosium und Neodym

Sm/Co: Samarium-Kobalt-Permanentmagnete ersetzen Dysprosium und Neodym

ASM: Asynchronmotor (Induktionsmotor) ohne SEE

ASM mit hohen rpm (revolutions per minute)

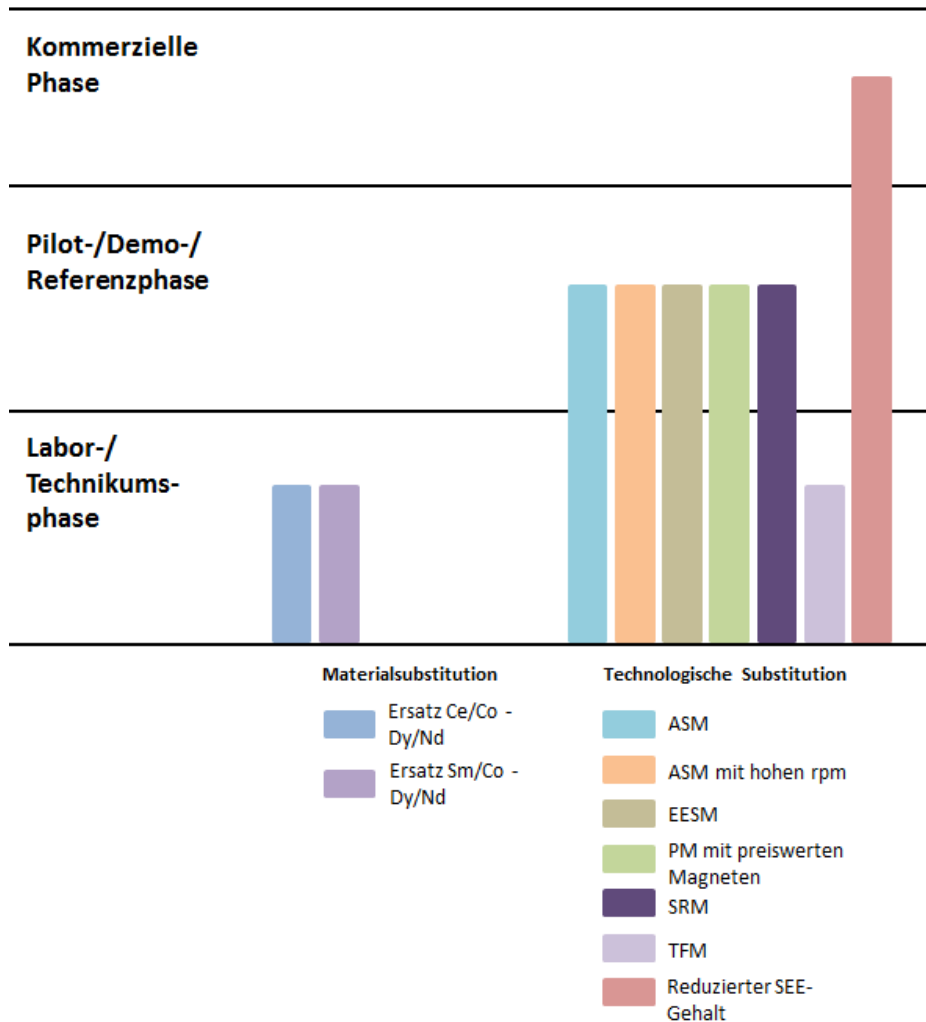
EESM: Electrically excited synchronous motor

SRM: Switched reluctance motor

TFM: Transversal flux motor

SEE: Seltene Erden Elemente

Substitutionsmöglichkeiten – Permanentmagnete Elektroantriebsmotoren PHEV



Ce/Co: Cer und Kobalt ersetzen Dysprosium und Neodym

Sm/Co: Samarium-Kobalt-Permanentmagnete ersetzen Dysprosium und Neodym

ASM: Asynchronmotor (Induktionsmotor) ohne SEE

ASM mit hohen rpm (revolutions per minute)

EESM: Electrically excited synchronous motor

SRM: Switched reluctance motor

TFM: Transversal flux motor

SEE: Seltene Erden Elemente

SubSKrit - Fahrplan

- ü AP 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien
- ü AP 2: Funktionaler Materialbedarf
- ü AP 3: Kritikalitätsanalyse
- ü AP 4: Substitutionspotentialscreening
- ∅ **AP 5: Kritikalitätsauswirkungen: Auswirkungen eines Substitutionsportfolios auf die Kritikalität der Rohstoffe**

SubSKrit - Fahrplan

- ü AP 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien
- ü AP 2: Funktionaler Materialbedarf
- ü AP 3: Kritikalitätsanalyse
- ü AP 4: Substitutionspotentialscreening

- Ø AP 5: Kritikalitätsauswirkungen: Auswirkungen eines Substitutionsportfolios auf die Kritikalität der Rohstoffe
- Ø **AP 6: Roadmap für die Substitution bei Umwelttechnologien:** Entwicklung konkreter Maßnahmen zur Erschließung der Substitutionspotentiale

- Ø Finalisierung des Projektes bis Ende 2017 (Abschluss-Workshop im Herbst)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Haben Sie noch Fragen?